

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden - eine Ökobilanz

Demonstrationsprojekt:
Niedrigenergiehäuser Heidenheim

Freiburg, 2001

Dietlinde Quack

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

Dietlinde Quack

Einfluss von Energiestandard
und konstruktiven Faktoren
auf die Umweltauswirkungen
von Wohngebäuden - eine Ökobilanz

Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser Heidenheim

Freiburg 2001
Werkstattreihe Nr. 126
ISBN 3-934490-06-9

Von der Fakultät für Architektur
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Naturwissenschaften
genehmigte Dissertation
D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Alle Rechte vorbehalten / Copyright by



Geschäftsstelle Freiburg
Binzengrün 34a
D-79114 Freiburg
Tel. 0761-45 295-0
Fax 0761-47 54 37

Büro Darmstadt
Elisabethenstr. 55-57
D-64283 Darmstadt
Tel. 06151-81 91-0
Fax 06151-81 91 33

Büro Berlin
Novalisstr. 10
D-10115 Berlin
Tel. 030-28 04 868-0
Fax 030-28 04 868-8

www.oeko.de

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei der DFG für die Bereitstellung der finanziellen Mittel, ebenso bei den Verantwortlichen des Umweltforums für die Möglichkeit, an einem interdisziplinären Graduiertenkolleg teilzunehmen und so die Gelegenheit zu haben, die Herangehensweise und Denkansätze sehr unterschiedlicher Fachbereiche kennenzulernen. Nicht zuletzt auch bei der RWTH Aachen als Gastgeberin des Kollegs. Prof. Schöfl vom Institut für Wohnbau der RWTH sei gedankt für seine Bereitschaft die Arbeit zu betreuen; dafür möchte ich auch meinem Koreferenten Prof. Kohler vom Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) der TH Karlsruhe danken. Durch die Bereitstellung der beiden EDV-Programme *ECOPRO* und *Elementmaker* wurde die Durchführung der Arbeit wesentlich erleichtert. Mein besonderer Dank gilt daneben den ifib-MitarbeiterInnen Martina Klingele und Markus Koch, besonders aber Harald Biber, der immer ein offenes Ohr hatte und mir hilfreich zur Seite stand, wenn Fragen und Schwierigkeiten mit den beiden Programmen auftauchten.

Herrn Erhorn und Frau Hellwig vom Fraunhofer Institut für Bauphysik in Stuttgart möchte ich meinen Dank für die Bereitstellung der Unterlagen zu den untersuchten Gebäuden aussprechen. Insbesondere danke ich Frau Hellwig für das Zusammentragen weiterer Informationen aus den Projektunterlagen.

Ein ganz besonderes Dankeswort geht in die Schweiz: Annick Lalive d'Épinay von der ETH Zürich und Dorothe Gerber von der Metron AG haben durch die intensiven fachlichen Diskussionen und die vielen konstruktiven Anregungen ganz wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Dorothe Gerber gilt noch ein besonderer Dank für ihre tatkräftige Hilfe beim Korrekturlesen der Texte.

Birgit Wergen hat mir beim Lesen der Gebäudepläne und durch ihre freundschaftliche Unterstützung geholfen. Für das freundschaftliche Umfeld in Aachen will ich hier stellvertretend außerdem Elke Diederichs und Vivian Ortner danken.

Mein Mann Wilhelm Druben hat mir in vielen großen und kleinen Dingen geholfen, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen besonderen Dank aussprechen möchte.

Inhaltsverzeichnis

	Tabellenverzeichnis	VI
	Abbildungsverzeichnis.....	XI
	Glossar	XVI
	Abkürzungsverzeichnis	XXI
1.	Zusammenfassung.....	1
2.	Die Ökologieverträglichkeit im Konzept des nachhaltigen Bauens	3
2.1	Das Konzept der Nachhaltigkeit	3
2.1.1	Geschichte und Definition des Begriffs Nachhaltigkeit	3
2.1.2	Die drei Elemente der Nachhaltigkeit	4
2.2	Konkretisierung des Begriffs Nachhaltigkeit für den Baubereich.....	7
2.2.1	Zielsetzungen eines nachhaltigen Bauens	7
2.2.1.1	Das Element Ökologieverträglichkeit	7
2.2.1.2	Das Element Ökonomieverträglichkeit	8
2.2.1.3	Das Element Sozialverträglichkeit.....	9
2.2.2	Wie kann nachhaltiges Bauen in der Praxis umgesetzt werden?	10
2.2.3	Kriterien für ein nachhaltiges Bauen.....	11
2.2.3.1	<i>Rating e-top</i> - ein Planungsinstrument für nachhaltiges Bauen	11
2.2.3.1	<i>Fallstudie '95</i> - Beurteilung einer Umnutzung	13
2.3	Ökobilanzen als Werkzeug auf dem Weg zu einer ökologieverträglichen Entwicklung des Baubereichs	14
2.3.1	Anwendungen der Ökobilanz im Baubereich	17
2.3.2	Abgrenzung von anderen Methoden.....	17
2.3.2.1	Die Stoffstromanalyse.....	17
2.3.2.2	Die Umweltverträglichkeitsprüfung.....	18
2.3.3	Die Ökobilanz als Werkzeug zur Optimierung von Gebäuden.....	19
2.3.3.1	Welchen Nutzen bringen Gebäudeökobilanzen?	19
2.3.3.2	Wer sind potentielle Anwender?	19
2.3.3.3	Anwendungszeitpunkt einer Gebäudeökobilanz.....	20
2.3.4	Überblick über den Stand der Gebäudeökobilanzierung.....	22
2.3.4.1	EDV-Werkzeuge zur Erstellung von Gebäudeökobilanzen	23

2.3.4.2	Beispielhafte Ergebnisse von Gebäudeökobilanzen.....	24
3.	Aufgabenstellung.....	27
3.1	Ausgangspunkt und Rahmenbedingungen der Arbeit	27
3.2	Fragestellung der Arbeit.....	27
3.3	Auswahl der Untersuchungsobjekte und Vorgehen	28
4	Einführung in die Methode der Ökobilanz	31
4.1	Definition der Schutzgüter	31
4.2	Stand der Normierung	32
4.3	Zieldefinition	34
4.3.1	Festlegung von Funktion und funktionaler Einheit.....	34
4.3.2	Beschreibung des Systems und der Systemgrenzen	35
4.3.3	Datengrundlage: Kategorien und Anforderungen an die Datenqualität	35
4.3.4	Kritische Prüfung (critical review):.....	36
4.4	Die Sachbilanz.....	37
4.5	Die Wirkungsabschätzung	39
4.5.1	Auswahl der Wirkungskategorien und Klassifizierung	39
4.5.2	Charakterisierung.....	40
4.5.3	Gewichtung der Wirkungskriterien gegeneinander: der Bewertungsschritt	47
4.5.3.1	Grenzwertorientiertes Verfahren: Kritische Volumina.....	49
4.5.3.2	Stoffflußorientiertes Verfahren: Umweltbelastungspunkte.....	50
4.5.3.3	Monetäre Verfahren: Externe Kosten	51
4.5.3.4	Effektorientierte Methoden	51
4.5.3.5	Schadensorientiertes Verfahren: Ökoindikator 95	52
4.6	Auswertung	53
4.7	Abgrenzung von anderen Methoden.....	53
4.7.1	Materialintensität pro Serviceeinheit (MIPS)	53
4.7.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA)	54
5.	Darstellung der im Fallbeispiel verwendeten Methode	55
5.1	Das untersuchte System	55
5.1.1	Funktion und funktionale Einheit	55
5.1.2	Systemgrenzen.....	57
5.1.3	Spezifikation der Gebäude	59

5.1.3.1	Elementdaten.....	59
5.1.3.1	Energiedaten.....	60
5.2	Computergestützte Bilanzierung mit <i>ECOPRO</i>	62
5.2.1	Beschreibung des Programms	62
5.2.2	Wirkungsbilanz und Bewertung in <i>ECOPRO</i>	65
5.2.3	Datengrundlage.....	66
5.2.4	Kritische Würdigung von <i>ECOPRO</i>	68
5.3	Wirkungsbilanz und Bewertung im Fallbeispiel.....	70
5.3.1	Auswahl der Wirkungskategorien.....	70
5.3.2	Bewertung.....	71
6.	Ergebnis der Bilanzierung	75
6.1	Wirkungsbilanz	75
6.1.1	Gesamtergebnis nach Kriterien	75
6.1.1.1	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar.....	75
6.1.1.2	Primärenergiebedarf erneuerbar	78
6.1.1.3	Treibhauspotential	81
6.1.1.4	Ozonabbaupotential	84
6.1.1.5	Versauerungspotential	86
6.1.1.6	Überdüngungspotential.....	89
6.1.1.7	Sommersmog	92
6.1.1.8	Wintersmog	94
6.1.1.9	Karzinogene Substanzen.....	97
6.1.1.10	Schwermetalle	100
6.1.1.11	Stofffluss	103
6.1.1.12	Abfallkategorien.....	104
6.2.	Bewertung.....	108
6.2.1	Öko-Indikator	108
6.2.1.1	Normalisierung	108
6.2.1.2	Gewichtung	109
6.2.2	Alternative Reduktionsfaktoren	113
6.2.2.1	Gewichtung	113
6.3	Sensitivitätsanalysen	117
6.3.1	Relevanz der untersuchten Kriterien.....	117

6.3.2	Korrelation der untersuchten Kriterien.....	118
6.3.3	Betrachtungszeitraum	121
6.3.4	Lebensdauer der Elemente	125
6.3.5	Streubreite des Nutzerverhaltens	132
6.3.6	Einfluss der Entsorgungsprozesse.....	139
6.3.7	Auswirkungen des Verschnitts	140
6.3.8	Vergleich mit Belastungen aus der Mobilität	141
6.4	Fehlerbetrachtung.....	142
6.4.1	Fehlerquellen	142
6.4.1.1	Inventardaten.....	142
6.4.1.2	Gebäude- und Elementdaten.....	145
6.4.1.3	Wirkungsbilanz und Auswertung	146
6.4.2	Einschätzung der Fehlerrelevanz	146
7.	Diskussion	147
7.1	Diskussion methodischer Fragen.....	147
7.1.1	Unikatcharakter von Gebäuden.....	147
7.1.1.1	Definition der funktionalen Einheit.....	147
7.1.1.2	Umgang mit grundlegenden Veränderungen am Gebäude	148
7.1.2	Langlebigkeit	148
7.1.2.1	Berechnungszeitraum	150
7.1.2.1	Veränderungen des Stands der Technik über die Zeit	150
7.1.2.2	Voraussagen über die Nutzungsdauer von Bauelementen und ihren Bestandteilen.....	151
7.1.2.3	Beurteilung des Recyclingpotentials	153
7.1.2.4	Negativer Treibhauseffekt für nachwachsende Rohstoffen?	154
7.1.2.5	Einbezug des Nutzerverhaltens	156
7.1.3	Standortbezug.....	158
7.1.3.1	Lokalisierbare Umweltauswirkungen	158
7.1.3.2	Auswirkungen auf Infrastruktur und Verkehr	159
7.1.4	Anwendungsspezifische Bewertungsverfahren	160
7.1.4.1	Vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen	160
7.1.4.2	Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten.....	163
7.1.4.3	Deklarationsraster für Baustoffgruppen.....	165

7.1.4.4	Das Umweltzeichen Blauer Engel	168
7.1.4.5	Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e,V.	169
7.1.4.6	Baustoffbewertung bei ÖKO+	170
7.1.4.7	Abschließende Einschätzung der Verfahren	171
7.1.5	Zusammenfassung der Schlussfolgerungen für das Fallbeispiel.....	174
7.2	Diskussion der Ergebnisse des Fallbeispiels	175
7.2.1	Einschätzung der Relevanz der untersuchten Kriterien	175
7.2.2	Korrelation der verschiedenen Kriterien	175
7.2.3	Bedeutung der Lebenswegphasen	176
7.2.3.1	Neubau	177
7.2.3.2	Erneuerung	181
7.2.3.3	Nutzung	183
7.2.3.4	Entsorgung.....	185
7.2.4	Einfluss der Elementgruppen und Elemente	187
7.2.4.1	Bedeutung der Elementgruppen.....	187
7.2.4.2	Wichtige Einzelelemente.....	195
7.2.5	Einschätzung der Sensitivitätsanalysen	197
7.2.5.1	Variation des Betrachtungszeitraums	197
7.2.5.2	Variation der Lebensdauern der Elemente.....	198
7.2.5.3	Einsparpotentiale durch maximales Recycling.....	198
7.2.5.4	Einsparpotentiale durch Minimierung des Verschnitts	199
7.2.5.5	Einfluss des Nutzerverhaltens	199
7.2.6	Stellenwert der gebäudebedingten Belastungen im Vergleich zum durchschnittlichen Individualverkehr (PKW).....	200
7.2.7	Abschließender Vergleich der untersuchten Häuser.....	201
7.2.7.1	Günstige Eigenschaften und Schwachstellen der Varianten	203
7.2.7.3	Gibt es das "optimale" Haus?.....	204
7.3	Schlussfolgerungen.....	205
8.	Literatur	209
9.	Anhang	
	Anhang 1	Elementdaten
	Anhang 2	Beschreibung der Hausvarianten
	Anhang 3	Faktoren für die Berechnung der Wirkungsbilanz
	Anhang 4	Bilanzdaten der Hausvarianten

Tabellenverzeichnis

<u>Tabelle 1:</u> Anteile verschiedener Teilbereiche des Baubereiches in Deutschland an den gesamten Umweltbelastungen.....	8
<u>Tabelle 2:</u> Bewertungssystem des Rating e-top	12
<u>Tabelle 3:</u> Die drei möglichen Ebenen der Anwendung von Ökobilanzen im Baubereich	17
<u>Tabelle 4:</u> Überblick über Ergebnisse aus der Literatur zu bilanzierten Gebäuden.	25
<u>Tabelle 5:</u> Raumprogramm der untersuchten funktionellen Einheit „Doppelhaushälfte“	55
<u>Tabelle 7:</u> Zusammenstellung der für die Berechnung der Nutzungsphase verwendeten Module “Erdgas in Heizung“ aus ECOPRO.....	61
<u>Tabelle 8:</u> Vergleich der Umweltbelastungen verschiedener Heizungssysteme für die Bereitstellung von 1 TJ Endenergie.....	61
<u>Tabelle 9:</u> In <i>ECOPRO</i> stehen folgende 24 Kategorien zur Verfügung	65
<u>Tabelle 10:</u> Abschließende Einschätzung des Programms <i>ECOPRO</i> (einschließlich <i>Elementmaker</i>) (Version 7/98).....	69
<u>Tabelle 11:</u> Übersicht über die 13 im Fallbeispiel verwendeten Wirkungskriterien.....	71
<u>Tabelle 12:</u> Überblick über die Normalisierungs- und Reduktionsfaktoren, die Bewertungen der Wirkungskategorien zugrunde liegen.	72
<u>Tabelle 13:</u> Primärenergiebedarf nicht erneuerbar. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie die ihre Relationen zum Referenzhaus.....	75
<u>Tabelle 14:</u> Primärenergiebedarf erneuerbar. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie die ihre Relationen zum Referenzhaus.	78
<u>Tabelle 15:</u> Treibhauspotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.....	81
<u>Tabelle 16:</u> Relativer Anteil des Treibhauspotenzials an Neubau, Erneuerung und Entsorgung in Prozent.....	82

<u>Tabelle 17:</u> Ozonabbaupotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.	84
<u>Tabelle 18:</u> Versauerungspotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.	87
<u>Tabelle 19:</u> Überdüngungspotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.	90
<u>Tabelle 20:</u> Sommersmog. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.	92
<u>Tabelle 21:</u> Wintersmog. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.	94
<u>Tabelle 22:</u> Karzinogene Substanzen. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.	97
<u>Tabelle 23:</u> Schwermetalle. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.	100
<u>Tabelle 24:</u> Stofffluss. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie die ihre Relationen zum Referenzhaus.	103
<u>Tabelle 25:</u> Abfallkategorien. Gesamtergebnis der entstehenden Abfälle nach den Kategorien Abfälle in Inertstoffdeponie und in Müllverbrennung über alle Phasen und Relation der jeweiligen Ergebnisse zum Referenzhaus.	105
<u>Tabelle 26:</u> Normalisierte Gesamtergebnisse aller Varianten.	109
<u>Tabelle 27:</u> Ergebnis der Normalisierung des Referenzhauses nach Elementgruppen und Nutzungsphase.	109
<u>Tabelle 28:</u> Öko-Indikator. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche (EBZ) und Jahr für alle Varianten sowie ihre Relation zum Referenzhaus.	110
<u>Tabelle 29:</u> Gewichtetes Gesamtergebnis aller Varianten. Einheit: Punkte.	112

<u>Tabelle 30:</u> Prozentualer Anteil der Einzelkriterien am gewichteten Gesamtergebnis jeder Variante.	113
<u>Tabelle 31:</u> Alternative Reduktionsfaktoren. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche (EBZ) und Jahr für alle Varianten sowie ihre Relation zum Referenzhaus.	114
<u>Tabelle 32:</u> Auf der Basis der alternativen Reduktionsfaktoren gewichtetes Gesamtergebnis aller Varianten . Einheit: Punkte.	115
<u>Tabelle 33:</u> Relativer Anteil der Einzelkriterien am gewichteten Gesamtergebnis jeder Variante.	115
<u>Tabelle 34:</u> Relation der jährlichen Belastungen aller Hausvarianten zu den jährlichen pro-Kopf-Emissionen in Europa. Angaben in Prozent (Berechnungen nach Goedkoop (1995), vergleiche Kapitel 5.3.2 und 7.2.7).....	118
<u>Tabelle 35:</u> Korrelation der verschiedenen Kriterien auf der Basis der Gesamtergebnisse aller untersuchten Gebäude.....	119
<u>Tabelle 36:</u> Korrelation der verschiedenen Kriterien auf der Basis der Belastung der Nutzungsphase aller untersuchten Gebäude.....	119
<u>Tabelle 37:</u> Korrelation der verschiedenen Kriterien auf der Basis der Belastung der Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung aller untersuchten Gebäude.....	120
<u>Tabelle 38:</u> Auswahl der dargestellten Kriterien nach dem jeweiligen Anteil der Erneuerungsphase an der Gesamtbelastung.....	126
<u>Tabelle 39:</u> Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.	127
<u>Tabelle 40:</u> Versauerungspotenzial (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.	129
<u>Tabelle 41:</u> Öko-Indikator (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.....	130
<u>Tabelle 42:</u> Schwermetall (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.....	131
<u>Tabelle 43:</u> Auswahl der dargestellten Kriterien.....	133
<u>Tabelle 44:</u> Gesamtergebnis für das Kriterium Schwermetall unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.	133

<u>Tabelle 45:</u> Gesamtergebnis für das Kriterium Versauerung unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.	135
<u>Tabelle 46:</u> Gesamtergebnis für das Kriterium karzinogene Substanzen unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.	136
<u>Tabelle 47:</u> Gesamtergebnis für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.	137
<u>Tabelle 48:</u> Einsparpotenzial durch vermiedene Entsorgungsprozesse (inkl. Transporte) bei einem angenommenen 100prozentigen Recycling. Angaben in Prozent.	139
<u>Tabelle 49:</u> Einsparpotenzial durch vermiedene Produktions- und Entsorgungsprozesse (inkl. Transporte) bei einem angenommenen nullprozentigen Verschnitt. Angaben in Prozent.	140
<u>Tabelle 50:</u> Treibhauspotenzial verschiedener Holzbaustoffe.....	145
<u>Tabelle 51:</u> Ökologische Kenndaten eines Anstrichstoffes nach BUWAL (1992), S. 30).....	162
<u>Tabelle 52:</u> Bewertungstabelle für die Beziehung zwischen den Kenndaten der Anstrichstoffe und der Belastungszahl nach BUWAL (1992, S. 30).	162
<u>Tabelle 53:</u> Überblick über die wichtigsten Charakteristika der in den vorigen Abschnitten vorgestellten produktspezifischen Bewertungsverfahren.	173
<u>Tabelle 54:</u> Überblick über die Anteile der einzelnen Kriterien an den Lebenswegphasen. Zugrundegelegt wurde der durchschnittliche Anteil aller Varianten.	177
<u>Tabelle 55:</u> Relation der Ergebnisse der Neubauphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.	179
<u>Tabelle 56:</u> Relation der Ergebnisse der Erneuerungsphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.	182

<u>Tabelle 57:</u> Relation der Ergebnisse der Nutzungsphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.	184
<u>Tabelle 58:</u> Relation der Ergebnisse der Entsorgungsphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.	186
<u>Tabelle 59:</u> Überblick über die durchschnittlichen Anteile der einzelnen Elementgruppen an der Gesamtbelastung aller Elemente nach Kriterien.....	189
<u>Tabelle 60:</u> Relation der Belastungen der Elementgruppe Decken/Böden der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent. Anteil dieser Elementgruppe meist über 40 Prozent.....	190
<u>Tabelle 61:</u> Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Fassade. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Fassade an der Belastung aller Elemente: unter 20 Prozent.	191
<u>Tabelle 62:</u> Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Öffnungen. Anteil der Elementgruppe Öffnungen an der Belastung aller Elemente meist unter 5 Prozent; wichtigste Ausnahme ist das Kriterium karzinogene Substanzen mit 30 bis 40 Prozent.....	192
<u>Tabelle 63:</u> Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Innenwände. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Innenwände an der Belastung aller Elemente meist unter 10 Prozent.	193
<u>Tabelle 64:</u> Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Dächer. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Dächer an der Belastung aller Elemente meist unter 10 Prozent; wichtigste Ausnahme stellt die Kategorie Schwermetalle mit 20 bis 30 Prozent dar.....	194
<u>Tabelle 65:</u> Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Technik. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Technik an der Belastung aller Elemente: unter 20 Prozent.	194
<u>Tabelle 66:</u> Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Ergänzende Leistungen. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe ergänzende Leistungen an der Belastung aller Elemente: meist unter 20 Prozent.	195
<u>Tabelle 67:</u> Prozentualer Anteil des Elementes M3 3_1055, textiler Bodenbelag Wohnen, an der Gesamtbelastung aller Elemente nach Kriterien und Varianten.....	196
<u>Tabelle 69:</u> Rangfolge aller Varianten für die relevanten Kriterien.....	202

Abbildungsverzeichnis

<u>Abbildung 1:</u> Die drei zentralen Elemente einer nachhaltigen Entwicklung	5
<u>Abbildung 2:</u> Das Instrument der Ökobilanz gliedert sich nach ISO in die Teilschritte Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung, Auswertung.....	33
<u>Abbildung 3:</u> Darstellung der Systemgrenzen und der im Fallbeispiel berücksichtigten Wirkungskategorien.....	58
<u>Abbildung 4:</u> Erstellung einer Gebäudebilanz mit Hilfe der Programme <i>Elementmaker</i> und <i>ECOPRO</i>	64
<u>Abbildung 5:</u> Schema der Datenbearbeitung von den Sachbilanzdaten zu Baustoffen und Energiebereitstellung bis zur Wirkungsbilanz eines gesamten Gebäudes.....	67
<u>Abbildung 6:</u> Anteil der Phasen am Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energie.....	76
<u>Abbildung 7:</u> Anteil von Stromverbrauch sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) während der Nutzungsphase.....	77
<u>Abbildung 8:</u> Anteil der Elementgruppen am Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	77
<u>Abbildung 9:</u> Anteil der Phasen am Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energie.....	79
<u>Abbildung 10:</u> Anteil von Stromverbrauch sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Primärenergiebedarf (erneuerbar) während der Nutzungsphase.....	79
<u>Abbildung 11:</u> Anteil der Elementgruppen am Primärenergiebedarf (erneuerbar) über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	80
<u>Abbildung 12:</u> Anteil der Phasen am Treibhauspotenzial.....	81
<u>Abbildung 13:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Treibhauspotenzial während der Nutzungsphase.	82
<u>Abbildung 14:</u> Anteil der Elementgruppen am Treibhauspotenzial über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	83
<u>Abbildung 15:</u> Anteil der Phasen am Ozonabbaupotenzial.	85

<u>Abbildung 16:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Ozonabbaupotenzial während der Nutzungsphase.....	85
<u>Abbildung 17:</u> Anteil der Elementgruppen am Ozonabbaupotenzial über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	86
<u>Abbildung 18:</u> Anteil der Phasen am Versauerungspotenzial.	87
<u>Abbildung 19:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Versauerungspotenzial während der Nutzungsphase..	88
<u>Abbildung 20:</u> Anteil der Elementgruppen am Versauerungspotenzial über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	89
<u>Abbildung 21:</u> Anteil der Phasen am Überdüngungspotenzial.	90
<u>Abbildung 22:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Überdüngungspotenzial während der Nutzungsphase.	91
<u>Abbildung 23:</u> Anteil der Elementgruppen am Überdüngungspotenzial über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	91
<u>Abbildung 24:</u> Anteil der Phasen am Sommersmog.	93
<u>Abbildung 25:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Sommersmog während der Nutzungsphase.	93
<u>Abbildung 26:</u> Anteil der Elementgruppen am Sommersmog über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	94
<u>Abbildung 27:</u> Anteil der Phasen am Wintersmog.	95
<u>Abbildung 28:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Wintersmog während der Nutzungsphase.....	96
<u>Abbildung 29:</u> Anteil der Elementgruppen am Wintersmog über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	96
<u>Abbildung 30:</u> Anteil der Phasen am Kriterium Karzinogene Substanzen...	98
<u>Abbildung 31:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Kriterium Karzinogene Substanzen während der Nutzungsphase.....	98
<u>Abbildung 32:</u> Anteil der Elementgruppen an Karzinogenen Substanzen über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	99
<u>Abbildung 33:</u> Anteil der Phasen am Kriterium Schwermetalle.	101

<u>Abbildung 34:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Kriterium Schwermetall während der Nutzungsphase.	101
<u>Abbildung 35:</u> Anteil der Elementgruppen am Kriterium Schwermetall über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	102
<u>Abbildung 36:</u> Anteil der Phasen am Stofffluss.	104
<u>Abbildung 37:</u> Anteil der Elementgruppen am Stofffluss während der Phasen Neubau und Erneuerung.	104
<u>Abbildung 38:</u> Anteil der Phasen an den Abfällen in Inertstoffdeponie.	106
<u>Abbildung 39:</u> Anteil der Elementgruppen an den Abfällen in Inertstoffdeponie.	106
<u>Abbildung 40:</u> Anteil der Phasen an den Abfällen in die Müllverbrennung.	107
<u>Abbildung 41:</u> Anteil der Elementgruppen an den Abfällen in die Müllverbrennung.	107
<u>Abbildung 42:</u> Anteil der Phasen am Öko-Indikator.	110
<u>Abbildung 43:</u> Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Öko-Indikator während der Nutzungsphase.	111
<u>Abbildung 44:</u> Anteil der Elementgruppen am Öko-Indikator über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	111
<u>Abbildung 45:</u> Prozentualer Anteil der Einzelkriterien am Gesamtergebnis aller untersuchten Varianten.	112
<u>Abbildung 46:</u> Anteil der Phasen an den alternativen Reduktionsfaktoren.	114
<u>Abbildung 47:</u> Anteil der Elementgruppen am Öko-Indikator über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.	114
<u>Abbildung 48:</u> Prozentualer Anteil der Einzelkriterien am Gesamtergebnis aller untersuchten Varianten.	116
<u>Abbildung 49:</u> Zeitlicher Verlauf des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar.	121
<u>Abbildung 50:</u> Veränderung der Relation der Varianten zum Referenzhaus über den gesamten Lebensweg für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar.	122
<u>Abbildung 51:</u> Zeitlicher Verlauf für das Kriterium Schwermetall.	123
<u>Abbildung 52:</u> Veränderung der Relation der Varianten zum Referenzhaus über den gesamten Lebensweg für das Kriterium Schwermetall.	123
<u>Abbildung 53:</u> Zeitlicher Verlauf des Treibhauspotenzials.	124

<u>Abbildung 54:</u> Veränderung der Relation der Varianten zum Referenzhaus über den gesamten Lebensweg für das Kriterium Treibhauspotenzial.	125
<u>Abbildung 55:</u> Korrelation des Anteils der Erneuerungsphase mit der Höhe der Abweichungen durch die Variation der Erneuerungsphase.....	126
<u>Abbildung 56:</u> Prozentuale Veränderung des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer.....	128
<u>Abbildung 57:</u> Prozentuale Veränderung des Versauerungspotenzials (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer.	129
<u>Abbildung 58:</u> Prozentuale Veränderung des Öko-Indikators (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer..	130
<u>Abbildung 59:</u> Prozentuale Veränderung der Schwermetalle (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer.	131
<u>Abbildung 60:</u> Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium Schwermetall in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase.	134
<u>Abbildung 61:</u> Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium Versauerungspotenzial in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase.....	135
<u>Abbildung 62:</u> Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium karzinogene Substanzen in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase.....	137
<u>Abbildung 63:</u> Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase.	138
<u>Abbildung 64:</u> Gesamtergebnis für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase.....	138
<u>Abbildung 65:</u> Relation der Gebäudebelastung zur Belastung aus dem Individualverkehr (PKW).....	141
<u>Abbildung 66:</u> Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Stoffflusses (Input), des Treibhauspotenzials und der Abfallentstehung (alle Abfallkategorien)	

zusammen) über den Lebensweg eines Gebäudes am Beispiel der Variante Haus B des Fallbeispiels.....149

Abbildung 67: Heizwärmeverbrauch in Mietwohnungen, dargestellt anhand der Anteile der Mietwohnungen mit einer Abweichungen zum mittleren Verbrauch zwischen unter 60 und bis 200 Prozent. Quelle:.....157

**Abbildung 68a und 68b: Auftragung des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar (Abb. 68a) und des Versauerungspotenzials (Abb. 68b) entsprechend der Energiekennzahl der Varianten für das Referenzhaus (98 kWh/m²a), Haus A (34 kWh/m²a), Haus B (43 kWh/m²a), Haus C (47 kWh/m²a), Haus DI (52 kWh/m²a), Haus DII (43 kWh/m²a) und Haus E (51 kWh/m²a).
..... 181**

Glossar

ALLOKATION Zuordnung der Input- und Outputflüsse eines Prozesses auf das untersuchte Produktsystem (DIN EN ISO 14040).

ANTHROPOSPHÄRE Anthroposphäre bezeichnet den Lebensraum des Menschen, in dem seine von ihm gebauten und betriebenen biologischen und technischen Prozesse stehen und in dem seine Aktivitäten stattfinden. Sie ist Teil der Biosphäre. (Baccini und Bader 1996, Seite 5).

AUSWERTUNG Teilschritt einer Ökobilanz, die die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend der Zieldefinition zusammenfasst (DIN EN ISO 14040).

BAUELEMENT Funktionale Elemente, die Bestandteil eines Gebäude sind, wie z.B. Fenster, Decken, Außenwände, werden als Bauelemente bezeichnet.

BAUPRODUKT Bauprodukte sind laut Bauproduktengesetz vom 10. August 1992 solche Baustoffe, Bauteile und Anlagen, die hergestellt werden, um dauerhaft in bauliche Anlagen des Hoch- und Tiefbaus eingebaut zu werden; außerdem solche Baustoffe und Bauteile vorgefertigter Anlagen, die hergestellt werden, um mit dem Erdboden verbunden zu werden (Fertighäuser, Silos).

BEWERTUNG Die Verknüpfung der zugänglichen Sachinformation eines Sachverhaltes mit dem persönlichen Wertesystem zu einem Urteil über den Sachverhalt (Giegrich 1991).

BIOLOGISCHE VIELFALT (auch Artenvielfalt, Biodiversität) Der Begriff der biologischen Vielfalt wird verstanden als die Vielfalt und die Variabilität innerhalb von Arten und zwischen verschiedenen Arten ebenso wie die Vielfalt von Ökosystemen (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg) 1995, S. 6).

BIOSPHERE Die Biosphäre besteht aus einer Vielzahl von offenen, das heißt energetisch und stofflich miteinander verbundenen Ökosystemen. Die Biosphäre ist ein komplexes, sich anpassendes und sich entwickelndes Lebenssystem, welches die Fähigkeit hat, sowohl die wichtigsten geologischen Prozesse der Erdkruste zu nutzen (und zu steuern) als auch genügend Energie verfügbar zu machen, um technische Systeme (Anthroposphäre als Teil der Biosphäre) zu stützen (Baccini und Bader, 1996).

CHARAKTERISIERUNG Teilschritt der Wirkungsabschätzung, indem die Quantifizierung der Wirkungskategorien in bezug auf die funktionelle Einheit des untersuchten Systems erfolgt. Als Grundlage dienen die Daten aus der Sachbilanz und der Klassifizierung.

ECOPRO Auf EXCEL-Basis entwickeltes Computerprogramm zur Erstellung von Gebäudeökobilanzen. Entwicklung durch das Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) in Karlsruhe (u.a. Kohler et al., 1996)

ELEMENTGRUPPE Zusammenfassung mehrerer Bauelemente zu einer sinnvollen Gruppe. Im Fallbeispiel wurden die folgenden verwendet: Fassade, Öffnungen, Innenwände, Decken/Böden, Dächer, Technik, ergänzende Leistungen.

ELEMENTKOSTENGLIEDERUNG Die Elementkostengliederung ist eine planungsorientierte Kostengliederung nach funktionalen Elementen (CRB 1991). Sie wird z.B. im Hochbau verwendet.

ELEMENTMAKER Auf EXCEL-Basis entwickeltes Computerprogramm zur Erstellung von Bauelementekatalogen zur Weiterbearbeitung in *ECOPRO* (siehe dort). Entwicklung durch das Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) in Karlsruhe (u.a. Kohler et al. 1996)

ENERGIEKENNZAHL Energieverbrauch eines Gebäudes pro Fläche oder Rauminhalt und Jahr. Die Bezugsfläche muss genau definiert werden z.B. Hauptnutzfläche gemäß DIN 277.

ENTSORGUNGSPHASE Letzte Phase eines Produktlebensweges. Im vorliegenden Fallbeispiel wird darunter die Entsorgung des anfallenden Materials beim Rückbau des Gebäudes verstanden; die Rückbauprozesse selbst sind nicht enthalten.

ERNEUERUNGSPHASE Diejenige Lebenswegphase der im Fallbeispiel untersuchten Gebäude, in die die Ersetzung von Bauelementen fällt. Sie umfasst sowohl die Produktion der Ersatzelemente als auch die Entsorgung der Altelemente.

FUNKTIONELLE EINHEIT Eine funktionelle Einheit ist ein Maß für den Nutzen eines Produktsystems. Sie dient hauptsächlich dazu, einen Bezug zu schaffen, auf den Input- und Outputflüsse bezogen werden und auf dessen Basis verschiedene Varianten verglichen werden können (DIN EN ISO 14040).

GRAUE ENERGIE Die graue Energie ist definiert als der kumulierte Primärenergieaufwand für die Herstellung eines verkaufsfertigen Produkts, ausgehend vom Abbau der notwendigen Rohstoffe. Die Festlegung der Systemgrenzen unterliegt allerdings keiner Norm, d.h. die Vergleichbarkeit verschiedener Untersuchungen für das gleiche Produkt muss im Einzelfall überprüft werden (SIA 1997).

HEIZWÄRMEBEDARF Der Heizwärmebedarf bezeichnet die Wärme, die ein Heizsystem für die Gesamtheit der beheizten Räume eines Gebäudes während eines Jahres bereitzustellen hat. Zu seiner Berechnung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, z.B. zwei sind in Anlage 1 der Wärmeschutzverordnung beschrieben.

KARZINOGENE SUBSTANZEN Wirkungskriterium, welches die krebserregenden Substanzen erfasst, die in der Sachbilanz ermittelt wurden. Sie werden als Benz(a)pyren-Äquivalente zusammengefasst.

KLASSIFIZIERUNG Teilschritt der Wirkungsabschätzung, in dem die Zuordnung der Energie- und Stoffströme aus der Sachbilanz zu den ausgewählten Umweltwirkungskriterien erfolgt. Mehrfachzuordnungen sind dann unvermeidlich, wenn ein Stoff mehrere Wirkungen hat, z.B. ozonabbauend und treibhauswirksam ist (Klöpffer und Renner 1995, S. 15).

K-WERT siehe Wärmedurchgangskoeffizient

LEBENSDAUER Zeitspanne der Funktionsfähigkeit eines Bauelements, eines Gebäudes oder eines anderen Produktes bis zum Erreichen einer starken Schadhafteigkeit, bei der eine Instandsetzung aus technischen oder finanziellen Gründen nicht mehr unternommen werden kann (Meyer et al. 1994).

LEBENSWEG Aufeinanderfolgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder der Gewinnung natürlicher Ressourcen bis zur endgültigen Beseitigung; „from cradle to grave“ (DIN EN ISO 14040).

LUFTDICHTIGKEIT Dichte der Gebäudehülle gegenüber Luftströmungen. Messmethode: Blower Door Test (Feist et al. 1997). Dabei wird in einem geschlossenen Gebäude ein Unter- oder Überdruck von 50 Pascal erzeugt und gemessen, welcher Luftvolumenstrom (m^3/h) ab- bzw. zuzuführen ist, um diesen Druck aufrecht zu erhalten. Für ein Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage ist ein Wert von höchstens dem einfachen Wohnraumvolumen pro Stunde anzustreben, um die Effektivität der Anlage zu gewährleisten.

LUFTWECHSELRATE Die Luftwechselrate bezeichnet das Verhältnis des durchschnittlichen Luftaustausches in Kubikmeter pro Stunde zum belüfteten Raumvolumen in Kubikmeter. Es resultiert die Dimension $1/\text{h}$. Je nach Personenzahl und Belastungsquellen ist eine Luftwechselrate von 0,3 bis 0,8 $1/\text{h}$ im Hinblick auf Hygiene und die Vermeidung von Bauschäden zweckmäßig (Feist et al. 1997).

MAXIMALE ARBEITSPLATZKONZENTRATION (MAK) ist gemäß Gefahrstoffverordnung die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der im allgemeinen die Gesundheit der Arbeitnehmer nicht beeinträchtigt wird. Dabei wird von einer täglichen Belastung über 8 bis 9 Stunden ausgegangen.

MAXIMALE IMMISSIONS-KONZENTRATION (MIK) Beurteilungskriterium für Schadstoffkonzentrationen, die keine nachteilige Wirkungen für Menschen, Tiere und Pflanzen haben. Beurteilt werden beispielsweise Niederschläge und Kondensate (Verband der Chemischen Industrie 1993).

NACHHALTIGKEIT Ursprünglich in der Forstwirtschaft verwendeter Begriff für eine Bewirtschaftungsform des Waldes, bei der in einer Periode nur so viel Holz entnommen wird wie in der gleichen Periode nachwächst. Weiter gefasst steht der Begriff für eine dauerhafte Entwicklung, die den Bedürfnissen heutiger Generationen entspricht, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu gefährden. (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.) 1993). Im englischen wird der Begriff „sustainability“ verwendet.

NEUBAUPHASE Diejenige Lebenswegphase im Fallbeispiel, die die Erstellung des Gebäudes umfasst. Sie enthält die Rohstoffgewinnung, die Produktion der Baustoffe und die dafür erforderlichen Transporte. Nicht enthalten sind dagegen die Bauprozesse zur Erstellung der Gebäude.

NIEDRIGENERGIEHAUS Ein für übliche Nutzungen vorgesehenes Gebäude mit besonders niedrigem Energieverbrauch. Besonders niedrig bedeutet dabei ein spezifischer Heizenergieverbrauch zwischen 25 und 60 kWh/m^2 und Jahr. Häuser mit weniger Verbrauch werden als Nullenergiehäuser bezeichnet (Humm 1991).

NORMALISATION Fakultativer Bestandteil der Wirkungsabschätzung. Die ermittelte Belastungen eines Wirkungskriteriums ins Verhältnis gesetzt zur entsprechenden Belastung innerhalb eines bestimmten Vergleichsraumes. Dies wird für alle betrachteten Wirkungskriterien durchgeführt. Als Vergleichsraum kann ein Land (z.B. Deutschland), eine Region (z.B. Europäische Union, OECD-Länder) oder die gesamte Welt dienen.

NUTZUNGSPHASE Lebenswegphase eines Produktes, während derer es genutzt wird. Für die im Fallbeispiel untersuchten Gebäude umfasst sie die Heizung der Gebäude, den Stromverbrauch für die Haustechnik und die Warmwasserbereitstellung.

ÖKOBILANZ Die Ökobilanz ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potentiellen Umweltwirkungen im Verlauf seines Lebenswegs. Sie besteht aus vier Teilschritten: der Zieldefinition, der Sachbilanz, der Wirkungsabschätzung und der Auswertung (ISO 14040).

ÖKO-INDIKATOR Bewertungsverfahren, welches die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung, stratosphärischer Ozonabbau, Überdüngung, Sommersmog, Wintersmog, Karzinogene Substanzen und Schwermetalle entsprechend gesellschaftlicher Reduktionsziele gewichtet. Die Bewertung erfolgt in zwei Teilschritten: die Wirkungsabschätzungsdaten werden zuerst normalisiert (siehe unter Normalisierung) und im zweiten Schritt gewichtet. Man erhält je Wirkungskategorie einen Punktwert. Das Endergebnis besteht aus der Summe aller Punktwerte (Goedkoop 1995).

ÖKOLOGIE Ökologie ist die Wissenschaft von den Wechselbeziehungen und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Lebewesen und ihrer Umwelt, vom Stoffhaushalt und den Energieflüssen, die das Leben auf der Erde möglich machen (Larcher 1984).

ÖKOSYSTEM Ein Ökosystem ist eine funktional vollständige Menge aus Tieren, Pflanzen, Mineralien etc.. Die Wechselwirkungen und Stoffflüsse zwischen den Elementen können in ihrer Gesamtheit Regelfunktionen (z.B. Wasserhaushalt, Temperatur), und Stoffkreislauffunktion (Produzenten, Reduzenten) übernehmen.

OZONABBAUPOTENZIAL Wirkungskriterium, welches diejenigen Substanzen erfasst, die in der Lage sind, stratosphärisches Ozon zu zerstören. Als Referenzsubstanz dient R11, d.h. der Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) Trichlorfluormethan.

PRIMÄRENERGIEBEDARF Menge an Primärenergie, die auf dem Lebensweg eines Produktes eingesetzt wird. Im Gegensatz zur grauen Energie ist dabei auch der Energieinhalt eines Produktes enthalten. Es wird unterschieden zwischen nicht erneuerbarem und erneuerbarem Primärenergiebedarf.

PRODUKTLINIENANALYSE Produktlinienanalysen (PLA) untersuchen den gesamten Lebensweg eines Produktes, analysieren die ökologischen ökonomischen und sozialen Wirkungen und bewerten die längs des Lebensweges auftretenden Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden Umweltbelastungen sowie die sozioökonomischen Wirkungen. PLA erfassen, analysieren und bewerten auch den Nutzen des Produktes in einer Kosten-Nutzen-Abwägung. PLA werden von einem Forum, bestehend aus Vertretern der gesellschaftlichen Gruppen, begleitet. (Griesshammer 1993, S. 2).

RECYCLING Das Recycling kann danach unterschieden werden wie Reststoffe sowie Produkte nach ihrer Nutzung weiterbehandelt werden: *Weiterverwendung*: das Produkt wird einer anderen Nutzung zugeführt; *Wiederverwendung*: das Produkt wird nach einer Aufbereitung wieder der gleichen Nutzung zugeführt; *Weiterverwertung* rohstoffliche Nutzung des Produktes für ein anderes Produkt; *Wiederverwertung* rohstoffliche Nutzung des Produktes für das gleiche Produkt

SACHBILANZ Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges umfasst (DIN EN ISO 14040).

SCHWERMETALLE Schwermetalle sind Metalle mit einer Dichte größer 5 kg/dm^3 . Im Fallbeispiel wird damit ein Wirkungskriterium bezeichnet, welches eine Reihe von Schwermetallen erfasst, die in die Luft und ins Wasser emittiert werden. Als Referenzsubstanz dient Blei.

SENSITIVITÄTSANALYSE Analyse des Einflusses, den die Variation bestimmter Parameter einer Ökobilanz auf das Gesamtergebnis hat. Damit lässt sich einerseits überprüfen, wie robust das Ergebnis ist. Andererseits kann so auch die Fehlereinschätzung erleichtert werden. Im Fallbeispiel wird beispielsweise u.a. die Lebensdauer der Bauelemente variiert.

SOMMERSMOG Wirkungskriterium, welches diejenigen Substanzen erfasst, die unter UV-Bestrahlung zur Bildung von bodennahem Ozon beitragen können.

STOFFFLUSSANALYSE Die Stoffflussanalyse ist eine Methode zur Erfassung, Beschreibung und Interpretation von Stoffhaushaltssystemen. Mit ihrer Hilfe kann für einen definierten Raum in einer bestimmten Zeitperiode, den Systemgrenzen, der Stoffumsatz quantifiziert werden. (Baccini und Bader 1996, Seite 35)

STOFFSTROMMANAGEMENT Das Stoffstrommanagement bezeichnet das Beeinflussen von Stoffströmen oder Stoffsystemen, wobei die Zielvorgaben aus dem ökologischen und ökonomischen Bereich kommen unter Berücksichtigung von sozialen Aspekten (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.) 1994)

SYSTEMGRENZE Schnittstelle zwischen einem Produktsystem und seiner Umwelt oder anderen Produktsystemen.

TREIBHAUSPOTENZIAL Wirkungskriterium, welches diejenigen Substanzen erfasst, die zu einer Erwärmung des Klimas führen können. Als Referenzsubstanz dient Kohlendioxid.

ÜBERDÜNGUNGSPOTENZIAL Wirkungskriterium, welches diejenigen Substanzen erfasst, welche eine Düngewirkung besitzen und so z.B. Massenwachstum von Algen verursachen können. Als Referenzsubstanz dient Phosphat.

UMWELTQUALITÄTSZIEL Ein Umweltqualitätsziel beschreibt einen umwelt-politisch angestrebten oder wissenschaftlich begründeten Gütezustand der Schutzgüter Umwelt bzw. Ökosysteme. Der Gütezustand wird räumlich und zeitlich beschrieben und mit Indikatoren versehen (Bunke et al. 1995, S. 2).

UMWELTZIEL Umweltziele sind quantitative oder qualitative umweltpolitische Vorgaben mit festgelegtem Zeitrahmen, die auf das Erreichen oder Einhalten einer bestimmten Umweltqualität ausgerichtet sind (Bunke et al. 1995, S. 2).

VERSAUERUNGSPOTENZIAL Wirkungskriterium, welches diejenigen Substanzen erfasst, welche in wässriger Lösung eine Verringerung des PH-Wertes verursachen können (Stichwort *Saurer Regen*). Als Referenzsubstanz dient Schwefeldioxid.

WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT auch k-Wert genannt; Einheit: $\text{W/m}^2\text{K}$. Der k-Wert bezeichnet die Wärmemenge (in Joule bzw. Ws), die pro Zeiteinheit (Sekunde) durch

einen Quadratmeter eines Bauteils hindurchgeht, wenn zwischen den beiderseits angrenzenden Luftschichten ein Temperaturunterschied von 1 K herrscht.

WÄRMELEITZAHL auch Lambda-Wert (λ) genannt; Einheit: W/mK. Der Lambda-Wert bezeichnet die Wärmemenge, die in einer Sekunde durch einen Quadratmeter einer einen Meter dicken homogenen Stoffschicht senkrecht zur deren Oberfläche fließt, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Oberflächen ein Kelvin beträgt. Der Wert ist temperaturabhängig und stoffspezifisch.

WÄRMESCHUTZVERORDNUNG Die Wärmeschutzverordnung schreibt vor, daß bei der Errichtung von Gebäuden der Jahres-Heizwärmebedarf zu beschränken ist. Berechnet wird der Bedarf auf der Basis eines Energiebilanzverfahrens, welches Wärmegewinne und Verluste berücksichtigt. Zum 01.01.1995 ist bundesweit die neue Wärmeschutzverordnung in Kraft getreten. Sie löste die alte Fassung von 1982 ab (Bundesministerium für Raumordnung Bauwesen und Städtebau (Hrsg.) 1994). Die Beschränkungen werden also nicht mehr wie in der alten Fassung auf der Basis der k Werte von Bauelementen formuliert.

WINTERSMOG Wirkungskriterium, welches diejenigen Substanzen erfasst, welche im Winter Smog verursachen können. Darunter fallen Schwefeldioxid, Staub und Ruß.

WIRKUNGSABSCHÄTZUNG Bestandteil einer Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems dient (DIN EN ISO 14040). Häufig wird auch der Begriff Wirkungsbilanz verwendet.

ZIELDEFINITION Eindeutige Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen einer Ökobilanz-Studie entsprechend der beabsichtigten Anwendung (DIN EN ISO 14040).

Abkürzungsverzeichnis:

atm.	Atmosphärisch
AP	Allergenes Potenzial
A/V	Außenfläche /Volumen
AW	Außenwand
BEK	Bauelementekatalog
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
bzw.	beziehungsweise
CD	Comity Draft
CIB	Conseil International du Bâtiment pour la Recherche, L'Étude et la Documentation
CFC11	Trichlorfluormethan
CML	Centrum voor Milieukunde, Leiden (Niederlande)
CO ₂	Kohlendioxid
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
DIN	Deutsches Institut für Normung
EBZ	Energiebezugsfläche
EG	Erdgeschoss
EK	Elementekatalog
EN	Europäische Norm
etc.	Et cetera
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
ev.	Eventuell
EW	Einliegerwohnung
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
FDIS	Final Draft International Standard
FIPS	Flächenintensität pro Serviceeinheit
GWP	Global Warming Potenzial
H 1301	Bromtrifluormethan
HCA	Human Toxicological Factor for Air
HCW	Human Toxicological Factor for Water
HCS	Human Toxicological Factor for Soil
HW	Hauptwohnung
ifib	Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe
ISO	International Standard Organization
KEA	Kumulierter Energieaufwand
kWh	Kilowattstunde
LCA	Life Cycle Assessment
LD	Lebensdauer
LD ₅₀	Letale Dosis für 50 Prozent der Versuchstiere
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MIK	Maximale Immissionskonzentration

MIPS	Materialintensität pro Serviceeinheit
MVA	Müllverbrennungsanlage
n.b.	nicht bekannt
NO _x	Stickoxid
NT	Niedertemperatur
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OG	Obergeschoss
PAH	Polyaromatic Hydrocarbons
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PEB n.e.	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
PEB e.	Primärenergiebedarf erneuerbar
Polystyrol EPS	Expandiertes Polystyrol
PUR	Polyurethan
R11	Trichlorfluormethan
R 22	Chlordifluormethan
R 134a	Tetrafluorethan
Sb	Antimon
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
SIB	Schweizerische Interessengemeinschaft für Baubiologie/ Bauökologie
SO ₂	Schwefeldioxid
SVA	Sonderabfallverbrennungsanlage
TJ	1 Terajoule = 10 ¹² J
UBP	Umweltbelastungspunkte
UCPTE	Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité. (Stromnetz der westeuropäischen Union für die Koordinierung und den Transport elektrischer Energie).
UG	Untergeschoss
u.U.	unter Umständen
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
UVS	Umweltverträglichkeitsstudie
VOC	Volatile Organic Compounds
WD	Working Draft
WE	Wohneinheit
W/m ² K	Watt pro Quadratmeter und Kelvin
WRG	Wärmerückgewinnung
WW	Warmwasser
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

1. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Graduiertenkollegs „*Interdisziplinäre Strategien zum Schutz der Umwelt*“ erstellt. Zielsetzung der Arbeit war es, anhand eines konkreten Fallbeispiels die Umweltauswirkungen auf dem Lebensweg von Wohngebäuden zu untersuchen und Ansatzpunkte für Optimierungsmaßnahmen zu ermitteln. Als methodischer Ansatz wurde dabei die Produktökobilanz gewählt. Zusätzlich zum eigentlichen Fallbeispiel wurden auch methodische Fragen bezüglich der Anwendung der Ökobilanz auf Gebäude bearbeitet.

Als Fallbeispiel wurde das „*Demonstrationsprojekt Niedrigenergiehäuser Heidenheim*“ ausgewählt. Es handelt sich dabei um sechs hinsichtlich Grundriss und Größe vergleichbare Doppelhäuser, die sich allerdings in Bezug auf den Energiestandard und die Konstruktion unterscheiden. Als funktionelle Einheit wurde eine Doppelhaushälfte festgelegt. Eines der Gebäude wurde als Referenzgebäude gewählt. Es ist sowohl in Bezug auf die Konstruktion (Ziegel) als auch in Bezug auf den Energiestandard (Wärmeschutzverordnung 95) charakteristisch für die in Deutschland aktuell neu gebauten Gebäude dieses Typs. Die übrigen Varianten haben Niedrigenergiestandard (34 bis 52 kWh/m²a). Die Ökobilanz wurde mit Hilfe des Programms *ECOPRO* durchgeführt. Es wurde am Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe entwickelt und für die Arbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Die Resultate der Wirkungsbilanz zeigten, dass auch bei Gebäuden mit einem vergleichsweise guten Energiestandard, wie den untersuchten Doppelhaushälften, die Nutzungsphase die Gesamtbelastung wesentlich beeinflusst. Für die meisten der einbezogenen Kriterien erwies sich diese Phase als wichtigste Quelle der Belastung. Als Verursacher traten sowohl der Heizwärmeverbrauch (inklusive der Bereitstellung von warmem Wasser) als auch der Stromverbrauch in Erscheinung. Besonders klar zeigte sich dies für die Variante mit Elektroheizung: Sie schnitt insgesamt am schlechtesten ab. Damit konnte gezeigt werden, dass eine Elektroheizung aus Umweltgesichtspunkten auch für ein Niedrigenergiehaus nicht sinnvoll ist. Zudem erwiesen sich die Unterschiede zwischen den Varianten während dieser Phase für die meisten Kriterien als entscheidend für den abschließenden Vergleich der Varianten.

Im Gegensatz dazu unterschieden sich die Umweltbelastungen der übrigen Phasen (Neubau, Erneuerung, Entsorgung) nur unwesentlich. Es konnte keine Korrelation zwischen dem jeweiligen Energiestandard und der Höhe der Umweltbelastungen festgestellt werden; ebenso wenig eine Korrelation zwischen Stofffluss oder Wohnfläche und der Höhe der Umweltbelastung.

Die Elementgruppe mit den durchweg höchsten Umweltbelastungen waren *Decken/Böden*. Als bedeutende Einzelelemente fielen vor allem die Regenrinnen

(Schwermetall), der Teppichboden und generell Kunststoffe ins Gewicht. Die Ergebnisse zeigten, dass besonders von kurzlebigen Elementen (z.B. Teppichboden) über die Lebensdauer der Gebäude eine beträchtliche Belastung ausgehen kann.

Die Ergebnisse machten auch deutlich, dass nicht allein die Qualität der eingesetzten Bauelemente eine wesentliche Rolle spielt, sondern es sich um ein Zusammenspiel von Quantität und Qualität handelt. Dies kann als Chance für Planende aufgefasst werden, da die Materialwahl somit nicht grundsätzlich eingeschränkt werden muss.

Die Belastung durch die Gebäude erwies sich im Kontext der europäischen Gesamtbelastung je nach Kriterium als unterschiedlich relevant: Für das Überdüngungs- und das Ozonabbaupotenzial konnte gezeigt werden, dass die untersuchten Gebäude nur eine marginale Quelle darstellen. Hingegen erwiesen sich neben dem Treibhauspotenzial vor allem die Schwermetallbelastungen als bedeutend.

Anhand von Sensitivitätsanalysen konnte gezeigt werden,

- dass für die Bilanzierung der Gebäude ein Zeitraum von je nach Kriterium 40 bis 60 Jahren ausreicht, um eine vergleichende Bewertung durchzuführen, die zum gleichen Resultat führt wie nach den üblicherweise angenommenen 80 Jahren. Die Entsorgung am Ende der Lebensdauer der Gebäude spielte nur eine untergeordnete Rolle.
- dass die Festlegung der Elementlebensdauer für den Vergleich der untersuchten Gebäude nur dann kritisch ist, wenn Elemente aus unterschiedlichen Lebensdauerklassen verwendet werden. Die absoluten Ergebnisse der Bilanz hingegen unterscheiden sich in den Lebensdauerklasse für die verschiedenen Wirkungskriterien in unterschiedlichem Umfang
- dass der potenzielle Effekt einer durchgehenden Recyclingrate von 100 Prozent über den gesamten Lebensweg der Gebäude mit Ausnahme des Kriteriums *Schwermetall* das Gesamtergebnis nur geringfügig beeinflusst.
- dass der Wegfall von Materialverlusten durch Verschnitte während der Neubau- und Erneuerungsphase das Gesamtergebnis ebenfalls nur geringfügig beeinflusst.

2. Die Ökologieverträglichkeit im Konzept des nachhaltigen Bauens

2.1 Das Konzept der Nachhaltigkeit

2.1.1 Geschichte und Definition des Begriffs Nachhaltigkeit

Der Begriff der Nachhaltigkeit kommt ursprünglich aus der Forstwirtschaft des 18. Jahrhunderts. Von Carlowitz (1713) bezeichnete damit eine Bewirtschaftungsform des Waldes, die daran orientiert ist, dass in einer Periode nicht mehr Holz entnommen werden darf als in der gleichen Zeit nachwachsen kann. Hintergrund war der wachsende Holzbedarf durch die industrielle Entwicklung und die mit dieser Wirtschaftsform angestrebte *“nothdürftige Versorgung des Hauß-, Bau-, Brau-, Berg- und Schmelz-Wesens”* mit Holz (von Carlowitz, 1713, zitiert nach Troßbach, 1996). Es handelt sich dabei also um eine wirtschaftlich motivierte Form der Nachhaltigkeit, die im wesentlichen der Ressourcen-sicherung bestimmter Wirtschaftszweige dienen sollte.

Die Ressourcenfrage war dann auch ein wesentlicher Auslöser der in den 70er Jahren dieses Jahrhunderts aufkommenden Ökologiedebatte: Im Jahr 1972 erschien die Studie *“Grenzen des Wachstums”* von Meadows et al. (1972). Im gleichen Jahr wurde das United Nations Environmental Program (UNEP) gegründet und die erste UN-Konferenz zum Thema *“Human Environment”* in Stockholm durchgeführt. Zentrales Thema waren das Bevölkerungswachstum, der zunehmende Ressourcenverbrauch und die wachsende Umweltzerstörung. Es wurden Konzepte für eine umwelt- und sozialverträgliche Entwicklung gesucht. Später wurde dafür der Begriff *Sustainable Development* geprägt. In Anlehnung an den Nachhaltigkeitsbegriff in der Forstwirtschaft wurde dies mit *nachhaltiger Entwicklung* übersetzt.

Im 1987 veröffentlichten Brundtland-Bericht (Hauff 1987) wurde dann zum ersten Mal der Begriff der Nachhaltigkeit definiert. Grundlage der Formulierung ist die Annahme der Chancengleichheit für künftige Generationen. Er definiert die Nachhaltigkeit als *“dauerhafte Entwicklung, die den Bedürfnissen heutiger Generationen entspricht, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen”*.

Nachhaltige Entwicklung wird darin beschrieben als *“ein Prozess tiefgreifender Veränderungen, in dem die Nutzung der Ressourcen, die Struktur der Investitionen, die Art des technischen Fortschritts und die institutionellen Strukturen mit den zukünftigen und den gegenwärtigen Bedürfnissen in Einklang gebracht werden”*

Die in Folge seiner Veröffentlichung stattfindenden intensiven Diskussionen trugen wesentlich dazu bei, dass 1992 die UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de

Janeiro stattgefunden hat. Auf dieser Konferenz und ihren begleitenden Veranstaltungen kristallisierte sich der Begriff der nachhaltigen Entwicklung als zentrales Leitbild der globalen Umweltdiskussion heraus. Mehr als 150 Regierungen sowie die internationale Handelskammer haben sich diesem Leitbild verpflichtet.

Ebenfalls 1992 wurde mit dem *Programm für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung* das fünfte Umweltprogramm der Kommission der Europäischen Gemeinschaften vorgelegt (Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1992). Es betont, dass der Umweltschutz sich nicht auf die Umweltpolitik beschränken darf, sondern er im Gegenteil in alle Bereiche integriert werden muss. Dies schließt die Wirtschaftspolitik und behördliche Entscheidungen ebenso ein wie die Entwicklung und Anwendung von Fertigungsverfahren sowie das Verhalten und der Verbrauch jedes einzelnen.

1994 erschien in Deutschland der Abschlussbericht *„Die Industriegesellschaft gestalten - Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“* der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (1994, S. 31). Er hebt die Erhaltung des natürlichen Kapitals als zentrales Ziel einer nachhaltigen Entwicklung hervor. Grundlage sind die Funktionen, die die Gesamtheit der Ökosysteme, d.h. die Ökosphäre, für das Wirtschaftssystem (die Technosphäre) übernehmen:

- *Produktionsfunktion*: Versorgung der Gesellschaft mit Produkten und Gütern;
- *Trägerfunktion*: Aufnahme der menschlichen Aktivitäten, Erzeugnisse und Abfälle;
- *Informationsfunktion*: Austausch von Informationen zwischen Mensch und Umwelt (z.B. zum Zweck der Orientierung);
- *Regelungsfunktion*: Erhaltung der Funktionen des Naturhaushaltes, die infolge der Beanspruchungen durch Mensch und Gesellschaft beeinträchtigt werden;
- *Ästhetische und Erholungsfunktion*

Diese Funktionen der Ökosphäre sind grundsätzlich nicht durch andere Leistungen ersetzbar. Ihre Sicherung hat deshalb höchste Priorität und wird deshalb die Möglichkeiten menschlichen Wirtschaftens beschränken.

2.1.2 Die drei Elemente der Nachhaltigkeit

Als zentrale Elemente einer nachhaltigen Entwicklung gelten Ökologie-, Ökonomie- und Sozialverträglichkeit (Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 1992, Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.) 1994. Dierkes (1985, zitiert nach Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.) 1994) schlägt vor, dafür den aus der Stabilitätspolitik bekannten Begriff des magischen Dreiecks zu verwenden (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1 Die drei zentralen Elemente einer nachhaltigen Entwicklung, dargestellt in Form eines *magischen Dreiecks*.

Neu an diesem Konzept ist die Erkenntnis, dass soziale, wirtschaftliche und ökologische Aspekte nicht isoliert voneinander betrachtet werden können. Es erfordert hingegen einen ganzheitlichen Ansatz, der Zusammenhänge und Abhängigkeiten anerkennt (Loske und Bleischwitz 1996, S. 24). Nur so können langfristig tragende Entscheidungen gefällt werden.

Element Ökologie. Aus der Definition des Begriffs der Nachhaltigkeit und der Forderung nach dem Erhalt des natürlichen Kapitalstocks und seinen Umweltfunktionen lassen sich für das Element Ökologie folgende vier Managementregeln ableiten (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.), 1994, S. 45ff):

1. Die Abbauraten erneuerbarer Ressourcen soll ihre Regenerationsrate nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, d.h. (mindestens) nach Erhaltung des von den Funktionen her definierten Realkapitals.
2. Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.
3. Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, wobei alle Funktionen zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt auch die "stille" und empfindliche Regelungsfunktion.
4. Das Zeitmaß anthropogener Einträge bzw. Eingriffe in die Umwelt muss in ausgewogenem Verhältnis zum Zeitmaß der für das Reaktionsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozesse stehen.

Vergleichbare Grundregeln gibt es bislang für soziale und wirtschaftliche Aspekte nicht (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" 1997, S. 25).

Element Sozialverträglichkeit. Unter einer sozial nachhaltigen Entwicklung versteht man eine Entwicklung, die den Menschen ein Höchstmaß an individueller Freiheit unter Wahrung sozialer Verantwortung ermöglicht (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.), 1993, S. 54ff). Notwendige Grundlagen dafür sind

- die soziale Sicherheit,
- der soziale Frieden und
- die soziale Gerechtigkeit (auch länderübergreifend).

Die alleinige Sicherung dieser Grundlagen über ein entsprechendes Maß an *Wohlstand für alle* erscheint vor dem Hintergrund des damit verbundenen Energie- und Materialverbrauchs nicht möglich (Amini 1996). Es wird deshalb ein grundsätzliches Umdenken insbesondere in den Industrieländern notwendig sein. In Loske und Bleischwitz (1996) wird vor diesem Hintergrund das Leitbild "*gut leben statt viel haben*" vorgeschlagen.

Element Ökonomie. Auf makroökonomischer Ebene wurden die Schaffung und Erhaltung wirtschaftlicher Stabilität und die damit verbundenen ökonomischen Einzelziele als elementare Zielkategorien identifiziert (Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" 1997, S. 34).

Als Voraussetzung für den als notwendig angesehenen Strukturwandel werden aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten die folgenden Kriterien angesehen (Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.), 1994):

- kalkulierbare politische Rahmenbedingungen;
- Wahrung des unternehmerischen Handlungsspielraums;
- Anpassung der Geschwindigkeit des angestrebten Strukturwandels an die begrenzte Anpassungskapazität von Wirtschaft, privaten Haushalten und Staat;
- langfristig kalkulierbare Umweltpolitik.

2.2 Konkretisierung des Begriffs Nachhaltigkeit für den Baubereich

Die im vorigen Kapitel sehr allgemein formulierten Anforderungen an eine nachhaltige Entwicklung müssen im folgenden für ihre Anwendung auf den Baubereich konkretisiert werden. Obwohl es sich bei dem Begriff Nachhaltigkeit mittlerweile um einen stark strapazierten Modebegriff handelt, der für alles und nichts verwendet wird, lassen sich in der Literatur sehr ernsthafte Auseinandersetzungen mit dem Begriff *nachhaltiges Bauen* finden. Sie sind im Folgenden zusammengefasst. Für Quellen, die sich ausschließlich auf die ökologischen Aspekte des Bauens beziehen, wird auf Kapitel 2.3 verwiesen. Diese Trennung erscheint im Gesamtkontext sinnvoll.

2.2.1 Zielsetzungen eines nachhaltigen Bauens

2.2.1.1 Das Element Ökologieverträglichkeit

Bevor im Folgenden die wesentlichen Zielsetzungen der Ökologieverträglichkeit für ein nachhaltigen Bauens vorgestellt werden, soll zunächst auf wichtige Eckdaten für dieses Element hingewiesen werden: Als Auslöser für Stoffströme spielt die Bauwirtschaft im Vergleich zu anderen Wirtschaftsbereichen die größte Rolle (Friege 1997). Etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen in Deutschland wird durch Gebäude verursacht (Töpfer 1997). Eine quantitative Übersicht über die vom Baubereich ausgelösten Stoffströme ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Hinzukommt, dass in Deutschland täglich 100 Hektar Land in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt werden. Insgesamt sind in Deutschland heute etwa doppelt so viele Flächen verbaut wie 1950 (Friege 1997). In den letzten Jahren erfolgte auch eine deutliche Zunahme des Schad- und Störstoffeintrags in Gebäude.

Die Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (1997) nennt vor diesem Hintergrund für das Element Ökologieverträglichkeit sechs wesentliche Zielsetzungen für ein nachhaltiges Bauen:

- Reduzierung des Flächenverbrauchs,
- Beendigung der Zersiedelung von Landschaft,
- Geringhaltung zusätzlicher Bodenversiegelung, Ausschöpfung von Entsiegelungspotenzialen,
- Orientierung der Stoffströme im Baubereich an den Zielen der Ressourcenschonung,

Tabelle 1: Anteile verschiedener Teilbereiche des Baubereiches in Deutschland an den gesamten Umweltbelastungen.

Untersuchtes System	Geschätzter Anteil an der Umweltbelastung	Literaturquelle
Bereitstellung des Materialinputs für den Baubereich (Hoch- und Tiefbau) in Deutschland (nicht enthalten ist Holz) für das Jahr 1991	10 Prozent der jährlichen Emissionen an Treibhausgasen und sauren Schadgasen (SO ₂ , NO _x) in Deutschland	Buchert (1996, Seite 54)
Das Bedarfsfeld Wohnen ¹ in Deutschland (alte Bundesländer) für das Jahr 1991	29 Prozent der gesamten Materialentnahme 37 Prozent der CO ₂ - und SO ₂ -Emissionen sowie 18 Prozent der NO _x -Emissionen	Loske und Bleischwitz (1996, Seite 102 und 124)
Bereitstellung von Raumwärme in Deutschland (alte Bundesländer) für das Jahr 1990	30 Prozent des Endenergieverbrauchs der alten Bundesländer und 75 Prozent des Endenergieverbrauchs der Haushalte	Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (1994, Seite 43), Neitzel et al. (1994)

¹ Enthalten ist der Aufwand für den Bau neuer Wohnungen, den Ausbau und die Instandhaltung bestehender Gebäude sowie deren Unterhalt und Heizung

- Vermeidung von Verwendung und Eintrag von Schadstoffen in Gebäude bei Neubau, Umbau und Nutzung; Beachtung dieser Prinzipien bei der Schließung des Stoffkreislaufs bei Baumaterialien,
- Verringerung der CO₂-Emissionen der Gebäude im Sinne des Beschlusses der Bundesregierung zur 25prozentigen Reduktion bis zum Jahr 2005.

Ergänzend dazu ist es sehr sinnvoll auch andere Schadstoffe, die z.B. bei der Energie- und Baustoffbereitstellung entstehen, in Form einer Lebenszyklusbetrachtung wie sie für das Element Ökonomie empfohlen wird, einzubeziehen (Scholz et al., 1996, SIA, 1999).

2.2.1.2 Das Element Ökonomieverträglichkeit

Zur Einschätzung der Ökonomieverträglichkeit ist es wichtig einige Eckdaten des Baubereichs zu kennen: Bauinvestitionen machen insgesamt rund 12 Prozent, die Wohnungsbauinvestitionen rund 7 Prozent des deutschen Bruttoinlandsproduktes aus. Die Aufwendungen für Neubau, Umbau und Instandhaltung betragen rund 571 Milliarden DM. Davon führt allein der Wohnungsneubau zu Aufwendungen in Höhe von 240 Milliarden DM (Friege 1997).

Für das Element Ökonomieverträglichkeit stellt die Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (1997) deshalb folgende Zielsetzungen auf:

- Minimierung der Lebenszykluskosten von Gebäuden (Erstellung, Betrieb, Instandhaltung, Rückbau, Recycling etc.),
- Relative Verbilligung von Umbau- und Erhaltungsinvestitionen im Vergleich zum Neubau,
- Optimierung der Aufwendungen für technische und soziale Infrastruktur,
- Verringerung des Subventionsaufwandes.

Zentral für eine korrekte Minimierung der Lebenszykluskosten ist allerdings auch die Internalisierung externer Kosten, wie sie von Mauch und Scheidegger (1996), SIA (1999) und Beckmann (1997) gefordert wird.

Als wichtiges Element der Ökonomieverträglichkeit sehen INFRAS AG (1997), Mauch und Scheidegger (1996) und N.N. (1999) daneben auch die werterhaltende Bewirtschaftung der baulichen Infrastruktur an.

2.2.1.3 Das Element Sozialverträglichkeit

Demographische Veränderungen in Deutschland werden in Zukunft zu veränderten Anforderungen an die Wohnraumversorgung führen. Beispielsweise wird der Anteil der über 60jährigen zwischen 1993 und 2020 von 16,6 auf 22,9 Millionen ansteigen (Friege 1997). Außerdem verringert sich laufend die durchschnittliche Haushaltsgröße. Lag die mittlere Haushaltsgröße 1989 in Deutschland (alte Bundesländer) noch bei 2,5 Personen, so rechnen Prognosen für das Jahr 2003 mit nur 2,2 Personen pro Haushalt, bei leicht zunehmender Gesamtbevölkerungszahl (Meyer 1997). Zum Vergleich: 1900 betrug die durchschnittliche Haushaltsgröße noch 4,5 Personen. Die durchschnittlich in Anspruch genommene Wohnfläche lag dabei 1989 bei 36 m² pro Person, mit steigender Tendenz. Es lässt sich eine Koppelung der von einer Person in Anspruch genommenen Fläche an ihr Realeinkommen beobachten. Die Eigentumsrate, d.h. der Anteil der Haushalte, die im Eigenheim oder in einer Eigentumswohnung wohnen, beträgt nur ca. 39 Prozent (N.N. 1996). Jeder 10te Arbeitsplatz hängt direkt oder indirekt an der Bauwirtschaft (Töpfer 1997).

Die Zielsetzungen der Enquête-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (1997) für das Element Sozialverträglichkeit sehen folgendermaßen aus:

- Sicherung bedarfsgerechten Wohnraums nach Alter und Haushaltsgröße; erträgliche Ausgaben für "Wohnen" auch für Gruppen geringen Einkommens im Sinne eines angemessenen Anteils des Haushaltseinkommens,
- Schaffung eines geeigneten Wohnumfelds, soziale Integration, Vermeidung von Ghettos,
- Vernetzung von Arbeiten, Wohnen und Freizeit in der Siedlungsstruktur,
- "Gesundes Wohnen" innerhalb wie außerhalb der Wohnung,

- Erhöhung der Wohneigentumsquote unter Entkoppelung von Eigentumsbildung und Flächenverbrauch,
- Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen im Baugewerbe.

Als weitere Zielsetzung wird auch die Schaffung von ästhetischer Architektur, z.B. durch eine gelungene Verbindung von Alt- und Neubauten, als erstrebenswert angesehen (SIA 1996).

2.2.2 Wie kann nachhaltiges Bauen in der Praxis umgesetzt werden?

Wie auch für andere Bereiche, so gibt es auch für den Baubereich keine Patentrezepte. Jedes Vorhaben muss in seinem Kontext überprüft und optimiert werden. Wesentliche Grundlage für die Umsetzung der oben formulierten Anforderungen an ein nachhaltiges Bauen ist aber eine nachhaltige und integrierte Planung auf allen Ebenen (Hassler, 1997, Töpfer, 1997, Beckmann, 1997). Die Integration der Verkehrsplanung in die Stadtentwicklung sollte beispielsweise zur *“Stadt der kurzen Wege”* führen. Allerdings nicht als alleinstehendes Einzelprojekt, sondern eingebettet in die Planung konkreter Bauvorhaben, die für sich genommen eher auf eine ökologische Materialauswahl und eine optimierte Gesamtenergiebilanz abzielt.

Bevor allerdings neu gebaut wird, muss überprüft werden, inwiefern bestehende Gebäude mit weniger Aufwand den Bedarf decken können (u.a. Loske und Bleischwitz, 1996, S. 234ff, SIA, 1996, Meyer, 1997). Dies führt auch zu einer besseren Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur. Dabei kann eine effiziente Nutzung von vorhandenem Wohnraum (INFRAS AG 1997) bzw., allgemeiner formuliert, eine effiziente Nutzung von vorhandenen Gebäuden (Hassler 1997) den Neu- und Umbaubebedarf und die damit verbundenen Material- und Energieaufwendungen, sowie Flächeninanspruchnahmen deutlich vermindern. Als ein mögliches Hilfsmittel empfehlen Loske und Bleischwitz (1996) die flexiblere Verteilung von Wohnraum durch Mitwohnzentralen.

Eine effiziente Nutzung schließt auch das bewusste Zusammenführen eines Gebäudes mit dem optimal passenden Nutzer ein (SIA 1996). Ein Nutzer passt dann optimal, wenn die Aufwendungen zur Anpassung eines Gebäudes an ihn möglichst gering sind. Gleichzeitig sollten die Einbußen in Bezug auf die Nachhaltigkeit möglichst gering sein. Zusätzlich dazu wird die Forderung nach einer Stabilisierung und langfristig gesehen auch einer Verminderung des Wohnflächenbedarfs pro Person formuliert (Grießhammer und Buchert, 1996, INFRAS AG, 1997). Damit soll einer Überkompensation entgegengewirkt werden, die positive Effekte von optimierenden Maßnahmen beispielsweise zur Energieeinsparung durch eine Vergrößerung der Wohnflächen wieder zunichte machen können.

Kann ein Bedarf nicht über bestehende Gebäude gedeckt werden, wird gefordert, verdichtet zu bauen (Töpfer, 1997, Loske und Bleischwitz, 1996, S. 234ff, Grießhammer und Buchert, 1996). Für Meyer (1997) steht dabei die Innenentwicklung der Städte, die sogenannte Nachverdichtung, an erster Stelle. Es muss im Einzelfall überprüft werden, inwiefern diese mit der häufig vorgebrachten Forderung nach einer Wohnumfeldverbesserung (Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt", 1997), Loske und Bleischwitz, 1996) und der räumlichen Vernetzung von Wohnen und Freizeit (INFRAS AG, 1997, Beckmann, 1997, N.N., 1999, SIA, 1996) kollidiert. Baumaßnahmen - ob nun Neubau oder Umbau etc. - sollten generell ressourcensparend und kreislauforientiert sein.

2.2.3 Kriterien für ein nachhaltiges Bauen

Müssen im konkreten Fall verschiedene Bauvorhaben oder Varianten eines Projekts hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit beurteilt oder verglichen werden, so wird dies wesentlich vereinfacht, wenn zusätzlich zu den relativ allgemein formulierten Zielsetzungen (vergleiche Kapitel 2.2.1), mehr oder weniger *harte* Kriterien zur Verfügung stehen. Im Folgenden werden zwei Verfahren vorgestellt, die jeweils ein Kriterienraster für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Bauvorhaben zur Verfügung stellen. Eines der Verfahren ist dabei als relativ einfaches und allgemeines Instrument für den Wohnungsbau gedacht (*Rating e-top*), während das zweite komplexer ist und für die Beurteilung eines konkreten Umnutzungsprojektes entwickelt wurde (*Fallstudie '95*).

2.2.3.1 *Rating e-top* - ein Planungsinstrument für nachhaltiges Bauen

Auf der Schweizer Baumesse Swissbau 99 wurde im Februar 1999 *Rating e-top* vorgestellt, ein Instrument, welches die Beurteilung von Wohnbauvorhaben hinsichtlich wichtiger Kriterien der Nachhaltigkeit erlauben soll (N.N. 1999). Es wurde im Schweizer Bundesamt für Energie in Zusammenarbeit mit Großinvestoren, Banken und Planern entwickelt. Wert gelegt wurde dabei insbesondere auf eine möglichst große Anwenderfreundlichkeit, welche zwangsläufig mit einer gewissen Simplifizierung des Verfahrens einhergeht. Das Instrument stützt sich auf fünf Kriteriengruppen. In Tabelle 2 sind diese

Tabelle 2: Bewertungssystem des Rating etop nach Energie 2000 (1998) und N.N. (1999)

Element	Kriteriengruppe	Beispiele für Einzelkriterien (maximal erreichbare Punktzahl)
Gesellschaft	1. Standortqualität	<ul style="list-style-type: none"> • Anbindung an den öffentlichen Verkehr (1) • verdichtete Bauweise (1) • Schulen Kultur, Erholung und Sport in max. 15 Minuten Fußgängerdistanz (1) • großzügige Wohnraumgestaltung, gute Wohnqualität (1)
Wirtschaft	2. Ökonomie	<ul style="list-style-type: none"> • Höhe der Bruttorendite (3) • Höhe der Unterhaltskosten (1) • Nachweis nachhaltig erzielbarer Mieterträge (1) • Wohnungsgröße dem Bedarf anpassbar (1)
Umwelt	3. Heizenergiebedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Höhe des Heizenergiebedarfs (6)
	4. Haustechnik und Wasseraufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • kondensierende Öl- oder Gasheizung (1) • Solare Warmwasseraufbereitung (1) • Wassersparende Armaturen (1)
	5. Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • Totaler nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt des Gebäudes pro m² EBZ (3) • Erfüllung weiterer ökologischer Anforderungen (3)

Kriteriengruppen und beispielhaft einige Einzelkriterien zusammengestellt, die in die Bewertung eingehen.

Jede der Kriteriengruppen besteht aus einer unterschiedlichen Anzahl von Einzelkriterien, die jeweils mit Punkten bewertet werden. Der Bewertungsmodus ist einfach. Es bestehen eindeutige Vorgaben, welche Eigenschaften ein Gebäude haben muss (z.B. die Höhe des Heizenergiebedarfs), damit es für ein Einzelkriterium eine bestimmte Anzahl Punkte erhält. Pro Kriteriengruppe sind dies maximal sechs Punkte. Je höher die Nachhaltigkeit einer Eigenschaft eingeschätzt wird, um so höher ist die Punktzahl. Alle fünf Kriteriengruppen sind gleichwertig und die jeweils erreichten Summen werden in einem Spinnendiagramm dargestellt, welches eine leichte optische Erfassung der Sachverhalte und der Unterschiede zwischen den Varianten ermöglicht.

Inwiefern wird mit diesem Instrument aber der Erfüllungsgrad der Zielsetzungen für nachhaltiges Bauen tatsächlich überprüfbar gemacht? Generell gilt, dass drei Kriteriengruppen das Element Umwelt bzw. Ökologieverträglichkeit repräsentieren, aber nur je eine die beiden anderen Elemente. Dem Benutzer dieses Instruments ist dies zwar transparent, da nicht mit der Gesamtpunktzahl gearbeitet wird, dennoch besteht die Gefahr, dass die Umwelt überbewertet wird. Bewertet wird dabei im Prinzip nur die Einsparung nicht erneuerbarer Energie. Alle drei umweltbezogenen Kriteriengruppen werden davon wesentlich bestimmt: zwei mit je sechs und eine Kriteriengruppe mit drei Punkten. Maximal kann damit die Hälfte der maximalen Gesamtpunktzahl durch eine energiebezogene

Optimierung erreicht werden. Für die Zielsetzungen *Ressourcenschonung* und *Verminderung des Schadstoffeintrags in Gebäude* verbleiben nur noch drei Punkte der Kriteriengruppe *Material* im Falle einer Erfüllung weiterer ökologischer Anforderungen. Wesentliche Zielsetzungen, wie Flächenbedarf und Zersiedelung von Landschaft, werden dagegen überhaupt nicht berücksichtigt. Die beiden anderen Elemente werden sehr viel differenzierter abgebildet, wenngleich auch hier nicht alle Zielsetzungen erfasst werden. In der Kriteriengruppe *Gesellschaft* beispielsweise wird zwar eine verdichtete Bauweise mit einem Punkt bewertet, ebenso aber auch eine großzügige Wohnraumgestaltung. Letzteres kann aber mit einem insgesamt größeren Flächenbedarf verbunden sein und sich so als kontraproduktiv erweisen.

Für eine befriedigende Analyse des Nachhaltigkeitsgrades eines Bauvorhabens erscheint dieser Ansatz noch nicht genügend ausgereift. Er ist zwar sehr zu begrüßen, bedarf aber noch einiger weiterer Entwicklungen.

2.2.3.1 Fallstudie '95- Beurteilung einer Umnutzung

Im Gegensatz zum *Rating e-top* handelt es sich beim zweiten Verfahren um ein deutlich komplexeres Verfahren. Im Rahmen der Fallstudie '95 der Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften (UNS) der ETH Zürich wurde ein Vergleich von verschiedenen Varianten für die Umnutzung eines Industrieareals unter Nachhaltigkeitskriterien durchgeführt (Scholz et al. 1996a). Ziel der Fallstudie war es weniger, ein optimales Bewertungsverfahren zu entwickeln, als einen Erkenntnisgewinnungsprozess mit den Studierenden durchzuführen, der durch die Integration von Wissen aus verschiedenen Disziplinen erfolgt. Dies erscheint insbesondere im Hinblick darauf angemessen, als gerade für die Entwicklung von Nachhaltigkeitsstrategien die Transdisziplinarität von großer Bedeutung ist.

Wichtiges Grundelement des Prozesses war die Partizipation der örtlichen Gemeinschaft und der betroffenen Akteure (vier Akteurstypen: "Bevölkerung", "Wirtschaft", "Öffentliche Hand", "Ökologen"). Die vergleichende Bewertung von vier Umnutzungsvarianten für das Industrieareal Sulzer-Escher Wyss in Zürich erfolgte dann mit diesen und durch diese Akteure/n anhand von sechs Kriterien, je zwei pro Nachhaltigkeitselement (Scholz et al. 1996a, Scholz et al. 1996b):

ÖKOLOGIEVERTRÄGLICHKEIT:

- (auswirkungsorientierte) Ökobilanz
- Biotopflächenindex

ÖKONOMIEVERTRÄGLICHKEIT:

- Rendite
- Leerstandsrisiko

SOZIALVERTRÄGLICHKEIT:

- Integration in vorhandene soziale Strukturen
- Nutzungsdurchmischung

Ohne auf den Prozess der Gewichtung der Kriterien und eigentlichen vergleichenden Bewertung innerhalb der Fallstudie weiter einzugehen, soll im Folgenden kurz analysiert werden, inwiefern der Nachhaltigkeitsgrad von Bauvorhaben durch die oben aufgeführten Kriterien tatsächlich überprüft werden kann. Als Richtschnur dienen dabei die Zielsetzungen aus Kapitel 2.2.1.

Alle drei Elemente werden durch je zwei Kriterien repräsentiert, sind also im Gegensatz zum *Rating e-top* gleich stark vertreten.

Sehr sinnvoll ist der Einbezug der Ökobilanz in das Verfahren, können doch mit dieser Methode (fast) alle lebenszyklusbezogenen Belastungen der verschiedenen Varianten erfasst und verglichen werden. Zusammen mit dem Biotopflächenindex, der die Auswirkungen auf die konkrete Fläche erfasst, kann die Ökobilanz die geforderten Zielsetzungen für das Element Ökologieverträglichkeit sehr umfassend berücksichtigen. Mängel sind allerdings hinsichtlich des Schadstoffeintrags in Gebäude zu erkennen, welche mit beiden Methoden nicht erfasst werden können.

Für die beiden anderen Elemente sind die Zielsetzungen nicht vollständig erfasst. Insbesondere nicht für das Element Ökonomieverträglichkeit, welches nur durch die Kriterien *Rendite* und *Leerstandsrisiko* nicht befriedigend repräsentiert ist. Weder werden damit Lebenszykluskosten einbezogen noch die Verbilligung von Umbau- und Erhaltungsinvestitionen gegen Neubaumaßnahmen. Die Nutzungsmischung und die soziale Integration sind dagegen besser als Indikatoren für die Zielsetzungen der Sozialverträglichkeit. Wenngleich auch sie ungenügend sind.

2.3 Ökobilanzen als Werkzeug auf dem Weg zu einer ökologieverträglichen Entwicklung des Baubereichs

Wie schon im vorigen Kapitel dargestellt wurde, müssen neben den allgemeinen Zielsetzungen einer nachhaltigen Entwicklung, die als wichtige und grundlegende Richtungsweiser dienen, ganz konkrete Verfahren entwickelt werden, die es möglich machen, Bauvorhaben hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu beurteilen und zu optimieren. Die drei Elemente der Nachhaltigkeit (Ökologie-, Ökonomie- und Sozialverträglichkeit, siehe Kapitel 2.1.2) lassen sich dabei - zumindest teilweise - relativ gut gegeneinander abgrenzen. Aus diesem Grund ist es möglich, die Entwicklung geeigneter Methoden und Optimierungsverfahren im ersten Schritt getrennt nach den einzelnen Elementen durchzuführen. Im nächsten Schritt

müssen sie zu einem sinnvollen Gesamtverfahren zusammengefügt werden, welches alle drei Elemente beinhaltet.

Im Folgenden soll deshalb entsprechend einem ersten Schritt auf das Element Ökologieverträglichkeit fokussiert werden. Da die Berücksichtigung der gesamten Vielfalt des Baubereichs nicht möglich ist, werden die weiteren Betrachtungen auf den Bereich *Gebäude* eingeschränkt.

Ausgelöst durch die Energiekrise in den 70er Jahren, steht das Thema Energie und Energieeffizienz von Gebäuden schon relativ lange im Zentrum des allgemeinen Interesses. Ursprünglich ein ressourcenbezogenes Thema, gewannen mit der Zeit in der Diskussion mehr und mehr die eng mit dem Energieverbrauch verknüpften Umweltprobleme, vor allem die treibhausrelevanten CO₂-Emissionen, an Bedeutung. Es entstanden in der Folge sowohl Pilotprojekte zur rationellen Energieverwendung und erneuerbaren Energieträgern wie beispielsweise in Gruber et al. (1989) und Hessisches Ministerium für Umwelt Energie und Bundesangelegenheiten (1994) dargestellt; als auch Handbücher zu diesem Thema (Bundesministerium für Raumordnung Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), 1983, Gruber und Meyer 1983, Blenkins et al. 1993).

Schon Anfang der Achtziger Jahre wurde aber auch der Energiebedarf für die Herstellung von Baustoffen, der sogenannten *Grauen Energie*, in die Betrachtungen einbezogen und Energiebedarfswerte einzelner Baustoffe veröffentlicht (Marmé und Seeberger 1982a, Marmé und Seeberger 1982b). Später wurden auch die energiebedingten Emissionen für die Herstellung von Baustoffen einbezogen (Feist 1986). Die *Graue Energie* gilt bis heute als wesentliches Kriterium bei der Baustoffauswahl (z.B. SIA 1995; vergleiche auch Kapitel 2.2.3.1 und 4.7.2). Zapke und Gerken (1993) erstellten beispielsweise einen Bauelementekatalog, dem sowohl der Primärenergieinhalt als auch die wesentlichen physikalischen Eigenschaften der einzelnen Elemente zu entnehmen sind. Es wurde allerdings auch deutlich, dass die Analyse des Energiebedarfs allein nicht ausreichen würde, um die Auswirkungen von Gebäuden auf die Umwelt zu erfassen. Albrecht (1990) konnte überdies zeigen, dass der Energiebedarf sämtlicher 1975 erstellten 400.000 Neubauwohnungen nur rund 2,5 Prozent des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschlands ausmachten. Dementsprechend ist durch eine energiebewusste Baustoffauswahl nur eine relativ geringe Energieeinsparung zu erzielen.

Es wurde deshalb versucht, in Veröffentlichungen zur umweltverträglichen Baustoffauswahl auch andere Aspekte einzubeziehen: Bauabfälle, prozessbedingte Emissionen aus der Herstellung, Flächenverbrauch, Ressourcenverbrauch, Innenraumluftqualität etc. Beispiele dafür sind: Albrecht (1990), Pappi und Stürmer (1992), Geißler et al. (1992), Tomm (1992). Eine andere Methode

beschränkt sich auf die durch Rohstoffentnahme, Herstellung etc. ausgelösten Masseströme als Bewertungsgrundlage von Baustoffen (Merten et al. (1995), vergleiche auch Kapitel 4.7.1).

Insgesamt wurde immer deutlicher, dass für eine umfassende Bewertung der Umweltauswirkungen von Gebäuden weder das Kriterium Energiebedarf allein, noch einzig baustoffbezogene Kriterien ausreichen. Es wurde vielmehr klar, dass der gesamte Lebensweg eines Gebäudes mit seinen vielfältigen Wirkungen und Wechselwirkungen analysiert werden muss, um Gebäude sinnvoll bewerten und optimieren zu können. Teiloptimierungen können im Gesamtkontext leicht zu falschen Schlüssen führen (Kohler und Klingele 1995).

Für eine umfassende Lebenszyklusbetrachtung kommen prinzipiell zwei Methoden in Betracht: die Produktlinienanalyse und die Ökobilanz¹. *Eine Produktlinienanalyse (PLA) analysiert die ökologischen, ökonomischen und sozialen Wirkungen eines Produktes und bewertet die längs des Lebensweges auftretenden Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden Umweltbelastungen, sowie die sozioökonomischen Wirkungen. Sie beziehen auch den Nutzen eines Produktes in Form einer Kosten-Nutzen-Abwägung in die Betrachtungen ein* (Grießhammer, 1993, S. 2). Im Gegensatz dazu berücksichtigt die Ökobilanz nur die Umweltauswirkungen eines Produktes über seinen Lebensweg. *Die Ökobilanz ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potentiellen Umweltwirkungen im Verlauf seines Lebenswegs* (ISO 14040). Die Methode der Ökobilanz ist wesentlich weiter entwickelt (vergleiche Kapitel 4) als diejenige der PLA. Sie beschränkt sich außerdem auf ökologische Aspekte, was nicht nur den Bearbeitungsaufwand begrenzt sondern auch im Sinne der oben formulierten Konzentration auf die ökologischen Aspekte ist. Im Zentrum der weiteren Betrachtungen steht deshalb die Frage: *Welche Hilfestellung bietet die Methode der Ökobilanz auf dem Weg zu einer ökologieverträglichen Entwicklung des Baubereichs?*

¹ Mit dem Begriff Ökobilanz ist hier eine Produktökobilanz gemeint (vergleiche Kapitel 4).

Tabelle 3: Die drei möglichen Ebenen der Anwendung von Ökobilanzen im Baubereich (Quack 1997).

Ebene 1: Baustoffe	Ebene 2: Bauelemente	Ebene 3: Gebäude
Funktionale Einheit:		
kg Baustoff	m ² Bauelement	m ² Wohnfläche oder andere Nutzeinheit
• In der Regel berücksichtigte Lebenswegphasen :		
<ul style="list-style-type: none"> • Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion • Materialverwertung und Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion • Instandhaltung des betrachteten Bauteils <ul style="list-style-type: none"> • Bauteil-Verwendung • Materialverwertung und Entsorgung 	<ul style="list-style-type: none"> • Neubau • Erneuerung • Nutzung • Entsorgung
Zielsetzung:		
Prozessoptimierung für Hersteller; Produktvergleich für Kunden; Datengrundlage für die Ebenen 2 und 3	Auswahlhilfe für Entscheidungsträger im Bauplanungsprozess z.B. in Form von Bauelemente-Katalogen; Datengrundlage für die nächsthöhere Ebene	Entscheidungshilfe für Planende mit dem Ziel einer Optimierung des Gesamtgebäudes
Beispiele durchgeführter Studien:		
Weibel und Stritz (1995), Fritsche et al. (1994), Sutter al. (1992)	Richter (1996), SIA (1995), Kohler et al. (1994), Geißler et al. (1992)	Polster 1995, Falk 1995, Kohler et al. (1994)

2.3.1 Anwendungen der Ökobilanz im Baubereich

Prinzipiell ist die Anwendung der Ökobilanz im Baubereich auf drei verschiedenen Ebenen sinnvoll: Der Baustoff-, der Bauelement- und der Gebäudeebene (siehe Tabelle 3). Diese drei Ebenen unterscheiden sich sowohl in dem, was jeweils verglichen wird, d.h. der funktionalen Einheit, und welche Lebensphasen einbezogen werden, als auch darin, welche Zielsetzungen mit einer solchen Bilanz verfolgt werden. Dienen die Ergebnisse auf Ebene 1 vor allem der Prozessoptimierung und dem Produktvergleich, sind Ebene 2 und 3 eher für Anwender geeignet, die an Planungsprozessen beteiligt sind. Der Aufwand zur Erstellung einer Ökobilanz nimmt von Ebene 1 zu Ebene 3 drastisch zu.

2.3.2 Abgrenzung von anderen Methoden

2.3.2.1 Die Stoffstromanalyse

Eine Stoffstromanalyse besteht nach Definition der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (1993, S. 66, vgl. auch Baccini und Bader (1996)) *aus der systematischen Bestandsaufnahme des Wegs eines chemischen*

Elements (z.B. Cadmium), einer Verbindung (z.B. Benzol) oder eines Materials (z.B. Holz) im Naturkreislauf und/oder durch den Wirtschaftskreislauf. Der Begriff Stoff ist damit sehr offen definiert. Eine Stoffstromanalyse wird auf einen bestimmten Bilanzraum bezogen und stellt die stofflich-energetischen Eingangsgrößen den Ausgangsgrößen in diesem Bilanzraum gegenüber. Akkumulationen und Umwandlungen werden dabei berücksichtigt. Der Bilanzraum kann z.B. einen Betrieb oder eine Region umfassen, er kann aber auch einen Stoff über verschiedene Betriebe, Regionen etc. hinweg beinhalten. Der Bilanzraum umfasst aber in einer Stoffstromanalyse in der Regel keinen Produktlebensweg.

Stoffstromanalysen können z.B. der Schwachstellenanalyse innerhalb eines Betriebs dienen. Besonders hilfreich sind sie jedoch für die Abschätzung der vom Menschen verursachten Stoffströme auf regionaler oder nationaler Ebene. Insbesondere der Vergleich anthropogener mit nicht anthropogenen Stoffströmen erlaubt dabei die Identifikation möglicher Risiken (vergleiche z.B. Baccini und Bader 1996, S. 23). Generell ist die Untersuchungstiefe um so geringer je größer der betrachtete Raum ist: Die Genauigkeit, mit der Stoffströme verfolgt werden können, nimmt entsprechend ab.

2.3.2.2 Die Umweltverträglichkeitsprüfung

Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist ein verwaltungsrechtliches Verfahren, welches auf einer EWG-Richtlinie (Der Rat der Europäischen Gemeinschaften 1985) basiert bzw. auf dem daraus abgeleiteten bundesdeutschen UVP-Gesetz von 1990. Es soll dazu dienen, die Umweltverträglichkeit von Vorhaben mit möglicherweise erheblichen Auswirkungen auf die Umwelt frühzeitig und umfassend zu prüfen. In der Folge soll das Ergebnis dieser Bewertung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens entsprechend der geltenden Rechtslage berücksichtigt werden. Ebenfalls sollen erforderliche Maßnahmen zur Umweltvorsorge getroffen werden. Die Ergebnisse der UVP dienen gleichwertig neben anderen Kriterien der Entscheidungsfindung für die Erteilung einer Genehmigung. Sie haben keine präjudikative Funktion. Es handelt sich bei der UVP um ein Vorsorgeinstrument, welches medienübergreifend der Gesamtbetrachtung möglichst aller Umweltauswirkungen eines Vorhabens dient. Es ermöglicht auch die Rangfolgenabschätzung, d.h. die Ermittlung der relativ gesehen umweltverträglichsten Variante (Hoppenstedt 1990).

Das eigentliche Verfahren zur Abschätzung der Umweltauswirkungen eines Vorhabens ist die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS). Sie hat folgenden Verfahrensablauf:

- Feststellung des Ist-Zustands
- Einschätzung der Vorbelastung und der Entwicklung aus früheren Zuständen

Bei der UVS handelt es sich um eine Analyse der lokalen Auswirkungen eines bestimmten Vorhabens auf Flora, Fauna, menschliche Gesundheit und Sachgüter. Wesentlicher Bestandteil einer UVS ist die Prognose der Entwicklung einer bestimmten Fläche mit bzw. ohne Eingriff. Die UVP ist im Gegensatz zu Ökobilanz und Stoffstromanalyse in Deutschland vom Gesetzgeber für bestimmte Vorhaben zwingend vorgeschrieben.

2.3.3 Die Ökobilanz als Werkzeug zur Optimierung von Gebäuden

2.3.3.1 Welchen Nutzen bringen Gebäudeökobilanzen?

Die Ergebnisse von Gebäudeökobilanzen können dazu beitragen,

- die Erkenntnisse über die typischen Umweltbelastungen von Gebäuden zu vertiefen,
- Schwachstellenanalysen bezogen auf Gebäude und ihren Lebensweg durchzuführen,
- und somit Optimierungsansätze aufzeigen und dadurch
- Entscheidungsträger bei Planungsprozessen zu unterstützen sowie
- gesellschaftliche Diskussionen anzuregen.

Sie stellen also ein mögliches Instrument für ein nachhaltiges Stoffstrommanagement dar, welches aufbauend auf Erkenntnissen über den Ist-Zustand, Handlungsoptionen für seine Verbesserung eröffnet. Besonders erwähnt werden soll ihre Rolle für gesellschaftliche Diskussionsprozesse.

Sie kann dies nur auf der Basis

- der aktuellen Ökobilanzmethodik,
- der aktuell verfügbaren Datengrundlage und
- der aktuellen Systembeschaffenheit oder zuverlässigen Prognosen darüber.

Diese Einschränkungen sollten bedacht werden bevor Konsequenzen aus den Ergebnissen einer Ökobilanz gezogen werden. Vor allem sollte dies bei absoluten Aussagen beachtet werden. Aus dem gleichen Grund ist das Erlassen von Produktverboten auf der Basis von Ökobilanzen problematisch.

2.3.3.2 Wer sind potentielle Anwender?

Allgemein sind Ökobilanzen für solche Anwender interessant, die Gebäude planen, wie z.B. Architekten. Sie haben zusammen mit ihren Auftraggebern, den Bauträgern, die weitaus größten Einflussmöglichkeiten im Planungs- und Entscheidungsprozess. Die Frage ist, inwieweit sich Gebäudeökobilanzen ohne allzu großen Mehraufwand in den üblichen Planungsablauf integrieren lassen. Ohne entsprechende EDV-Werkzeuge wird dies sicherlich nicht möglich sein.

Ein Interesse an den Ergebnissen von Gebäudeökobilanzen besteht aber auch außerhalb dieser Akteursgruppe. So ist Herstellern und Herstellerverbänden

daran gelegen, dass ihre Produkte auch bei einer Bilanz auf Gebäudeebene gut abschneiden (Beispiele dafür sind: Ankele und Steinfelt, 1996, Leimböck, 1997, Kacmarek und Utermöhlen, 1995).

Kauf- und Mietinteressenten, sowie Investoren könnten die Ergebnisse von Gebäudeökobilanzen für ihre Entscheidungsfindung nutzen. Voraussetzung dafür ist aber ein genügend großes Angebot an freien Wohnungen, d.h. das Vorhandensein eines Marktes. Ansonsten überwiegen andere Aspekte den Kauf- oder Mietentscheid.

Prinzipiell wären Gebäudeökobilanzen auch für Kommunen hilfreich. Wie später noch in Kapitel 7.1.3 näher ausgeführt wird, ist die Ökobilanz momentan nicht geeignet, Bewertungen von Flächen d.h. in diesem Fall von Baugrundstücken vorzunehmen. Somit kann sie keine Hilfestellung für die Entwicklung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen im Rahmen eines Bebauungsplanverfahrens bieten. Hingegen ist es wohl denkbar, dass Vorgaben für Baumaßnahmen auf der Basis von Ökobilanzdaten entwickelt werden. Beispielsweise könnte der Aufwand für die Erstellung eines Gebäudes auf einen bestimmten Bedarf an Primärenergie pro Quadratmeter Nutzfläche beschränkt werden. Allerdings ist der Spielraum relativ eng. Vorgaben müssen in ihrer Begründung einen eindeutigen städtebaulichen Bezug aufweisen bzw. örtlichen Notwendigkeiten entspringen. Nutzungseinschränkungen, die beispielsweise nur mit einem globalen Klimaschutz begründet werden, sind unzulässig (Bärsch 1996). Entsprechend wenig Aussicht auf Durchsetzbarkeit dürften denn auch allgemeine Vorgaben auf der Basis von Ökobilanzen haben. Im Rahmen eigener Baumaßnahmen kann eine Kommune allerdings eine Vorreiterrolle spielen.

2.3.3.3 Anwendungszeitpunkt einer Gebäudeökobilanz

Um einen möglichst großen Einfluss auf die mit einem Gebäude korrelierten Umweltauswirkungen zu haben, sollte eine Ökobilanz in eine möglichst frühe Planungsphase integriert werden. Dies bezieht sowohl die Planung von Neubauten als auch die Planung von Maßnahmen im Bestand ein. Der Planungsprozess lässt sich nach Kohler et al. (1994, S. 8.6) in drei Phasen einteilen. Mit jeder Phase steigt der Detaillierungsgrad der Planung an, gleichzeitig nehmen die Freiheitsgrade für Entscheidungen ab:

PHASE 1: GRUNDSATZENTSCHEIDUNGEN (Strategische Planung und Vorstudie):

- Welche Bedürfnisse bestehen?
- Wie ist die Zielsetzung des Projekts?
- Kann man die gewünschte Funktion auch mit bestehenden Gebäuden erfüllen, z.B. durch Anbau oder Umbau? Oder ist ein Neubau notwendig mit eventuellem vorgehenden Abriss?

- Welcher Standort wird angestrebt?
- Welcher Energiestandard soll erreicht werden?
- Wie groß sollen die Nutzflächen sein?

PHASE 2: PROJEKTIERUNG: Ausarbeitung des Konzeptes (Vorprojekt und Projekt).

- Welche Konstruktionen werden verwendet?
- Welche Elemente in welcher Menge?
- Wie soll die Haustechnik aussehen?
- Wie sehen die Grundrisse aus?
- Welcher Energiestandard wird konkret erreicht?

PHASE 3: AUSFÜHRUNGSPLANUNG (Ausschreibung und Bauablaufplanung):

- Welche Anforderungen an die Materialien und Lieferanten bestehen?
- Bestehen besondere Anforderungen an den Arbeitsschutz?
- Welche Maßnahmen müssen vor Ort ergriffen werden? Z.B Wie soll die Abfalltrennung auf der Baustelle organisiert werden?
- Müssen Schutzmaßnahmen für die bestehende Vegetation ergriffen werden?

Die Anwendung von Ökobilanzen ist prinzipiell in jeder Phase möglich, muss aber den jeweiligen Anforderungen angepasst werden. Beispielsweise sind in *Phase 1* viele Details noch nicht bekannt, es kann also höchstens eine orientierende Ökobilanz anhand von Durchschnittsdaten aus der Literatur durchgeführt werden. Gleichzeitig haben die Grundsatzentscheide aber einen großen Einfluss auf die Umweltauswirkungen eines Bauprojektes. Eine detaillierte Ökobilanz in *Phase 2* des Planungsprozesses kann nur noch innerhalb der Vorgaben des Grundsatzentscheides zur ökologischen Optimierung beitragen. Aus diesem Grund ist der Einsatz einer orientierenden Ökobilanz in der ersten Phase durchaus angeraten. Nicht zuletzt können auch die Erfahrungen vertiefter Untersuchungen einfließen. Alternativ ist sicherlich auch das Arbeiten mit Checklisten oder die Erarbeitung von Projektpflichtenheften möglich (Amt für Bundesbauten und Schweizerische Bankgesellschaft 1996, S. 8) eine Übersicht über ökologische Planungswerkzeuge findet sich in Koch et al. (1998).

In *Phase 2*, der Projektierung, sind die vorhandenen Informationen zum Bauprojekt schon detaillierter. Eine entsprechend genauere Ökobilanz ist damit möglich. Auf dieser Basis können jetzt die Umweltauswirkungen des Projektes und im Vergleich dazu auch diejenigen alternativer Konstruktionen und Elemente ermittelt werden. Dazu ist allerdings die parallele Erstellung von Planungsunterlagen für mehrere Varianten notwendig. Es sind relative Aussagen zu den Umweltauswirkungen der verschiedenen Varianten möglich und es können Optimierungspotenziale aufgezeigt werden. Diese bewegen sich in dem durch die Grundsatzentscheide vorgegebenen Rahmen.

In *Phase 3* geht es darum die Ausschreibungsunterlagen zu formulieren und den Bauablauf zu planen. Wesentliche Entscheidungen sind in den vorangegangenen Schritten schon gefallen, der Spielraum ist noch relativ klein und bewegt sich im wesentlichen auf Materialebene. Infolgedessen ist die Hinzuziehung von Baustoffökobilanzen zur Konkretisierung der Elementbeschaffenheit dienlich. Die Auswahl der Materialien erfolgt auch nach Gesichtspunkten des Arbeitsschutzes. Hilfreich ist hierfür das Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (1993). Ergänzend dazu kann man fordern, dass die Lieferanten über ein zertifiziertes Umweltmanagementsystem verfügen (EG-Öko-Audit oder ISO 14001ff).

Abschließend kann gesagt werden, dass die Projektierungsphase diejenige Phase ist, die für eine detaillierte Ökobilanz am geeignetsten ist.

2.3.4 Überblick über den Stand der Gebäudeökobilanzierung

Die Durchführung gesonderter Untersuchungen zur Bilanzierung und Optimierung einzelner Gebäude (z.B. Falk 1995 und Buchert 1996) - die klassische Anwendung der Ökobilanzierung also - hat in den letzten Jahren an Bedeutung verloren.

Im Mittelpunkt stand vielmehr die Entwicklung von Planungswerkzeugen zur routinemäßigen Einbindung von Ökobilanzen in die Gebäudeplanung. Aufbauend auf früheren Studien zu Stoff- und Energieflüssen von Gebäuden über ihren Lebensweg (u.a. Kohler et al. 1994), stellten Klingele und Kohler (1996) ein Planungswerkzeug vor, das die Ermittlung der Baukosten, des Energiebedarfs und einer Reihe von Umweltbelastungen in den frühen Phasen des Planungsprozesses von Gebäuden ermöglicht. Es wird dabei eine weitest gehende Übereinstimmung mit den zur Zeit üblichen Planungsabläufen angestrebt. Das Verfahren basiert auf den existierenden Leistungsbeschreibungen und Elementkosten sowie auf Simulationsresultaten und Forschungsergebnissen. Die Elementkostengliederung wird als durchlaufende Systematik über den Planungsprozess hinaus auf den gesamten Lebensweg von Gebäuden ausgeweitet. Diese Arbeiten trugen maßgeblich zur weiteren Entwicklung bei.

2.3.4.1 EDV-Werkzeuge zur Erstellung von Gebäudeökobilanzen

Es befinden sich momentan mehrere EDV-Werkzeuge in der Entwicklung, die die Einbindung einer Ökobilanz in den Planungsprozess ermöglichen sollen.

- **ECOPT** (Kohler et al. 1996): *ECOPT* wurde innerhalb des Verbundprojektes KOBEEK (Methode zur **k**ombinierten **B**erechnung von **E**nergiebedarf, Umweltbelastung und **B**aukosten in frühen Planungsstadien) entwickelt Kohler et al. 1996. Ziel des Projektes war die Entwicklung von Planungshilfsmitteln für Architekten und Ingenieure. *ECOPT* ist ein Instrument zum Vergleich von

Gebäudenutzungsvarianten in der Phase Grundlagenermittlung. Einbezogen werden der Energiestandard, die induzierte Mobilität, der Gebäudetyp und die Funktion (vergleiche Kapitel 5.2).

- **ECOPRO**: Auch *ECOPRO* wurde im Rahmen von KOBEEK entwickelt Kohler et al. 1996. Mit Hilfe dieses Programms können Gebäudevarianten auf der Basis ihrer Elementzusammensetzung und des Energieverbrauchs für Heizung und Warmwasser bilanziert werden. Es stehen eine ganze Reihe verschiedener Wirkungskriterien zur Verfügung (u.a. Treibhauspotenzial, Versauerung). Für eine genaue Beschreibung siehe Kapitel 5.2.
- **build-it**: (Kreißig, 1993, Kreißig, 1998): (Kreißig and al. 1998) Das Programm *build-it* wurde innerhalb des interindustriellen Verbundprojekts *ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden* unter der maßgeblichen Beteiligung des Instituts für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP) in Stuttgart entwickelt. Zielsetzung war die Schaffung einer konsistenten Datenbasis mit den Umweltauswirkungen aus der Baustoffherstellung, sowie die Entwicklung einer Methodik zur Bilanzierung von Gebäuden. Ähnlich wie in *ECOPRO* können mit *build-it* Gebäude modulartig zusammengesetzt und inklusive der Nutzungsphase bilanziert werden.
- **OGIP** (Friedli 1998): Das Programm *OGIP* - der Name steht für die **O**ptimierung der **G**esamtanforderungen (Kosten/Energie/Umwelt), ein Instrument für die **I**ntegrale **P**lanung - wird im Rahmen eines Forschungsverbundes in der Schweiz unter der Abstimmung der Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen entwickelt. Es steht momentan noch vor der Markteinführung. Mit Hilfe von *OGIP* können Lebenszyklusanalysen von Gebäuden auf der Basis der Elementmethode durchgeführt werden. Folgende Daten sind abrufbar: Primärenergie, Umweltbelastungspunkte (vergleiche Kapitel 4.6.2) und Kosten. Die Entsorgungsphase wird nicht berücksichtigt. Als Datengrundlage stehen unter anderem die Ökoinventare für Baustoffe der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt (EMPA) zur Verfügung.
- Die **BauBioDataBank** (Büeler 1998): Die von der Genossenschaft Information Baubiologie in Flawil (Schweiz) erarbeitete *BauBioDataBank* ist als Nachschlagewerk und Werkzeug für Architekten, Handwerker, Bauherrschaften etc. konzipiert. Der Fokus liegt dabei auf bauökologischen und baubiologischen Daten bis hin zur chemischen Zusammensetzung von Bauprodukten. Mit Hilfe des Programms lassen sich ökologisch relevante Belastungen über die Lebensdauer von Gebäuden bestimmen. Die Berechnung der Umweltbelastungen basiert dabei auf den Bauelementen, aus denen sich das jeweilige Gebäude zusammensetzt. Im einzelnen kann der Primärenergiebedarf, getrennt nach erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie,

das Treibhauspotenzial sowie die Versauerung ermittelt werden. Als Datenbasis dienen verschiedene Literaturquellen u.a. (SIA 1995). Daneben sind auch qualitative Angaben zur Recyclingfähigkeit, Entsorgung etc. verfügbar.

Für die Erneuerungsphase ist außerdem ein Instrument in Entwicklung, welches neben Kostenaspekten auch die Berücksichtigung von Energieaspekten und der Innenraumluftqualität erlaubt. Bei diesem Instrument, *EPIQR*, der Name steht für **E**nergy **P**erformance, **I**ndoor environment **Q**uality, **R**etrofit, handelt es sich nicht um eine klassische Ökobilanz (Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment 1998). Es wird dennoch erwähnt, weil die Beurteilung von Maßnahmen im Gebäudebestand, wie es eine Erneuerung darstellt, in Zukunft zentral für die Optimierung des gesamten Bereichs Wohnen sein wird.

2.3.4.2 Beispielhafte Ergebnisse von Gebäudeökobilanzen

Aufgrund der Komplexität von Gebäudeökobilanzen und fehlender Sachbilanzen auf der Ebene der Bauelemente (z.B. Bereich Haustechnik) ist die Anzahl entsprechender Studien noch relativ gering. Die Anwendung vollständiger Ökobilanzen ist zum momentanen Zeitpunkt auf die Forschung beschränkt (Kohler 1997). In begrenztem Umfang stehen in der Literatur allerdings Daten zu bilanzierten Gebäuden zur Verfügung (siehe Tabelle 4). In den meisten Untersuchungen werden Daten zum Energiebedarf ermittelt. Teilweise stehen darüber hinaus auch Daten zum Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial zur Verfügung. Weiterführende Angaben, z.B. zum Ozonabbaupotenzial, finden

Tabelle 4: Überblick über Ergebnisse aus der Literatur zu bilanzierten Gebäuden.

Bilanzierter Gebäudetyp	Berücksichtigte Phasen	PEB GJ/m ² a	GWP kg CO ₂ Äq./m ² a	Vers. kg SO ₂ Äq./m ² a	Quelle
Bürogebäude					
Stahlkonstruktion, Lebensdauer 60 Jahre	Neubau, Erneuerung, Nutzung	1,55	105,80	-	Eaton (1998)
Betonskelettbau mit Leichtbauelementen, Lebensdauer 80 Jahre	Neubau, Nutzung (nur Heizung)	0,27	-	-	Hässig et al. (1995)
Wohngebäude					
Einfamilienhaus, Holzrahmenbau, 104 m ² Wohnfläche, Lebensdauer 80 Jahre	alle Phasen	1,31	29,84	0,23	Peuportier (1998)
Einfamilienhaus, Porenbeton, Wohnfläche 108 m ² , Lebensdauer 80 Jahre	alle Phasen	0,29	-	-	berechnet nach Wagner (1996)
Einfamilienhaus, Ziegel, Wohnfläche 264 m ² , Energiestandard entsprechend WärmeschutzVO 95, Lebensdauer 80 Jahre	Neubau, Erneuerung, Nutzung	0,67	48,64	0,07 ¹	Falk (1995)
Einfamilienhaus, Ziegel, Wohnfläche 264 m ² , Niedrigenergiestandard, Lebensdauer 80 Jahre	Neubau, Erneuerung, Nutzung	0,55	28,08	0,02 ¹	Falk (1995)
Gebäude mit 12 Wohnungen, Ziegel, Wohnfläche 969 m ² , Lebensdauer 100 Jahre	alle Phasen	1,43	78,32	1,19	Kohler et al. (1997)
Gebäudebestand					
Durchschnitt	alle Phasen	1,4	67,45	0,37	Kohler et al. (1994)

¹ Es wurde nur SO₂ berücksichtigt

sich hingegen nur selten, beispielsweise in Kohler et al. (1994) und Kohler (1997). Vergleicht man die Ergebnisse der verschiedenen Studien miteinander, so kann man erkennen, dass sich der Energiebedarf zwischen 0,27 und 1,55 GJ/m²a bewegt, das Treibhauspotenzial zwischen 28,08 und 105,80 kg CO₂ Äq./m²a. das entspricht einem maximalen Faktor von 5 bzw. 3,5. Es handelt sich allerdings um sehr unterschiedliche Gebäude, so dass hier nur das Spektrum möglicher Ergebnisse gezeigt wird. Das relativ weite Spektrum lässt allerdings ein entsprechendes Optimierungspotenzial zumindest erhoffen.

3. Aufgabenstellung

3.1 Ausgangspunkt und Rahmenbedingungen der Arbeit

Das 1988 gegründete *Umwelt-Forum* der RWTH Aachen bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern verschiedener Fachbereiche die Möglichkeit, sich mit Umweltthemen auseinanderzusetzen und betreibt zusammen mit anderen Forschungseinrichtungen und der Industrie interdisziplinäre Forschung. Zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses richtete das Umwelt-Forum das Graduiertenkolleg "*Interdisziplinäre Strategien zum Schutz der Umwelt*" ein.

Die hier vorliegende Arbeit wurde im Rahmen dieses Graduiertenkollegs erstellt. Im Vorfeld erfolgte eine Präzisierung des Kollegthemas auf den Bereich "*Schaffung von Stoffkreisläufen kurz- und langlebiger Wirtschaftsgüter an den Beispielen Automobil und Gebäude*".

3.2 Fragestellung der Arbeit

Wie in Kapitel 2.3.2.1 dargestellt ist, wird ein beträchtlicher Teil der gesamten Umweltbelastung in Deutschland durch den Baubereich verursacht. Der Teilbereich Wohngebäude hat daran wesentlichen Anteil.

Im Zentrum der hier vorliegenden Arbeit steht deshalb die Analyse der Umweltbelastungen von Wohngebäuden. Die Analyse erfolgt mit Hilfe der Methode der Ökobilanz und einem Fallbeispiel. Konkret wird eine vergleichende Ökobilanz verschiedener Wohngebäude gleichen Gebäudetyps² erstellt.

Ergänzt wird dieser Ansatz durch grundsätzliche Vorüberlegungen zur Durchführung von Gebäudeökobilanzen. Damit sollen folgende Fragen geklärt werden:

- Welche besonderen methodischen Herausforderungen bezogen auf die Anwendung der Ökobilanz sind durch das Untersuchungsobjekt Gebäude gegeben? Die Schlussfolgerungen werden dabei in den weiteren Verlauf der Arbeit in Form von Sensitivitätsanalysen einbezogen.
- Welche Möglichkeiten bietet eine produktspezifische Bewertung von Gebäudeökobilanzen? Insbesondere soll überprüft werden, ob sich bereits bestehende, auf Bauprodukte zugeschnittene Bewertungsverfahren auf Gebäude übertragen lassen.

² Der Begriff „gleicher Gebäudetyp“ bezieht sich auf Gebäude, die unter die gleiche funktionale Einheit zu fassen sind, d.h. direkt vergleichbar sind.

Die vergleichende Ökobilanz der Gebäude selbst soll zur Beantwortung folgender Fragen beitragen:

- Wo liegen die Schwerpunkte der Umweltbelastungen der untersuchten Gebäude bezogen auf
 - die Lebenswegphasen und
 - die Bauelemente, aus denen die Gebäude zusammengesetzt sind?
Welche Schlussfolgerungen ergeben sich daraus?
- Worin liegen die wichtigsten Unterschiede der untersuchten Gebäude, bezogen auf
 - die Lebenswegphasen und
 - die Bauelemente, aus denen die Gebäude zusammengesetzt sind?
Welche Schlussfolgerungen ergeben sich daraus?
- Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus den noch näher zu definierenden Sensitivitätsanalysen (siehe erster Teil der Fragestellung) in Bezug auf kritische Parameter der angenommenen Rahmenbedingungen ziehen?

3.3 Auswahl der Untersuchungsobjekte und Vorgehen

Um obige Fragen beantworten zu können, sind mehrere Gebäude bilanziert worden, die hinsichtlich Grundriss, Größe, Wohnqualität und Lage sehr ähnlich und somit direkt vergleichbar sind. Die Gebäude unterscheiden sich im Wesentlichen nur bezüglich Material, Konstruktion und Energiestandard.

Neben diesen Anforderungen wurde angenommen, dass die Gebäude typisch für Deutschland sind, d.h. hinsichtlich Haustyp, Hausform und -größe, sowie Konstruktion, eingesetzter Materialien, Haustechnik etc. dem in Deutschland üblichen entsprechen. Damit sollte eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere in Deutschland erstellte Gebäude gewährleistet bleiben.

Aus obigen Erwägungen wurden die Gebäude des „*Demonstrationsprojekts Niedrigenergiehäuser Heidenheim*“ als Untersuchungsobjekte ausgewählt. Von der Konzeption des Projektes her handelt es sich praktisch um ein Experiment, da die Gebäude gezielt für Untersuchungs- und Vergleichszwecke erstellt wurden. In der ursprünglichen Konzeption sollte das Projekt zeigen, dass es mit *heutigem Know-how* und *dem Stand marktgängiger Techniken* möglich ist, Wohngebäude zu erstellen, die einen sehr niedrigen Energiestandard aufweisen. Dazu wurden unter wissenschaftlicher Begleitung des Fraunhofer Institut für Bauphysik in Stuttgart von der Gemeinnützigen Baugesellschaft Heidenheim fünf Niedrigenergiehäuser - Doppelhäuser mit Einliegerwohnung - gebaut. Ein weiteres konventionell erstelltes Doppelhaus diente bezüglich Heizenergieverbrauch als Referenzobjekt. Bei den Niedrigenergiehäusern handelt es sich um zwei einschalige Porenbetonhäuser, ein außengedämmtes Kalksandsteinhaus, ein kern-

gedämmtes Leichtbetonhaus und einen Holzständerbau. Das Referenzgebäude wurde aus Leichtziegel erstellt.

Die Grundrisse, sowie die durch die Gebäude bereitgestellten Nutzflächen sind sehr ähnlich, so dass ein direkter Vergleich der Varianten möglich ist.

Vorteilhaft ist zudem, dass die sechs Wohnhäuser in Heidenheim „An der Fuchssteige“ nebeneinander in einen Südhang gebaut wurden, so dass sowohl die klimatischen Bedingungen, als auch die lokalen Effekte (z.B. Einfluss der Bauprozesse auf die Vegetation des Grundstücks) für alle Varianten gleich sind.

Im Rahmen des „*Demonstrationsprojekts Niedrigenergiehäuser Heidenheim*“ wurden aufwendige Messungen zum Energieverbrauch (z.B. Heizenergieverbrauch) durchgeführt. Damit liegen nicht nur Daten zum theoretischen Heizwärmebedarf vor, sondern auch Messdaten verschiedener Heizperioden und eine Dokumentation des Nutzerverhaltens.

Aus den angeführten Gründen eignen sich die Gebäude dieses Projekts sehr gut als Basis für die im Rahmen dieser Arbeit erstellte vergleichende Ökobilanz.

Als methodischer Ansatz wurde die Produktökobilanz gewählt.

Durch eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe (ifib) unter Leitung von Prof. N. Kohler konnten für die Durchführung der Gebäudeökobilanzen zwei dort entwickelte EVD-Programme, *ECOPRO* und *Elementmaker*, verwendet werden.

Die in diesen Programmen angewendete Methode entspricht weitgehend der international aktuell diskutierten Methode für Produktökobilanzen. Eine Einschränkung besteht insofern, als die Sachbilanz dem Anwender nicht zur Verfügung steht. Die Wirkungsbilanz lässt sich hingegen berechnen. Das Programm stellt außerdem eine Vollaggregation der Wirkungsbilanzdaten auf der Basis des Öko-Indikators zur Verfügung.

Innerhalb der Arbeit wurde zudem eine Gewichtung der verschiedenen Wirkungskriterien nach modifizierten Faktoren durchgeführt.

Aufgrund der Vorabklärungen (siehe oben) wurden u.a. folgende Sensitivitätsanalysen durchgeführt:

- Einfluss der Elementlebensdauern auf die Wirkungsbilanz.
- Variation des Betrachtungszeitraums.
- Einfluss des Nutzerverhaltens auf das Gesamtergebnis.

4 Einführung in die Methode der Ökobilanz

Der Begriff Bilanz leitet sich vom lateinischen "bis lanx" ab, was soviel wie zweimal Waagschale bedeutet. Auf den beiden Waagschalen werden zwei verschiedene Dinge aufgelegt und gegeneinander abgewogen. Heute steht Bilanz für die gegliederte summarische Gegenüberstellung bestimmter Wertkategorien. Die Bilanz wird überwiegend im kaufmännischen Bereich angewendet, jedoch auch in technischen Bereichen z.B. für Energiebilanzen. Der Begriff Ökobilanz bezeichnet die Bewertung der Stoff- und Energieflüsse (Input und Output) eines Systems hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Umwelt. Ein solches System kann ein Unternehmen (Betriebsökobilanz), ein Produkt, (Produktökobilanz) oder ein einzelner Prozess sein (Prozessökobilanz).

Innerhalb dieser Arbeit wurden verschiedene Gebäude - d.h. Produkte - untersucht (siehe Kapitel 5 und 6). Aus diesem Grund bezieht sich die nachfolgende Beschreibung der Methode allein auf die Produktökobilanz. Vereinfachend wird der Begriff Ökobilanz verwendet.

Die Ökobilanz bezeichnet die Bewertung der Umweltauswirkung von Produkten³ über ihren gesamten Lebensweg sozusagen "von der Wiege bis zur Bahre". Dabei werden möglichst alle vom Produkt verursachten Stoff- und Energieflüsse analysiert und quantifiziert.

In einer Ökobilanz werden üblicherweise typische Lebenswege von Produkten betrachtet; das Einzelschicksal eines ganz konkreten Produktes bleibt im allgemeinen unberücksichtigt. Es gibt aber auch Aspekte im Lebensweg von Gebäuden, die eine Einzelfallbetrachtung angeraten erscheinen lassen, wie standortspezifische Auswirkungen oder lokale Klimabedingungen (siehe Kapitel 4.5).

4.1 Definition der Schutzgüter

In der Fachwelt ist man sich darüber einig, dass der in der Ökobilanz verwendete Umweltbegriff die Schutzgüter

- Menschliche Gesundheit
- Ökosystemgesundheit⁴, und
- Ressourcen

umfasst (SETAC, 1993, S. 24; Lindfors et al. 1995, S. 74; ISO 14040, Goedkoop 1995, S. 21ff nimmt die Ressourcenverfügbarkeit als Schutzgut heraus, in der Weiterentwicklung der Methode Goedkoop (1998) ist sie jedoch enthalten).

³ Bei dem Begriff Produkt sind Dienstleistungen eingeschlossen

⁴ Die in den angeführten Veröffentlichungen verwendeten Umschreibungen "ecological health" "ecological impacts" und "damage to ecosystems" sind hier unter dem Begriff Ökosystemgesundheit zusammengefasst.

Die ermittelten Auswirkungen eines Produktes werden entsprechend ihrer potentiellen Wirkung auf eines oder mehrerer dieser Schutzgüter bewertet. Alternativ wird die Bewertung entsprechend der potentiellen Schädigung der Schutzgüter vorgenommen (siehe Kapitel 4.2.6.5).

Die Ressourcenverfügbarkeit nimmt insofern eine Sonderstellung ein, als die Verknappung von Ressourcen keine ökologischen oder gesundheitlichen Schäden bedeutet. Allerdings ist anzunehmen, dass infolge der Verknappung von Ressourcen immer schlechtere Lagerstätten mit immer größerem Aufwand ausgebeutet werden müssen. Verschiedene Modelle (u.a. Müller-Wenk, 1998; Steen und Ryding, 1992) versuchen diesen Effekt in die Ökobilanz einzubeziehen. Ist eine Ressource dagegen aufgebraucht, entstehen daraus auch keine Umweltauswirkungen mehr - dies wirkt also reduzierend. Weitaus größere Folgen sind für Wirtschaft und Gesellschaft zu erwarten. Diese Bereiche werden in einer Ökobilanz aber definitionsgemäß nicht berücksichtigt. Ebenso wenig werden Substitutionsvorgänge einbezogen.

4.2 Stand der Normierung

Um die Vergleichbarkeit der durchgeführten Ökobilanzstudien zu gewährleisten, ist eine Vereinheitlichung der Bilanzmethodik notwendig. Seit 1993 laufen deshalb Normierungsarbeiten auf nationaler (DIN) und internationaler (ISO) Ebene. Innerhalb der Normierungsausschüsse von DIN und ISO besteht Konsens, dass eine Ökobilanz (im englischen Sprachgebrauch ist der Begriff Life Cycle Assessment oder LCA üblich) aus den folgenden Teilschritten bestehen sollte (Abbildung 2):

1. ZIELDEFINITION: Definition des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. SACHBILANZ: Zusammenstellung umweltrelevanter Inputs und Outputs
3. WIRKUNGSABSCHÄTZUNG: Abschätzung der potentiellen Umweltauswirkungen und Gewichtung der verschiedenen Wirkungskriterien gegeneinander (nur in besonderen Fällen).
4. AUSWERTUNG: Zusammenfassung der Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend der Zieldefinition.

Der ISO-Entwurf für Ökobilanzen sieht folgende Normen vor:

- ISO 14040 Principles and Framework (Prinzipien und allgemeine Anforderungen)
- ISO 14041 Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory (Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz)
- ISO 14042 Impact Assessment (Wirkungsabschätzung)
- ISO 14043 Interpretation (Auswertung)
- ISO TR 14049 Technical Report (Fachbericht)

Bisher haben nur die ISO 14040 und 14041 den Status der Norm erlangt. Sie liegen seit 1997 bzw. 1998 auch als deutsche Norm DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14041 vor. ISO 14042 und ISO 14043 liegen als Comity Draft (CD) vor. Die Annahme als Norm wird für 1999 erwartet.

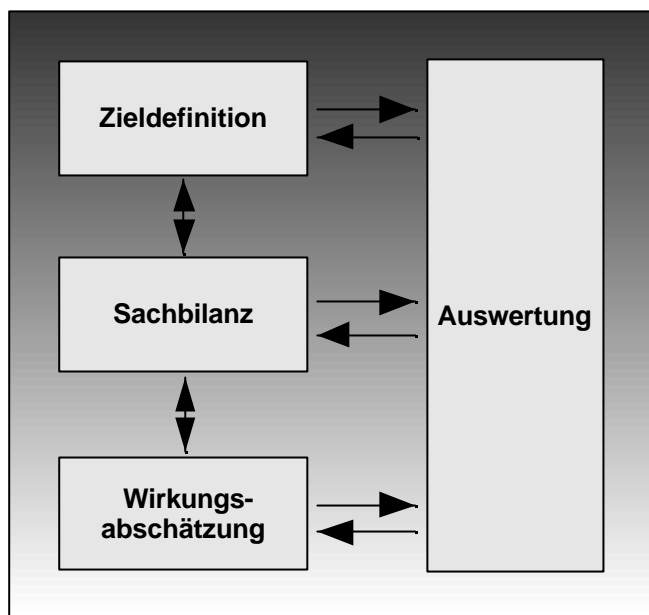


Abbildung 2 Das Instrument der Ökobilanz gliedert sich nach ISO in die Teilschritte Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung, Auswertung. Die Doppelpfeile versinnbildlichen den iterativen Prozess bei der Erstellung einer Ökobilanz.

Wie eben dargestellt wurde, ist die Normierung der Ökobilanz erst z.T. abgeschlossen. Da Ökobilanzen jedoch schon vor Beginn der Normierungsbestrebungen durchgeführt wurden (siehe Kapitel 2.4.1.2), und parallel zur Normierungsarbeit auch weiterhin erstellt werden, können entsprechend Abweichungen zur ISO bestehen.

Die Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) hat mit ihren Arbeitsgruppen, der Veranstaltung von Kongressen (z.B. Udo de Haes et al. 1994) und vor allem mit der Veröffentlichung des Code of Practice (SETAC 1993) die nationale und internationale Diskussion wesentlich beeinflusst. Sie schlägt im Code of Practice für die Durchführung von Ökobilanzen ein Verfahren vor, welches ebenfalls aus vier Teilschritten besteht. Unterschiede zu dem heute von der ISO vertretenen Vorgehen bestehen in den Schritten drei und vier. So enthält der Schritt drei (Impact Assessment) schon die Bewertung. Schritt vier (Improvement Assessment) beinhaltet dagegen die Verbesserungsmöglichkeiten eines Produktsystems. Durch diese Abkoppelung soll betont werden, dass für jedes System Verbesserungsmöglichkeiten bestehen.

4.3 Zieldefinition

Entsprechend der Norm DIN EN ISO 14040 sollte diese Phase der Ökobilanz die Definition der nachfolgend dargestellten Ziele enthalten.

- den Grund für die Studie,
- die beabsichtigte(n) Anwendung(en),
- die beabsichtigt(e) Zielgruppe(n),

Die Definition des Untersuchungsrahmens einer Ökobilanz, der die im vorigen Schritt definierten Zielsetzungen implizieren soll, sollte folgende Aspekte umfassen und eindeutig beschreiben:

- die Funktion(en) des Systems,
- die funktionale Einheit,
- das/die zu betrachtenden System(e),
- die Systemgrenzen,
- die Allokationsverfahren,
- die Methodik der Wirkungsabschätzung,
- Anforderungen an Daten,
- Annahmen,
- Einschränkungen,
- die Anforderungen an die Datenqualität,
- die Art der kritischen Prüfung, sofern vorgesehen,
- die Art und der Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts.

Da eine Ökobilanz ein iterativer Prozess ist, kann es notwendig sein, den Untersuchungsrahmen der Studie im Laufe ihrer Durchführung anzupassen.

4.3.1 Festlegung von Funktion und funktionaler Einheit

Eines der wichtigsten Elemente einer Ökobilanz ist die klare und genaue Darstellung der von einem Produkt oder einer Dienstleistung erfüllten Funktion. Ausgehend davon ist die funktionale Einheit das Maß für die erbrachte Leistung eines Produktes oder einer Dienstleistung. Sie soll klar definiert und messbar sein. Die Details der Definition sollten konsistent mit den Zielen und dem Anwendungsbereich sein. Die Input- und Outputdaten beziehen sich auf die funktionale Einheit.

In vergleichenden Studien sollten Produkte oder Dienstleistungen auf der Basis einer äquivalenten, möglichst sogar identischen Funktion betrachtet werden. Es sollte dargestellt werden, falls die Wahl der funktionalen Einheit zum Ausschluss bestimmter Varianten geführt hat, die ansonsten als relevant angesehen worden wären.

4.3.2 Beschreibung des Systems und der Systemgrenzen

Ein System besteht aus materiell oder energetisch verknüpften Operationen, die eine oder mehrere definierte Funktionen (s.o.) erfüllen. Es setzt sich aus den aufeinanderfolgenden und miteinander verbundenen Lebenswegphasen und allen direkt damit verbundenen Input- und Outputflüssen zusammen. Letztere definieren gemeinsam das System, welches durch die Systemgrenzen getrennt

ist von der (externen) Umwelt. Die Umwelt dient als Quelle für alle Material-Inputs in das System und als Sammelstelle für alle Outputs, die aus dem System abgegeben werden.

Idealerweise sollten alle Material- und Energie-Inputs bis dahin zurückverfolgt werden, wo sie dem System Umwelt entnommen werden, genauso wie alle Outputflüsse entsprechend dem Ziel und dem Anwendungsbereich bis zum System Umwelt verfolgt werden sollten. In der Realität werden Abschneidekriterien definiert, um die Systemgrenzen zu setzen. Diese Abschneidekriterien dienen dazu, das Datenmaterial auf diejenigen Input/Output-Daten zu beschränken, die als tatsächlich signifikant für das Ergebnis betrachtet werden. Es können allerdings auch rein pragmatische Gründe wie Zeit- und Kostenbeschränkung oder Datenlücken sein, die den Ausschluss bestimmter Module begründen.

Die Abschneidekriterien müssen klar dargestellt und begründet werden und im Einklang mit dem Ziel der Studie stehen.

4.3.3 Datengrundlage: Kategorien und Anforderungen an die Datenqualität

Die Daten sind so zu wählen, dass sie dem Ziel und Untersuchungsrahmen einer Ökobilanzstudie genügen. Neben sachlichen können auch pragmatische Gründe wie Kosten- und Zeitbeschränkungen die Auswahl beeinflussen. Es können prinzipiell:

- gemessene Daten,
- geschätzte Daten und
- berechnete Daten

verwendet werden.

Sie sollen die relevanten Input- und Outputflüsse des untersuchten Systems wiedergeben.

Nach der ISO/FDIS 14041 ist die Beschreibung der Datenqualität für das Verständnis der Zuverlässigkeit der Ergebnisse der Studie und die richtige Auswertung der Ergebnisse der Studie notwendig. Anforderungen an die Datenqualität müssen festgelegt werden, damit das Ziel und der Untersuchungsrahmen der Studie erfüllt werden können. Die Datenqualität sollte durch bestimmte Kennwerte festgelegt werden, die sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte sowie Verfahren zur Sammlung und Verwendung dieser Daten beschreiben. Wichtig sind dabei insbesondere:

- der zeitbezogene Erfassungsbereich: z.B. Alter der Daten;
- der geographische Erfassungsbereich: z.B. lokaler, regionaler, globaler Bereich;

- der technologische Erfassungsbereich: technologischer Level (z.B. beste verfügbare Technologie oder gewichteter Mittelwert der tatsächlich betriebenen Prozesse).

Daneben sind aber auch Angaben zu

- Schwankungsbereichen der Daten,
- Vollständigkeit,
- Repräsentativität,
- Konsistenz und
- Nachvollziehbarkeit

wesentlich für die Interpretierbarkeit der Ergebnisse einer Ökobilanz.

4.3.4 Kritische Prüfung (critical review):

Die Hauptaufgabe einer kritischen Prüfung ist es festzustellen, ob eine Ökobilanzstudie konform mit der DIN EN ISO 14040 geht. Außerdem wird überprüft, ob die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanz-Technik entsprechen. Es wird zusätzlich beurteilt, ob die verwendeten Daten der Zielsetzung der Studie angemessen sind und ob die formulierten Einschränkungen genügend berücksichtigt wurden. Insgesamt soll der Bericht einer Ökobilanzstudie stimmig und transparent sein.

Die Durchführung einer kritischen Prüfung ist im allgemeinen optional. Allerdings muss laut DIN EN ISO 14040 bei zu veröffentlichenden vergleichenden Aussagen eine kritische Prüfung vorgenommen werden. Falls eine kritische Prüfung durchgeführt werden soll, muss das Verfahren dazu schon in der Vorbereitungsphase der Zieldefinition festgelegt werden. Es werden drei Verfahren vorgeschlagen:

- Die interne kritische Prüfung durch einen Sachverständigen,
- die externe kritische Prüfung durch einen Sachverständigen und
- die kritische Prüfung durch interessierte Kreise.

Ein entsprechendes Gutachten sowie für die Verfahren zwei und drei die Reaktionen auf Empfehlungen der Gutachter müssen in den Bericht der Ökobilanz-Studie aufgenommen werden.

4.4 Die Sachbilanz

Die Sachbilanz umfasst das Verfahren zur Datensammlung und die Berechnungsverfahren zur Quantifizierung relevanter Input- und Outputflüsse eines Produktsystems. Aus diesen Daten können in Abhängigkeit vom Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz Auswertungen vorgenommen werden. Sie bilden

auch die Grundlage für die Wirkungsabschätzung. (DIN EN ISO 14040, ISO/FDIS 14041).

Der Prozess zur Erstellung einer Sachbilanz ist iterativ (siehe Abbildung 2). Im Laufe der Datensammlung können neue Anforderungen oder Einschränkungen erkannt werden, die eine Änderung des Verfahrens zur Datenerhebung erfordern, damit die Ziele der Studie noch erfüllt werden können. Manchmal können Sachverhalte festgestellt werden, die eine Änderung der Zieldefinition der Studie erfordern.

Die qualitativen und quantitativen Daten müssen für jedes Modul, welches innerhalb der Systemgrenzen liegt, gesammelt werden. Zur Aufbereitung der Daten und zur Berechnung der Komponenten des Systems sind transparent dargestellte Rechenverfahren nötig.

Explizit gefordert wird die Verwendung von Allokationsverfahren, wenn es sich um ein System handelt, welches Eingänge aus anderen Produktionssystemen oder Ausgänge in andere Produktionssysteme hat (z.B. Erdölraffination, Recycling). In eindeutig beschriebenen wissenschaftlichen Verfahren soll darin die Zuordnung der Stoff- und Energieflüsse zu den verschiedenen Komponenten des Systems erfolgen. Zuallererst sollte allerdings versucht werden, die Allokation durch Erweitern oder Aufteilen des Systems zu vermeiden. Im einzelnen sind in der ISO/FDIS 14041 fünf Schritte vorgesehen (Buxmann et al. 1998):

- Identifizierung der Module, bei denen eine Allokation eventuell notwendig ist.
- Versuch die Allokation durch Systemaufteilung oder Systemerweiterung zu vermeiden.
- Wenn die Allokation nicht zu vermeiden ist, dann soll versucht werden, einen physikalischen Parameter zu ermitteln, der auf naturwissenschaftlicher Basis begründet werden kann.
- Wenn eine physikalische Allokation nicht möglich ist, d.h. ein physikalischer Faktor nicht eindeutig begründet werden kann, dann müssen andere, besser begründbare Kriterien herangezogen werden, beispielsweise ökonomische Kriterien.
- Überprüfung beispielsweise durch eine Massenbilanz eventuell Durchführung einer Sensitivitätsstudie bei verschiedenen Allokationsansätzen.

Trotz der in Kürze erwarteten Annahme dieser Norm, besteht noch ein erheblicher methodischer Entwicklungsbedarf in diesem Bereich. Insbesondere der Vorrang der Systemerweiterung vor einer Allokation stößt bei Praktikern auf Unverständnis und Kritik, da sich die Komplexität eines untersuchten Systems wesentlich erhöhen kann und damit sowohl der Aufwand stark ansteigen und als auch die Transparenz einer Studie stark abnehmen kann.

Bei der Berechnung des Energieflusses muss nach Energieträgern und der Effizienz der Energieumwandlung und Energieverteilung unterschieden werden. Die Input- und Outputflüsse für die Bereitstellung der Energie sollten ebenfalls berücksichtigt werden.

4.5 Die Wirkungsabschätzung

Stellte die Sachbilanz die Zusammenstellung der Stoff- und Energieströme dar, so geht es im nächsten Schritt darum, auf dieser Datenbasis die Quantifizierung und Gewichtung der Umweltauswirkungen durchzuführen. In der Wirkungsabschätzung werden nicht die aktuellen Umweltauswirkungen eines Systems bestimmt, sondern es werden Aussagen über die potentiellen Auswirkungen gemacht. Ausnahmen sind sinnvoll, wenn die untersuchten Systeme als einzige Ursache einer bestimmten Wirkung identifiziert werden können (Volkwein et al. 1996). Die Wirkungsabschätzung kann nach DIN EN ISO 14040 die folgenden Teilschritte enthalten:

1. Klassifizierung: Zuordnung von Sachbilanzdaten zu Wirkungskategorien;
2. Charakterisierung: Modellierung der Sachbilanzdaten innerhalb der Wirkungskategorien;
3. Gewichtung: mögliche Zusammenfassung der Ergebnisse in besonderen Fällen und nur, wenn sie aussagekräftig sind;

In ISO/WD 14042.1 wird präzisiert, dass im ersten Schritt die Auswahl und Definition der Umweltprobleme erfolgen muss. Sie muss in Einklang mit der Zieldefinition stehen. Außerdem wird ein weiterer Schritt angehängt, der zur Bestimmung der technischen Signifikanz dienen soll.

In Klöpffer et al. (1995) findet sich ein Überblick über den Stand der Wirkungsabschätzungsmethodik. In den nachfolgenden Kapiteln 4.2.5.1 bis 4.5.1.3 werden die Teilschritte näher erläutert.

4.5.1 Auswahl der Wirkungskategorien und Klassifizierung

In diesem Arbeitsschritt werden die relevanten Wirkungskategorien ausgewählt und die Sachbilanzdaten werden ihnen zugeordnet. Die Wirkungskategorien sind danach ausgewählt, ob sie relevante Auswirkungen auf die definierten Schutzgüter, Ressourcen, menschliche Gesundheit und Ökosystemgesundheit zeigen. Diese Auswahl ist auch vom Ziel und Untersuchungsrahmen einer Studie abhängig.

Allgemein anerkannt sind folgende Wirkungskategorien (DIN 1994; SETAC 1993):

1. Ressourcenverbrauch:
 - * abiotische Ressourcen
 - * biotische Ressourcen
2. Treibhauseffekt (Global Warming Potential, GWP)
3. Ozonabbau (Ozone Depletion Potential, ODP)
4. Versauerung (Acidification Potential, AP)

5. Überdüngung (Nitrification Potential NP)
6. Photooxidantienbildung (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)
7. Humantoxizität
8. Ökotoxizität
9. Bodenbeanspruchung

Diskutiert werden außerdem die Kategorien Lärm, Geruchsbelästigung, Strahlenbelastung und Bedrohung von Naturschönheit. Da sich letztgenannte Kategorien momentan noch nicht quantifizieren lassen, werden sie zumeist in Ökobilanzen nicht berücksichtigt.

Diese Liste ist nicht als endgültig anzusehen. Mit der Erkenntnis neuer Umweltproblemfelder oder einer anderen Einschätzung bekannter Umweltprobleme, kann sich diese Liste ändern (Klöpffer und Renner 1995, S. 21). Momentan wird beispielsweise die Umweltrelevanz bestimmter Stoffgruppen diskutiert, die bei ihrer Freisetzung eine hormonelle Wirkung entfalten können. Dementsprechend könnte in Zukunft obige Liste um die Wirkungskategorie hormonelle Wirkung erweitert werden.

Die Sachbilanzdaten werden im eigentlichen Klassifizierungsschritt entsprechend ihrem Beitrag zu bestimmten Wirkungskategorien gruppiert.

4.5.2 Charakterisierung

Die Aggregation der Sachbilanzdaten nach Wirkungskategorien wird als Charakterisierung bezeichnet. Sie erfolgt entsprechend der Gruppierungen aus dem vorangegangenen Schritt und wird nach wissenschaftlich begründeten Berechnungsverfahren vorgenommen.

Das Konzept der Charakterisierung beruht auf Leitindikatoren. Für jede Wirkungskategorie wird eine Indikatorsubstanz definiert, die es erlaubt alle Emissionen mit der gleichen Wirkung in Relation zu diesem Indikator zu setzen. Die Wirkung kann räumliche und zeitliche Parameter beinhalten (z.B. räumliche Verteilung von Substanzen, Lebensdauern). Die Indikatorsubstanz erhält einen Äquivalenzfaktor (AF) mit dem Wert eins. Kohlendioxid ist beispielsweise die Indikatorsubstanz für den Treibhauseffekt, Schwefeldioxid für die Versauerung etc.

RESSOURCENVERBRAUCH

Das Thema Ressourcenverbrauch ist eng mit der Diskussion um eine nachhaltige Entwicklung verknüpft (siehe Kapitel 2.1.1).

Die Erfassung des Ressourcenverbrauchs in einer Bilanz sollte getrennt nach energetischen und nicht energetischen Ressourcen erfolgen. Beide Gruppen sollten zudem getrennt danach erfasst werden, ob die Ressourcen erneuerbar

oder nicht erneuerbar sind. Das Umweltbundesamt schlägt folgende Einteilung vor (Paulini 1996):

- nicht erneuerbare Energierohstoffe,
- nicht erneuerbare andere Rohstoffe,
- nachwachsende Rohstoffe,
- Wasser,
- Boden.

Eine ähnliche Kategorisierung wird auch von Klöpffer und Renner (1995) und Holley (1995) vorgenommen. Zur Ermittlung des Wirkungspotenzials ist es im Falle des Ressourcenverbrauchs nicht sinnvoll mit Leitindikatoren zu arbeiten. Statt dessen wird von Klöpffer und Renner (1995) S. 40) vorgeschlagen, den Verbrauch einer bestimmten Ressource abzüglich ihrer Neubildungsrate in Relation zu ihren weltweiten Reserven zu setzen. Heijungs et al. (1992) hat ein ähnliches Verfahren entwickelt, allerdings wird in diesem Fall der Nettoverbrauch an nachwachsenden Ressourcen in Relation zum Quadrat der Reserven gesetzt. Beide mal dominieren die zur Verfügung stehenden Reserven die Ergebnisse. Beide Ansätze sind insofern problematisch als die globalen Ressourcen nicht real bekannt sind, sondern nur anhand geologischer Modelle geschätzt werden können. Diese Modelle geben keine Auskunft über die reale Verteilung der Ressourcen in der Erdkruste oder Gründe, die in Zukunft gegen eine Ausbeutung sprechen könnten, wie etwa die Priorität anderer Nutzungen. Die Anzahl real gefundener Lagerstätten gibt wiederum keine Auskunft über die Reserven, da die Lagerstättensuche nur für wenige Jahrzehnte im Voraus erfolgt.

TREIBHAUSEFFEKT

Durch die anthropogen bedingte Emission von Spurengasen wie Kohlendioxid, Methan, Lachgas etc., kommt es zu einer Erwärmung der Atmosphäre, die über den natürlichen Treibhauseffekt hinausgeht. Als Folge davon kommt es zu einem Anstieg der globalen Jahresmitteltemperatur. Weitere Effekte sind die Verschiebung von Klima- und Vegetationszonen sowie die Zunahme von Extremwetterlagen und der Anstieg des Meeresspiegels (Nentwig 1995). Eine präzise Vorhersage dieser Effekte ist allerdings aufgrund der Komplexität der Vorgänge nicht möglich.

Der potentielle Treibhauseffekt (Global Warming Potential, GWP) einer Substanz wird danach bestimmt, wie hoch ihr Treibhauseffekt im Verhältnis zu demjenigen von CO₂ ist. Ein Kilogramm CO₂ hat dabei ein Treibhauspotenzial von einem Kilogramm CO₂-Äquivalent.

Gesamt-Treibhauseffekt = $\sum_i \text{GWP}_i \cdot \text{Emissionsmenge}_i$

Bei der Bestimmung der substanzspezifischen Umrechnungsfaktoren der CO₂-Äquivalente geht die Lebensdauer der Gase in der Atmosphäre in die Rechnung ein. Heijungs et al. (1992) verwendet einen Horizont von 20, 100 und 500 Jahren. Das Umweltbundesamt empfiehlt einen Zeithorizont von 100 Jahren zu verwenden, da die Verweilzeit der meisten klimarelevanten Gase größer als 100 Jahre ist und eine internationale Abstimmung auf denselben Zeithorizont im Sinne der Klimarahmenkonventionen ist (Paulini 1996). Dies entspricht auch der gängigen Praxis (Klöpffer und Renner 1995).

International akzeptiert sind die Werte des International Panel of Climatic Change (IPCC 1994).

OZONABBAU

Der Abbau des stratosphärischen Ozons durch eine Reihe anthropogen bedingter Substanzen, vor allem Halogenkohlenwasserstoffe, bewirkt, dass mehr ultraviolette (UV-) Strahlung die Erdoberfläche erreicht. Infolge der erhöhten UV-Strahlung ist mit einer Reihe von Schädigungen zu rechnen. So geht man von einer erhöhten Hautkrebs- und Augenerkrankungsrate beim Menschen aus und erwartet Beeinträchtigungen von wasserlebenden Organismen und bei der Photosynthese der Pflanzen.

Das Ozonabbaupotenzial einer Substanz wird relativ zu demjenigen des Fluorkohlenwasserstoffs Trichlorfluorethan (R11) ermittelt.

$$\text{Gesamt-Ozonabbaupotenzial} = \sum_i \text{ODP}_i \cdot \text{Emissionsmenge}_i$$

Die meisten ozonabbauenden Gase sind gleichzeitig treibhauswirksam.

VERSAUERUNGSPOTENZIAL

Die wichtigsten Substanzen, die zu einer Erniedrigung des PH-Wertes von Niederschlagswasser führen und damit ein Versauerungspotenzial besitzen, sind Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Ammoniak (NH₃). Gemeinhin wird dieser Effekt als "Saurer Regen" bezeichnet. Er kann zu einer Beeinträchtigung von Oberflächengewässern, von Böden, aber auch zu einer direkten negativen Beeinflussung der Vegetation führen. Daneben können beim Menschen Atemwegserkrankungen auftreten. Über beschleunigte Verwitterungsprozesse sind außerdem Gebäude betroffen (Nentwig 1995, S. 232).

Zur Quantifizierung des Effektes wird den Luftemissionen entsprechend der Anzahl Protonen, die von diesem Molekül potentiell freigesetzt werden, ein Versauerungspotenzials *AP* zugewiesen. Schwefeldioxid, mit *AP* = 1, dient dabei als Indikatorsubstanz. Der Gesamtbeitrag zur Versauerung wird als Summe der einzelnen Produkte der Fracht einer Emission und ihrem jeweiligen Versauerungspotenzial ermittelt (Eyerer 1996, S. 225; Klöpffer und Renner 1995, S. 51):

$$\text{Gesamt-AP} = \sum_i AP_i \cdot \text{Emissionsmenge}_i$$

Organische Säuren werden nicht berücksichtigt.

Anders als für ozonabbauende oder treibhausrelevante Substanzen, handelt es sich hierbei um Substanzen, die nur auf regionaler Ebene mobil sind und regional wirken (beispielsweise rechnet man für SO₂-Moleküle mit einer durchschnittlich zurückgelegten Distanz von 70 km). Je nach Boden- und/oder Vegetationstyp, der von sauren Emissionen betroffen ist, können die Auswirkungen unterschiedlich - mehr oder weniger gravierend - sein. Aufgrund der komplexen Wirkmechanismen kann kein direkter Kausalzusammenhang zwischen Säurerstärke und Schadwirkung ermittelt werden (z.B. beim "Waldsterben"). Dennoch bildet die Quantifizierung einen sinnvollen Beitrag zu Produktvergleichen und -optimierungen (Klöpffer und Renner 1995).

ÜBERDÜNGUNGSPOTENZIAL

Die übermäßige Anreicherung von Böden und Gewässern mit Nährstoffen meist in Form von Stickstoff- und Phosphorverbindungen wird als Überdüngung oder Eutrophierung bezeichnet. Der Chemische Sauerstoffbedarf wird als Maß für den Eintrag organischen Kohlenstoffs benutzt. Negative Folgen kann dies haben, wenn die Überdüngung die Zusammensetzung der Vegetation beeinflusst und sich beispielsweise an überdüngten Standorten immer bestimmte Arten durchsetzen, an Nährstoffarmut angepasste Arten hingegen verschwinden. Bei Gewässern kann es als Folge übermäßigen Pflanzenwachstums zu einer Reduktion des Sauerstoffgehaltes des Gewässers, zu Fäulnisprozessen und im schlimmsten Fall zum "Umkippen" des ganzen Systems kommen.

Zur Quantifizierung wird das Eutrophierungspotenzial (*EP*) der relevanten Luft- und Wasseremissionen relativ zu demjenigen von Phosphat (*EP* = 1) bewertet. Die Summe der Produkte aus *EP* und jeweiliger Emissionsmenge ergibt das Gesamteutrophierungspotenzial:

$$\text{Gesamt-EP} = \sum_i EP_i \cdot \text{Emissionsmenge}_i$$

Das lokal vorhandene Nährstoffangebot wird nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass potentiell jede Nährstoffzufuhr eine Überdüngung bewirken kann (Klöpffer und Renner 1995). Ähnlich wie bei der Versauerung handelt es sich auch bei der Überdüngung um einen regionalen Effekt.

WINTERSMOG

Smog ist ein Kunstwort aus dem Englischen, das durch Zusammenziehen der beiden Wörter *smoke* (Rauch) und *fog* (Nebel) entstand. Es ist ursprünglich für den berühmten London-Nebel geprägt worden, der sich wegen großer Mengen verbrannter Kohle durch einen hohen Ruß- und Schwefeldioxidgehalt-Gehalt

auszeichnete. Heute wird der Begriff *Smog* generell für eine emissionsbelastete Atmosphäre gebraucht (Nentwig 1995, S. 484).

Wintersmog wird - im Unterschied zu dem im nachfolgend Abschnitt beschriebenen Sommersmog - vornehmlich durch Schwefeldioxid, Staub und Ruß verursacht. Schwefeldioxid ist ein Reizgas, das in höheren Konzentrationen auf die Schleimhäute (z.B. Nase, Augen) schädigend wirkt und die Lungenfunktion verschlechtert. Stäube sind Träger anorganischer und organischer Verbindungen, von denen in gesundheitlicher Hinsicht Sulfate, Nitrate, polyzyklische Kohlenwasserstoffe (PAK) und Schwermetalle am wichtigsten sind. Sie können chronische Erkrankungen der Atemwege verursachen (Strubelt 1996). Das gleiche gilt für Ruß. Die Partikelgröße ist dabei entscheidend, ob und wie die Substanzen vom Organismus aufgenommen werden.

Goedkoop (1995) schlägt vor, Schwefeldioxid für das Kriterium Wintersmog als Leitindikator zu verwenden und alle drei beteiligten Substanzen gleich zu gewichten.

PHOTOCHEMISCHE OZONBILDUNG (SOMMERSMOG)

Die photochemische Bildung von Ozon in bodennahen Luftschichten ist das Resultat der Reaktion von Stickoxiden (NO_x) mit flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen (VOC) unter dem Einfluß von UV-Licht. Dieser Vorgang wird auch als Sommersmog bezeichnet. Dabei wirkt NO_x als Katalysator. Die Ozonbildung ist nicht linear mit der NO_x-Konzentration korreliert. Umwelt- und gesundheitsrelevant sind dabei sowohl sommerliche Spitzenwerte als auch ein genereller Anstieg der Durchschnittskonzentration.

Zur quantitativen Erfassung des Sommersmogs wird das photochemische Ozonbildungspotenzial (PCOP) definiert. Dazu wird das Verhältnis zwischen der Veränderung der Ozonkonzentration aufgrund einer Veränderung der VOC-Emission und der Veränderung der Ozonkonzentration aufgrund einer Veränderung der Ethen-Emission ermittelt. Als Leitindikator wird entsprechend Ethen verwendet (Heijungs et al 1992). Die im Fallbeispiel verwendeten substanzspezifischen Faktoren entsprechend Goedkoop (1995) sind in Anhang 3 dargestellt.

Es wird in der Literatur mehrfach darauf hingewiesen, dass die regionalen Verhältnisse (Wind, Luftfeuchtigkeit und Lichtintensität) einen Einfluss auf die Ozonbildung haben (u.a. Saur und Eyerer 1996). So schlägt Klöpffer und Renner (1995) vor, in der Sachbilanz eine regionale Aufschlüsselung der NO_x- und VOC-Werte vorzunehmen sowie die regionalen Strahlungsverhältnisse zu berücksichtigen.

Nach Meinung des Umweltbundesamtes existiert zur Zeit keine Methode zur Abschätzung des PCOP, die den Anforderungen einer Wirkungsabschätzung gerecht wird (Paulini 1996, vergleiche auch Klöpffer und Renner 1995, S. 53). Als

Hauptproblem wird dabei gesehen, dass der Gesamtbetrag aller freigesetzten Kohlenwasserstoffe zur Ozonbildung nicht ohne weiteres abgeschätzt werden kann und die Rolle der Stickoxide bisher nicht berücksichtigt wird.

KARZINOGENE SUBSTANZEN

Für krebserregende Substanzen lässt sich keine akzeptable Höchstmenge angeben, da karzinogene, d.h. krebsauslösende Substanzen eine irreversible Schädigung der Erbsubstanz (DNA) bewirken, die im Extremfall von einem einzelnen Molekül ausgelöst werden kann. Es sind etwa 100 verschiedene Krebsarten beim Menschen bekannt (Strubelt 1996). Nur für etwa 30 Substanzen ist eine eindeutige karzinogene Wirkung am Menschen nachgewiesen, hingegen ist von weit über 1000 Verbindungen bekannt, dass sie im Tierversuch karzinogen wirken.

Bezo(a)pyren, ein polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff (PAK), dient dabei als Indikatorsubstanz. Man berechnet die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Krebs für eine Substanz bei einer Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jeweils bei Langzeitexposition. Die Wahrscheinlichkeit wird ausgedrückt als Anzahl Personen einer Gruppe von einer Million Menschen, die bei diesem Expositionslevel Krebs entwickeln würden.

PAK müssen im Organismus metabolisch umgewandelt werden, bevor sie karzinogen wirken können. Diese Eigenschaft teilen sie mit den meisten Karzinogenen. Die metabolische Umwandlung geschieht überwiegend in der Leber.

Die Wahrscheinlichkeit für Benzo(a)pyren liegt bei 0,09, d.h. 90.000 Menschen

SCHWERMETALLE

Goedkoop (1995) schlägt eine separate Wirkungskategorie Schwermetalle vor. Dies wird damit begründet, dass Schwermetalle, d.h. Metalle mit einer Dichte über $5 \text{ kg}/\text{dm}^3$ bei niedrigleveliger Langzeitexposition ein signifikantes Gesundheitsrisiko darstellen. Sie beeinträchtigen insbesondere das Nervensystem, sowie Leber und Niere. Ursache ihrer Toxizität ist wahrscheinlich eine Anlagerung an SH-Gruppen von Proteinen mit der Folge einer Denaturierung und Enzyminaktivierung (Strubelt 1996). Die Wirkung der Schwermetalle kann als human- und ökotoxisch bezeichnet werden, wobei angenommen wird, dass die humantoxischen Effekte der wichtigste limitierende Faktor sind.

Die Belastungen können nach luft- und wassergebundenen Emissionen unterschieden werden. Als Indikatorsubstanz wird von Goedkoop (1995) Blei vorgeschlagen, welches für luftgebundene Emissionen eine maximal akzeptable Konzentration von $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für wassergebundene eine Höchstkonzentration von $0,01 \text{ mg}/\text{l}$ aufweist. Der Gewichtungsfaktor für andere Schwermetalle wird aus der Relation der jeweiligen akzeptablen Höchstkonzentration zu derjenigen von Blei berechnet. Beispielsweise ist für Cadmium (luftgebunden) die akzeptable

Höchstkonzentration $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entsprechend liegt der Gewichtungsfaktor bei 50.

HUMANTOXIZITÄT

Für die Gesamteinschätzung der human- und ökotoxischen Belastungen ist nicht zu erwarten, dass ein einzelner Leitindikator verwendet werden kann, der die vielfältigen Wirkungsweisen von toxischen Effekten erfassen kann. Leitindikatoren sind nur für einzelne Stoffgruppen denkbar (siehe z.B. die Wirkungskategorien Schwermetalle und karzinogene Substanzen). Problematisch ist außerdem, dass die Exposition kritisch für die Wirkung ist, aber mit der Ökobilanz nicht bestimmt werden kann. Dies gilt generell für alle Wirkungskategorien, die auf toxische Effekte Bezug nehmen.

Im Modell des CML wird die Humantoxizität folgendermaßen berechnet (Heijungs et al. 1992): Die einzelnen Emissionen aus der Sachbilanz werden mit je einem stoffspezifischen Faktor für Luft (HCA), Wasser (HCW) und Boden (HCS) multipliziert. Die einzelnen Faktoren werden aus dem Produkt von Expositions- und Effektfaktor berechnet. In der Summe resultiert daraus die kritisch belastete weltweite Menschenmasse in Kilogramm. Damit beruht dieses Modell auf einem ähnlichen Prinzip wie das in Kapitel 4.2.6.1 beschriebene grenzwertorientierte Bewertungsverfahren der kritischen Volumina. Es orientiert sich praktisch an der Knappheit der Absorptionsfähigkeit des Menschen. Da dieses Modell weder die Abbauraten noch die räumliche Verteilung der verschiedenen Substanzen berücksichtigt, ist die Interpretation der ermittelten Werte allerdings schwierig. Es ist kein allgemein anerkanntes Verfahren.

ÖKOTOXIZITÄT

Heijungs et al. (1992) schlägt außerdem Faktoren zur Berechnung der Ökotoxizität vor. Die produktspezifischen Emissionen werden mit einem stoffspezifischen Klassifikationsfaktor für terrestrische (ECT) bzw. aquatische (ECA) Ökotoxizität multipliziert. Luftgebundene Emissionen werden nicht einbezogen. Die Faktoren werden als Produkt von Expositions- und Effektfaktor bestimmt. Vereinfachend wird angenommen, dass der Expositionsfaktor den Wert eins hat, da die gesamte Emission in die Umwelt gelangt. Als Ergebnis liegt am Ende je Stoff ein Volumen Wasser [m^3] und eine Masse Boden [kg] vor, welches/welche kritisch belastet ist. Die jeweiligen Kubikmeter Wasser bzw. Kilogramm Boden können zu einem Wert aufaddiert werden. Problematisch ist die Berechnung des Effektfaktors, der die toxische Wirkung für sehr viele verschiedene Arten von Lebewesen berücksichtigen soll, die ganz unterschiedliche Empfindlichkeiten aufweisen. Zwar ist die jeweils bekanntermaßen empfindlichste Art maßgebend, aber es werden subjektive "Korrekturfaktoren" eingeführt, die die Wertigkeit einer Art (Forelle versus Stechmückenlarve) und eines Toxizitätswertes ("no observed

effect" versus 50 Prozent getötet, d.h. LD₅₀) ausdrücken. Wie für die Humantoxizität gilt auch hier dass die Ergebnisse nur schwer interpretierbar sind.

Die Entwicklung einer allgemein anerkannten Methode für die Kategorien Human- und Ökotoxizität steht noch aus, weswegen ihre Verwendung in einer Wirkungsabschätzung momentan noch nicht empfehlenswert ist.

4.5.3 Gewichtung der Wirkungskriterien gegeneinander: der Bewertungsschritt

In der DIN EN ISO 14040 wird betont, dass eine Gewichtung der verschiedenen Wirkungskriterien gegeneinander nur in besonderen Fällen durchgeführt werden soll und nur dann wenn sie aussagekräftig ist. Der Entwurf der ISO 14042 (Initial WD September 1996) beschreibt sie als optional und abhängig vom Ziel und Untersuchungsrahmen einer Studie. Es wird aber betont, dass immer auch die nicht aggregierten Untersuchungsergebnisse von Sachbilanz und Wirkungsabschätzung zur Verfügung stehen sollten.

Entgegen früherer Annahmen reicht die Zusammenstellung der Daten in den vorigen Teilschritten nicht aus, Produkte hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen zu bewerten, insbesondere auch nicht, um Produktvergleiche durchzuführen. Es ist selten so, dass eine bestimmte Produktvariante für alle Wirkungskriterien die geringsten Auswirkungen hat oder gar eine eindeutige Reihenfolge zwischen den einzelnen Varianten über die verschiedenen Wirkungskategorien hinweg festzulegen ist.

Zu beachten ist, dass:

- eine Bewertung⁵ immer von subjektiven Werthaltungen geprägt ist, somit eine objektive Bewertung nicht möglich ist;
- eine Bewertung nicht vollkommen beliebig ist, sondern in festgesetztem Maße von Sachinformationen abhängig ist;
- der Vorgang der Bewertung komplizierter wird, je mehr Personen und Gruppen beteiligt sind, je komplexer der Sachverhalt ist und je mehr Kriterien in einem bestimmten Zeitraum zu beurteilen sind (Giegrich 1995).

Die meisten bisher entwickelten Methodenansätze versuchen dabei die Sachinformationen und naturwissenschaftlichen Zusammenhänge zu einem wertfreien Teil zusammenzufassen und deutlich vom nächsten, dem Bewertungsschritt, zu trennen. Dies macht es anderen Nutzern einer bestimmten Studie auch möglich, verschiedene Verfahren anzuwenden und die Ergebnisse zu vergleichen.

Dabei sollte aber nicht vergessen werden, dass schon die Entscheidung, einen Parameter innerhalb der Sachbilanz zu erfassen bzw. nicht zu erfassen, bereits

⁵ Bewertung wird hier verstanden als "die Verknüpfung der zugänglichen Informationen eines Sachverhaltes mit dem persönlichen Wertesystem zu einem Urteil über den entsprechenden Sachverhalt" (Giegrich 1991).

eine Bewertung ist. Ebenso trägt die Auswahl der einbezogenen Wirkungskategorien implizit bewertenden Charakter.

Bewertungsverfahren müssen sich auf das gesellschaftliche Wertesystem beziehen, um eine gesamtgesellschaftliche Relevanz und Akzeptanz entwickeln zu können. Dazu ist es sinnvoll, sich bekannter und erprobter Werkzeuge zu bedienen, die einen Spiegel der Wertvorstellungen bieten (Hirsch et al. 1997). Prinzipiell ist allerdings auch die Erhebung eigener Daten möglich.

Eines dieser Werkzeuge ist die Rechtsprechung. In einem demokratischen Staat stellt sie einen Spiegel der vorhandenen Werte dar. Sie definiert Schutzgüter und legt Belastungsgrenzen fest. Nachteil ist, dass das Rechtssystem nicht durchlässig für alle gesellschaftlichen Strömungen ist und die Reaktion auf Veränderungen nur verzögert erfolgt. Es ist ein eher träges System, welches den Blick in die Vergangenheit zeigt. Eingesetzt wird dieses Instrument beispielsweise bei grenzwertorientierten Bewertungsmethoden (Kapitel 4.2.6.1). Hier zeigt sich auch eine der Grenzen des Ansatzes: durch die uneinheitliche Definition der Schutzgüter in den verschiedenen Gesetzen erhält man Grenzwerte, die von ihrer Qualität her eigentlich nicht vergleichbar sind (z.B. Verwendung von MIK- und MAK-Werten für die Bestimmung des kritischen Luftvolumens). Der Einsatz dieses Instrumentes bedarf also der kritischen Reflexion.

Ein weiteres Werkzeug stellt das Verhalten der Akteure am Markt dar: die Ökonomie. In der Ökonomie bewerten die am Markt beteiligten Akteure ständig die ihnen angebotenen Produkte und Dienstleistungen. Bewertungsdimension ist der Preis. Die Akteure entscheiden nach Kosten-Nutzen-Verhältnis, ob sie ein Produkt am Markt anbieten bzw. kaufen. Die neoklassische Ökonomietheorie geht davon aus, dass es um so besser für die Individuen ist, je mehr Dinge einen Preis haben und je unbeschränkter der Markt ist.

Defizite bestehen insofern als die Umwelt zwar in der Praxis ein knappes Gut ist, ökonomisch gesehen aber keinen Preis hat: Wasser und Luft beispielsweise dürfen im Rahmen der rechtlichen Bestimmungen kostenlos verschmutzt werden. Dennoch sind sie nicht unbegrenzt vorhanden. In der Umweltökonomie wird versucht dieses Defizit durch die künstliche Bepreisung von Umweltgütern zu beheben. Für die sogenannten externen Effekte, auf die das Preissystem nicht reagiert, werden externe Kosten ermittelt (siehe Kapitel 4.2.6.3). Gedacht ist dieser Ansatz als Ergänzung der ökonomischen Bewertung, nicht jedoch als vollständiger Ersatz.

Als weiteres Werkzeug bieten sich national festgelegte Zielsetzungen an. Die Festlegung von nationalen Umweltzielen in der Folge eines gesellschaftlichen Diskussionsprozesses, bei der die Interessen der unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen berücksichtigt werden, stellt sicherlich die für Ökobilanzen

brauchbarste Abbildung des umweltbezogenen Wertesystems dar. Es bezieht idealerweise nicht nur alle aktuell diskutierten Umweltproblemfelder mit ein, sondern setzt sie auch in Relation zueinander. Die Wertsetzungen werden also direkt geäußert und nicht über einen Vermittler wie z.B. das Rechtssystem. Ein Beispiel dafür sind die in Goedkoop (1995) zitierten Reduktionsfaktoren. Bunke et al. (1995) bietet einen Überblick über momentan diskutierte Umweltziele.

Nachteil dieses Ansatzes ist, dass für viele Länder noch keine umfassenden nationalen Zielsetzungen formuliert sind, die alle Umweltproblemfelder berücksichtigen. Meist handelt es sich noch um Einzelziele wie z.B. das CO₂-Reduktionsziel der Bundesregierung (Reduktion um 25 Prozent bis zum Jahre 2005 auf der Basis von 1990). Es liegt in der Regel auch kein strukturierter gesamtgesellschaftlicher Diskussionsprozess vor. Eine Ausnahme stellt der nationale Umweltpolitikplan der Niederlande dar (siehe Kapitel 2.3.3.1).

Momentan diskutierte und verwendete Bewertungsverfahren allgemeiner Natur sind nachfolgend dargestellt. In Kapitel 4.4 werden Verfahren vorgestellt, die an bestimmte, insbesondere bauspezifische Anwendungen angepasst sind. Eine ausführlichere Darstellung und Diskussion gebräuchlicher Bewertungsverfahren findet sich in Giegrich (1995) und Braunschweig et al. (1994 und 1996).

4.5.3.1 Grenzwertorientiertes Verfahren: Kritische Volumina

Das erste Bewertungsverfahren, das für Ökobilanzen vorgestellt und angewendet wurde, ist das Modell der kritischen Belastungsmengen. Es wurde erstmals 1984 vom Bundesamt für Umweltschutz der Schweiz (später umbenannt zum Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL) im Rahmen einer Packstoffstudie veröffentlicht (Habersatter 1991). Grundlage dieses Verfahrens sind die gesetzlichen Grenzwerte für Immissionen von Schadstoffen in Form von z.B. Maximale-Immissions-Konzentrations- (MIK-) oder Maximale Arbeitsplatz-Konzentrations- (MAK-) Werten bzw. entsprechende Grenzwerte für Wasser. Man erhält dadurch ein fiktives Volumen von Luft bzw. Wasser, welche/s jeweils bis an die Grenze des für einen Schadstoff zugelassenen Wertes verschmutzt ist. Die Summe ergibt genau ein Volumen Luft und ein Volumen Wasser als Ergebnis.

Dieses Verfahren der kritischen Volumina ist, soweit Grenzwerte für eine Substanz existieren, sehr leicht praktikabel und wurde häufig eingesetzt. Es muss kritisch angemerkt werden, dass die zugrundegelegten Grenzwerte unterschiedliche Ursprünge haben bzw. andere Schutzgüter betreffen und in sofern nicht vergleichbar sind. Die Aggregation der Luft- bzw. Wasservolumina täuscht eine Gleichwertigkeit vor, die tatsächlich nicht vorhanden ist. Zudem wird nicht berücksichtigt, wie sich eine Substanz in der Umwelt verteilt, ob, und wenn ja, wie schnell sie abgebaut wird etc.

Problematisch ist außerdem, dass Emissionen, für die keine Grenzwerte existieren, wie z.B. für den Massenschadstoff CO₂, aus der Bewertung herausfallen. Im konkreten Fall bedeutet dies, dass der Treibhauseffekt von der Bewertung ausgeschlossen ist.

4.5.3.2 Stoffflussorientiertes Verfahren: Umweltbelastungspunkte

Ebenfalls aus der Tradition der Ökobilanzen für Packstoffe des Schweizer Bundesamtes für Umweltschutz entstand das Bewertungsmodell der Umweltbelastungspunkte. S. Ahbe, A. Braunschweig und R. Müller-Wenk entwickelten das Verfahren der kritischen Belastungsmengen weiter (Ahbe, Braunschweig et al. 1990, weiterentwickelt in Braunschweig und Müller-Wenk 1993). Bezug genommen wird in diesem Fall nicht auf Grenzwerte sondern auf kritische Stoffflüsse bezogen auf eine bestimmte Region und ein Jahr. Die kritischen Stoffflüsse werden auf der Basis von nationalen oder internationalen Zielwerten ermittelt.

Den Daten der Sachbilanz wird jeweils ein Ökofaktor zugewiesen, der zum Ausdruck bringt, wie weit die aktuellen Emissionen einer bestimmten Substanz entfernt sind von dem Stofffluss, der als kritisch für eine bestimmte Region, konkret die Schweiz, angesehen wird. Es handelt also sich um eine Distance-to-Target-Technik (siehe Kapitel 4.2.6.4). Die Beziehung ist dabei nicht linear sondern quadratisch:

$$\text{Ökofaktor} = [\text{gegenwärtiger Stofffluss}/(\text{kritischer Stofffluss})^2]$$

Dimension des Ökofaktors: [pro Gramm], [pro Joule] etc.

Ökofaktoren existieren für Luftbelastungen, Wasserbelastungen, Energieverbrauch und Entsorgungskategorien. Eine Auflistung der konkreten Ökofaktoren findet sich in Anhang I.

Die Ökofaktoren werden mit den zugehörigen Sachbilanzdaten multipliziert, so dass jeweils eine dimensionslose Umweltbelastungspunktzahl errechnet werden kann. Die einzelnen Punktwerte können am Ende zu einem einzigen Wert aggregiert werden. Es handelt sich um ein Ein-Schritt-Verfahren, im Gegensatz zu dem von der ISO vorgeschlagenen drei- bis fünfstufigen Vorgehen.

Auch diese Methode ist sehr leicht praktikabel, wenn für die entsprechenden Inputs und Outputs ein kritischer Fluss für die Schweiz ermittelt für werden kann. Damit wird deutlich, dass dieses Verfahren zwar prinzipiell auf Studien mit anderen räumlichen Grenzen übertragen werden kann, dazu müssen aber erst die entsprechenden Ökofaktoren für die jeweilige Region berechnet werden.

Ein Nachteil ist, dass die Aggregierbarkeit der Umweltbelastungspunkte zu einem einzigen Zahlenwert die komplexen Randbedingungen vergessen lässt und sich der Vergleich verschiedener untersuchter Varianten auf Punktdifferenzen be-

schränken kann. Dies trifft allerdings auf alle Vollaggregationsverfahren zu (siehe Kapitel 4.1.4).

4.5.3.3 Monetäre Verfahren: Externe Kosten

Die Diskussion um externe Kosten von Umweltbelastungen wurde in Deutschland 1988 maßgeblich durch die Studie "Soziale Kosten des Energieverbrauchs" von Hohmeyer (1988) ausgelöst. Seither sind eine ganze Reihe weiterer Studien zu diesem Thema erschienen. Erwähnt seien an dieser Stelle nur zwei: R. Friedrich, U. Kallenbach, E. Thöne und A. Voß veröffentlichten 1990 die Studie "Externe Kosten der Stromerzeugung" (Friedrich et al. 1990), die eine Weiterentwicklung der Methode darstellt. Die wohl umfangreichste Untersuchung zu den externen Kosten der Energieversorgung wurde im Rahmen des Projektes "Externalities of fuel cycles" (ExternE) von der Kommission der EU in Auftrag gegeben und 1995 veröffentlicht (European Commission Directorate General XII: Science Research and Development (publisher) 1995).

Die Bezeichnung extern bezieht sich auf solche Effekte, auf die das Preissystem nicht reagiert. Diese - im allgemeinen - negativen Effekte werden für die Entstehung von Umweltproblemen verantwortlich gemacht. Über die Ermittlung der externen Kosten soll eine Bepreisung und somit eine Integration dieser Effekte in das ökonomische System erfolgen.

Die externen Kosten können auf verschiedene Art ermittelt werden. Die wichtigsten sind dabei die Ermittlung von Vermeidungskosten sowie von Reparatur- und Auswechskosten (Schadensbeseitigungskosten). Möglich ist außerdem die Erhebung des Preises, den Menschen bereit sind, für ein Umweltgut zu bezahlen. (Wie viel wären Sie bereit für die Erhaltung dieser Landschaft zu bezahlen?). In Grießhammer et al. (1994, S. 69) findet sich eine Übersicht über weitere Verfahren.

Problematisch bei der Ermittlung der externen Kosten ist, dass die unterschiedlichen Ansätze zu verschiedenen Ergebnissen führen (Grießhammer et al. 1994, S. 70ff). Jeder Ansatz hat seine spezifischen Vor- und Nachteile und damit auch seinen Anwendungsbereich. Es gibt kein allgemein einsetzbares und anerkanntes Verfahren.

4.5.3.4 Effektorientierte Methoden

Die effektorientierten Methoden basieren auf den in der Wirkungsabschätzung nach Wirkungskategorien aggregierten Sachbilanzdaten. Die normalisierten Werte der einzelnen Wirkungskategorien werden gegeneinander gewichtet und können dann zu einem Wert aufaddiert werden.

Für diese Gewichtung gibt es mehrere Vorschläge, die auf verschiedenen Verfahren beruhen, aber es existiert noch kein allgemein anerkannter Konsens. Eine

Diskussion verschiedenerer Gewichtungsverfahren findet sich u.a. in Finnveden (1997), Volkwein et al. (1996), Powell et al. (1997). Als wichtigste Ansätze seien hier die folgenden dargestellt:

DISTANCE-TO-TARGET TECHNIK: Gewichtung der Wirkungskategorien anhand der Differenz der realen Flüsse zu den Zielsetzungen z.B. national oder international, beispielsweise durch Reduktionsfaktoren. (Goedkoop 1995, S.41; Braunschweig et al. 1996, S. 84ff und S. 237)

PANELUMFRAGE: Umfrage bei Experten zur Einschätzung der relativen Bedeutung der unterschiedlichen Wirkungskategorien. (Beispiel: Kortman et al. 1994, zitiert nach Braunschweig et al. 1994, S. 35)

Die Auswahl des Expertengremiums ist sicherlich kritisch für die Ergebnisse. Problematisch ist bei diesem Ansatz auch die große Anzahl von Wirkungskategorien, die hinsichtlich ihres potentiellen Effektes auf die Schutzgüter gegeneinander gewichtet werden muss. Wie am Anfang des Kapitels kurz angedeutet, ist das Gewichten um so schwieriger je mehr verschiedene Kategorien einbezogen werden müssen.

4.5.3.5 Schadensorientiertes Verfahren: Ökoindikator 95

Die Methode des Ökoindikator 95 wurde durch die PRé product ecology consultants in Zusammenarbeit mit mehreren Unternehmen (u.a. Philips, NedCar (Volvo Netherlands), Océ, Schuurink, mehreren Universitäten (Amsterdam, Leiden und Delft) und Beratungsunternehmen (TNO, CE) entwickelt. Es handelt sich um eine Methode, die erst 1995 veröffentlicht wurde (Goedkoop 1995). Sie wurde als Designhilfsmittel für die Produktentwicklung erarbeitet. Sie befindet sich momentan in der Weiterentwicklung.

Stand im vorigen Kapitel der potentielle Effekt einer Emission (z.B.) im Vordergrund, so orientiert sich Goedkoop (1995) am potentiellen Schaden, den eine Wirkungskategorie verursacht. Der potentielle Schaden bezieht sich dabei auf die definierten Schutzgüter (siehe Kapitel 4.2.1). Das Schutzgut Ressourcen wird erst in der neuen Fassung des Ökoindikators einbezogen werden (Goedkoop 1998).

Die folgenden Schäden an den Schutzgütern werden als gleichwertig angesehen, gleichzeitig zwar als schwerwiegend aber dennoch akzeptabel:

- Todesfälle: Ein Todesfall pro einer Million Einwohner und Jahr, verursacht durch Umweltauswirkungen;
- Anzahl der Menschen, die aufgrund von Umweltauswirkungen krank werden: Dies bezieht sich speziell auf Winter- und Sommersmog. Der Akzeptanzlevel ist so gesetzt, dass Smogperioden überhaupt nicht mehr vorkommen sollten;
- 5 Prozent Ökosystemdegradation über mehrere Jahrzehnte

Die einbezogenen Wirkungskategorien unterscheiden sich von der Liste in Kapitel 4.2.5.1 durch die zusätzlichen Kategorien Wintersmog, Pestizide, Schwermetalle (Luft und Wasser), kanzerogene Substanzen. Nicht enthalten sind ressourcenbezogenen Kategorien sowie die separaten Kategorien Humantoxizität und Ökotoxizität.

Goedkoop (1995) geht von einer linearen Beziehung zwischen Einwirkung und Schaden aus. Dies ist mit Sicherheit eine stark vereinfachende Annahme. Im Gegensatz dazu arbeitet Braunschweig und Müller-Wenk (1993) mit einer quadratischen Schadensfunktion.

Vorteil dieses Ansatzes ist die Tatsache, dass am Ende nur zwei, bzw. in der überarbeiteten Version drei, Schutzgüter gegeneinander gewichtet werden müssen.

4.6 Auswertung

Der letzte Teilschritt einer Ökobilanz dient dazu, die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung vor dem Hintergrund der Zieldefinition zusammenzufassen. Ziel dieses Schrittes ist es, die Schlussfolgerungen der jeweiligen Bilanz darzustellen und Empfehlungen abzugeben. Die Auswertungsphase kann sich auf den iterativen Prozess der kritischen Prüfung und Überarbeitung des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz sowie auf die Art und Qualität der entsprechend dem festgelegten Ziel zusammengestellten Daten beziehen.

4.7 Abgrenzung von anderen Methoden

4.7.1 Materialintensität pro Serviceeinheit (MIPS)

Das Konzept der Materialintensität pro Serviceeinheit wurde am Wuppertal-Institut für Klima und Umwelt in der Arbeitsgruppe von F. Schmidt-Bleek entwickelt (Schmidt-Bleek 1994). Das MIPS-Konzept definiert den absoluten Masseninput in ein System als zentrale Größe. Es handelt sich um eine ausnahmslos Inputorientierte Herangehensweise, bei der Outputgrößen wie Abfälle und Emissionen nicht berücksichtigt werden. Es erfolgt eine möglichst genaue Erhebung der insgesamt bewegten Massen inklusive aller Vorprodukte. Darin eingeschlossen sind z.B. die Abraummengen bei der Gewinnung von Mineralien. Jedes Vorprodukt bringt seine Masseninputs quasi als Rucksack mit in die Herstellung des Hauptproduktes. Alle Masseninputs werden aufaddiert unabhängig davon, ob es sich um Ressourcen mineralischen, nachwachsenden oder anderen Ursprungs handelt.

Aufgrund dieser Massenzahl wird anschließend bewertet. Dieser Methode liegt ein Ökologieverständnis zugrunde, nachdem der Massedurchsatz den Umweltproblemen proportional ist. Es wurde gleichzeitig ein Verminderungsziel vorgegeben, nach dem der heutige Massendurchsatz auf ein Zehntel des heutigen Wertes zu senken ist. Damit werden die MIPS zu einem Repräsentanten der Umweltbelastungen. Zudem wird mit dem in Schmidt-Bleek (1994) geforderten Faktor 10 ein klares Umweltziel vorgegeben. Der proportionale Zusammenhang zwischen Massendurchsatz und Umweltbelastungen muss allerdings noch mittels Referenzuntersuchungen nachgewiesen werden.

Parallel zur MIPS wird ein Verfahren zur Berücksichtigung des Flächenverbrauchs entwickelt, die FIPS (Flächenintensität pro Serviceeinheit).

4.7.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) erarbeitete dieses Konzept in einer Arbeitsgruppe unter Leitung von H. Schaefer und veröffentlichte 1995 den Entwurf der VDI-Richtlinie 4600 "Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden" (Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) 1995). Bei dieser Methode werden ausgehend von einer vollständigen Sachbilanz alle Energieinputs in ein System sowie die nutzbaren Outputs erfasst. Die ermittelte Energie wird nach festen Regeln auf einen entsprechenden Primärenergieeinsatz hochgerechnet. Der Energieinhalt von Produkten wie z.B. bei Kunststoffen oder Holz wird berücksichtigt. Der für jeden Schritt berechnete Primärenergieaufwand wird addiert und ergibt den Kennwert KEA für das untersuchte System.

Viele Umweltwirkungen wie z.B. Treibhauseffekt, Versauerung, Ozonbildung sind mehr oder weniger direkt mit dem Energiebedarf gekoppelt. KEA kann also als ein Leitparameter in einer Übersichts-Ökobilanz dienen.

5. Darstellung der im Fallbeispiel verwendeten Methode

5.1 Das untersuchte System

5.1.1 Funktion und funktionale Einheit

Eines der wichtigsten Elemente einer Ökobilanz ist die klare und genaue Darstellung der von einem Produkt oder einer Dienstleistung erfüllten Funktion. Ausgehend davon ist die funktionelle Einheit das Maß für die erbrachte Leistung eines Produktes oder einer Dienstleistung. Die funktionale Einheit soll klar definiert und messbar sein. Die Details der Definition sollten konsistent mit den Zielen und dem Anwendungsbereich sein. Die Input- und Outputdaten beziehen sich auf die funktionale Einheit.

Im vorliegenden Fallbeispiel lassen sich Funktion und funktionale Einheit folgendermaßen definieren (vergleiche Kapitel 7.1.1):

FUNKTION:

Bereitstellung von beheiztem Wohnraum und erwärmtem Brauchwasser über 80 Jahre

FUNKTIONALE EINHEIT:

Eine Doppelhaushälfte mit Haupt- und Einliegerwohnung sowie einer Garage in einer für Deutschland üblichen Konstruktionsweise und mit üblichen Materialien und einer regional gebräuchlichen Architektur. Beheizbare Wohnfläche 177 m² (Referenzhaus). Das Raumprogramm ist in nachfolgender Tabelle 5 dargestellt. Nutzungsdauer: 80 Jahre. Standort: Heidenheim (Baden-Württemberg), An der Fuchssteige, 551 m über dem Meeresspiegel.

Tabelle 5 Raumprogramm der untersuchten funktionellen Einheit „Doppelhaushälfte“.

Hauptwohnung

UG: Kellerraum, Heizungsraum, Abstellraum

EG: Garage, Windfang, Küche, WC, Ess- und Wohnbereich, Balkon

OG: Flur, drei Schlafzimmer, Bad, Gästezimmer, Abstellraum

Dach: Spitzboden

Einliegerwohnung

UG: Küche, Bad, Flur, Wohn-, Ess- und Schlafbereich;

außen: Freisitz

Es werden sechs Varianten (Referenzhaus, Haus A bis E) und zwei Untervarianten (Haushälfte CI, CII, DI und DII), untersucht.

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden

5. Darstellung der im Fallbeispiel verwendeten Methode

	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus D ¹	Haus E
Energiebezugsfläche	177 m ²	176 m ²	178 m ²	200 m ²	183 m ²	185 m ²
Heizwärmebedarf	98 kWh/m ² a	34 kWh/m ² a	43 kWh/m ² a	47 kWh/m ² a	DI: 52 kWh/m ² a DII: 43 kWh/m ² a	51 kWh/m ² a
Außenwand	Leichtziegel d: 30 cm gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm; k-Wert: 0,48	Kalksandstein d: 17,5 cm mit Mineralfaser-Außen-dämmung d: 20 cm; gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm mit Polystyrol d: 8 cm; k-Wert: 0,18	Leichtbetonschalungsstein d: 25 cm mit Kerndämmung aus Polystyrol d: 12 cm; k-Wert: 0,25	Porenbeton d: 36,5 cm; k-Wert: 0,31	Holzständerbau mit Mineralwollgedämmung; DI: d: 24 cm; DII: d: 17,5 cm; Leichtziegel (UG) d: 30 cm; gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm; DI: k-Wert: 0,19 DII: k-Wert: 0,28	Porenbeton d: 37,5 cm k-Wert: 0,3
Gebäudetrennwand	Leichtbeton-Schalungsstein gefüllt mit Beton d: 12,5 cm	Kalksandstein d: 11,5 cm	Leichtbeton-Schalungsstein gefüllt mit Beton d: 12,5 cm	Porenbeton d: 17,5 cm	Hochlochziegel (UG) d: 30 cm und Holzständer d: 17 cm mit Gipskartonplatten und Mineralfaser d: 10 cm	Porenbeton d: 17,5 cm
Fenster	Zweischeiben-Isolierglas, Holzrahmen k-Wert: 2,6	Dreischeiben-Wärmeschutzglas, Holzrahmen k-Wert: 1,0	Dreischeiben-Wärmeschutzglas;Kunststoffr. k-Wert: 1,4	Zweischeiben-Wärmeschutzglas, Holzrahmen k-Wert: 1,4	Zweischeiben-Wärmeschutz-glas, Holzrahmen k-Wert: 1,4	Zweischeiben-Wärmeschutzglas,Holzrahmen k-Wert: 1,4
Dach	Holzkonstruktion, Zwischensparrendämmung ² d: 14 cm k-Wert: 0,29	Holzkonstruktion, Zwischensparren und Untersparrendämmung ² d: 18 bzw. 3 cm k-Wert: 0,2	Holzkonstruktion, Über-sparren- und Zwischensparrendämmung ² d: 14 bzw. 8 cm; k-Wert: 0,16	Porenbetonkonstruktion d: 20 cm, Außendämmung ² d: 12 cm; k-Wert: 0,22	Holzkonstruktion, Zwischensparrendämmung ² d: 20 cm; k-Wert: 0,24	Porenbetonkonstruktion d: 14,5 cm, Außen-dämmung ² d: 18 cm; k-Wert: 0,18
Decken	Stahlbetondecke (KG, EG) d: 18 cm, Kehlbalkendecke (OG), Mineralwollgedämmung d: 11,5 cm	Stahlbetondecke (KG, EG) d: 20 cm; Kehlbalkendecke (OG), Mineralwollgedämmung d: 11,5 cm	Stahlbetondecke (KG, EG) d: 18 cm, Kehlbalkendecke (OG), Mineralwollgedämmung d: 11,5 cm	Porenbetondecke (keine Decke im OG); d: 24 cm	Holzbalkendecke, Mineralwollgedämmung d: 20 cm	Porenbetondecke d: 25 cm
Innenwände	Hochlochziegel d: 11,5 und 24 cm	Kalksandstein d: 11,5 und 17,5 cm	Leichtbeton d: 11,5 bis 25 cm z.T. mit Beton bzw. Polystyrol	Porenbeton d: 12,5 bis 30 cm	Hochlochziegel (UG) d: 11,5 und 24 cm; Holzrahmen d: 12 bis 22 cm	Porenbeton d: 12,5 bis 30 cm
Haustechnik	Gaskessel atm. Brenner	Gaskessel atm. Brenner	Gasrennwertkessel	CI: Gaskessel atm. Brenner CII: Gasbrennwertkessel	DI: Gasgebläsebrenner DII: Elektroöfen	Gaskessel atm. Brenner

¹ Bei Haus DI wurde die Außenwand weniger gut gedämmt als bei Haus DII (siehe Elementdaten). ² Dämmung mit Mineralwolle; bei Zwischensparrendämmung: Sparrenanteil 15 Prozent

Tabelle 6 Charakterisierung der untersuchten Doppelhäuser. Die Tabelle gibt einen Überblick über die beheizbare Wohnfläche, den Hüllflächenfaktor, den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten sowie die Ausführung der verschiedenen Hausvarianten. Die Angaben zu Schichtdicken beziehen sich auf die überwiegende Fläche.

Eine ausführliche Beschreibung der Häuser befindet sich in Anhang 2. Das Referenzhaus entspricht der definierten funktionellen Einheit. Von diesem Grundtyp weichen die anderen Hausvarianten hinsichtlich des Grundrisses wie folgt ab:

- Haus A: Trennung Windfang und Flur im EG; Heizungsanlage im Abstellraum des OG (kein Kamin); dafür im Keller Waschküche statt Heizungsraum; zusätzlicher Flur im UG.
- Haus B: Trennung Windfang und Flur im EG; Heizungsanlage im EG (Flur); dafür im Keller Waschküche statt Heizungsraum; zusätzlicher Flur im UG.
- Haus C: Trennung Windfang und Flur im EG; zusätzlicher Wintergarten im EG; Gästezimmer im EG statt im OG; Speicher statt Abstellraum im OG; kein Spitzboden, da keine Decke im OG; zusätzlicher Flur im UG.
- Haus D: UG: Trennung Windfang und Flur im EG; Küche integriert in Wohn-Essbereich; Schlafzimmer separat; dazu zwei begehbare Schränke; zusätzlicher Flur; kein Abstellraum; kein Gästezimmer. Haushälfte DII: Waschküche statt Heizungsraum im UG.
- Haus E: zusätzlicher Flur im UG

Die unterschiedlichen Wohnflächen der Gebäude (176 bis 200 m²) werden nicht berücksichtigt. Ebenso wenig wird der Wintergarten in Haus C als Veränderung der funktionalen Einheit aufgefasst.

Eingeschlossen in die Berechnung werden neben den Bauelementen der Gebäude die Heizungsanlage und die Brauchwassererwärmung (inklusive Sonnenkollektor von Haus C). Da keine Daten für alle weiteren verwendeten Elemente der Haustechnik (z.B. Wärmetauscher) vorlagen, werden sie nur teilweise einbezogen. Einberechnet wird sowohl der aufgrund dieser Anlagen zu erwartende Energiegewinn als auch der Stromverbrauch der Anlagen. Nicht berücksichtigt wird dagegen die Belastung aufgrund Herstellung, Erneuerung und Entsorgung dieser Anlagen. Diese Bestandteile sollten aber in Zukunft unbedingt ergänzt werden.

Aufgrund fehlender Daten werden Installationen in den Gebäuden sowie auf den Grundstücken vernachlässigt. Ausnahmen sind nur die Rauminstallation Elektrik, die durch die Bauvorschriften vorgegeben sind, und der Hausanschluss Gas, den alle Varianten benötigen. Ebenso wird die Einwirkung auf das Grundstück vernachlässigt.

5.1.2 Systemgrenzen

Die Bilanzierung der Hausvarianten erfolgt über den gesamten Lebensweg der Gebäude. Er lässt sich grob in die drei Zeitabschnitte Herstellungsphase, Nutzungsphase und Rückbauphase untergliedern. In Abbildung 3 auf Seite 58

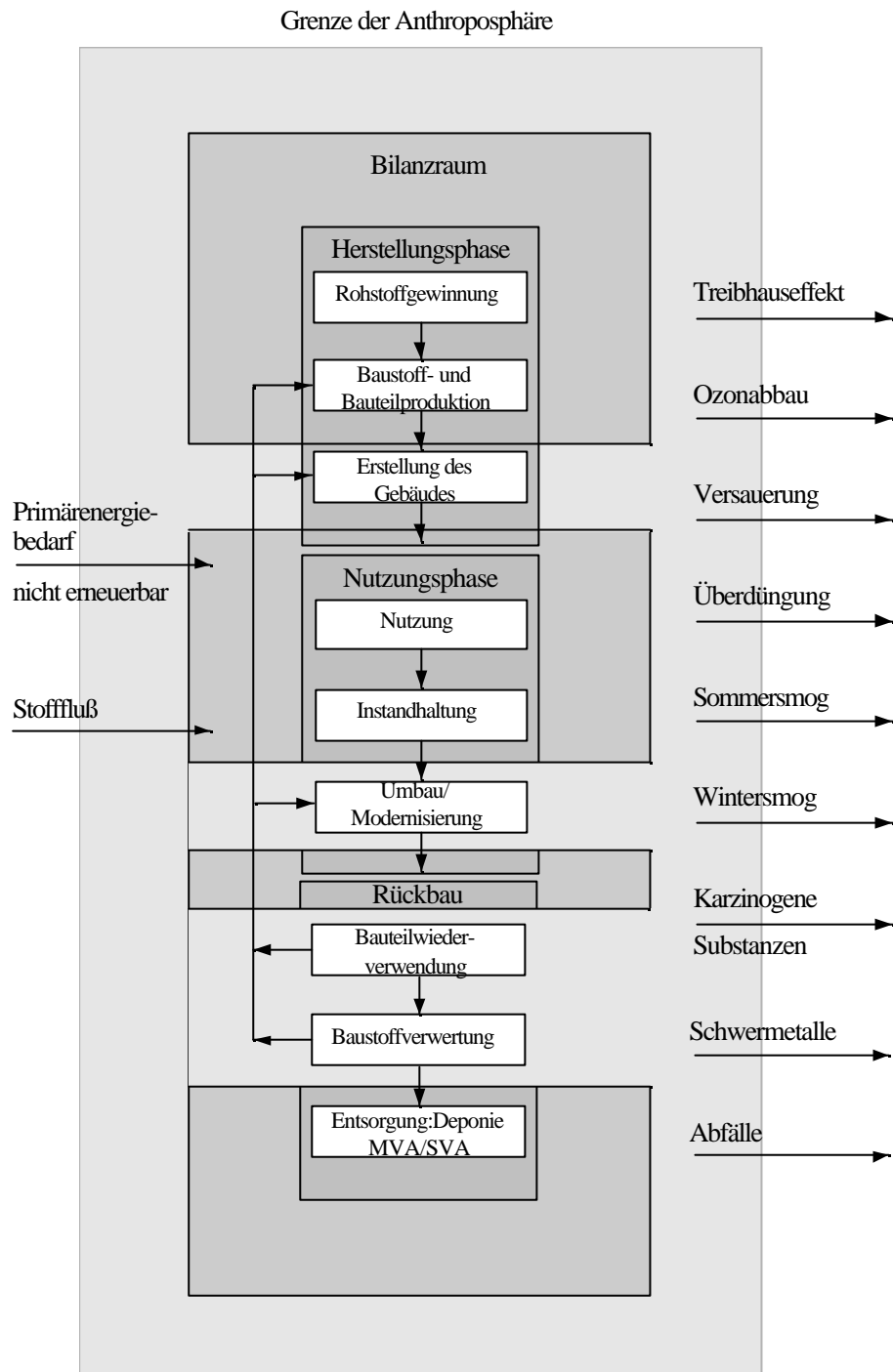


Abbildung 3 Darstellung der Systemgrenzen und der im Fallbeispiel berücksichtigten Wirkungskategorien. Die Abfälle sind unterteilt in die Abfallkategorien Abfälle in Inertstoffdeponie, in Reststoffdeponie und in die Müllverbrennungsanlage (zur Auswahl der Wirkungskategorien siehe Kapitel 5.3.1).

befindet sich eine detailliertere Darstellung dieser Lebenswegphasen, die außerdem die berücksichtigten Wirkungskategorien zeigt. Es ist nicht möglich, eine sinnvolle Vorhersage darüber zu machen, wie die untersuchten Hausvarianten im Laufe ihrer Lebensdauer umgebaut werden. Dieser Aspekt muss ausgeklammert bleiben (siehe Kapitel 7.1.1.2). Die Wiederverwendung von Bauteilen wurde ausgenommen, weil seine Bedeutung in der Praxis momentan nur sehr gering ist.

Die Aufwendungen für die Herstellung der Anlagen und Investitionsgüter der Baustoffproduktion werden in den jeweiligen Baustoffdaten berücksichtigt. In der Bilanzierung der Gebäude wird der Transport zum Baustoffhandel (20 km) einbezogen. Die Daten der Entsorgungsprozesse enthalten anteilig ebenfalls Transporte. Zusätzlich zum eigentlichen Transport wird jeweils die Herstellung der Transportmittel anteilig berücksichtigt.

Das Fallbeispiel bezieht sich hinsichtlich Produktionsbedingungen, Energieerzeugung und -umwandlung auf Westeuropa (UCPTE-Strom-Mix⁶). Für die Berechnung des Energieverbrauchs während der Nutzungsphase wurden die klimatischen Bedingungen des Standorts Heidenheim berücksichtigt.

5.1.3 Spezifikation der Gebäude

5.1.3.1 Elementdaten

Die Gebäude wurden anhand ihrer Zusammensetzung aus Bauelementen definiert (siehe Kapitel 2.3.3.2). Die Elementdaten aller Varianten wurden anhand der Gebäudepläne, den Angaben aus dem Abschlussbericht und ergänzenden Angaben von Runa Hellwig berechnet. Eine Auflistung der Elemente aller Varianten findet sich in Anhang 2.

Zu allen sechs Hausvarianten liegen Pläne vor: Grundrisse, Schnitte, Ansichten (Maßstab 1:100 und/oder 1:50). Die Pläne enthalten handschriftliche Ergänzungen zu Materialspezifikationen von Frau Runa Hellwig, einer Mitarbeiterin des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Stuttgart. Ausschreibungsunterlagen liegen nicht vor. Folgende Literaturquellen wurden verwendet: Reiß und Erhorn 1994, Erhorn und Reiß 1994 und Fachinformationszentrum Karlsruhe 1993

Die Angaben aus dem Schlussbericht (Reiß und Erhorn 1994) widersprechen teilweise den Daten, die den Plänen zu entnehmen sind. Die Arbeit bezieht sich im Zweifel auf die Pläne und deren Ergänzungen.

Auf die genaue Spezifikation einzelner Produkte oder ihrer Hersteller wird verzichtet obwohl sie teilweise bekannt sind, da die Datengrundlage nicht genau

⁶ UCPTE: Union pour la coordination de la production et du transport de l' électricité (Stromnetz der westeuropäischen Union für die Koordinierung und den Transport elektrischer Energie).

genug ist, um die spezifischen Produkte korrekt widerzuspiegeln. Es entstünde sonst der Eindruck einer größeren Datengenauigkeit als tatsächlich vorhanden und es bestünde die Gefahr einer unfairen Produktbeurteilung.

5.1.3.1 Energiedaten

Auf die Möglichkeit, den Heizwärmebedarf anhand der eingegebenen Gebäudeelemente in *ECOPRO* (siehe Kapitel 5.2) berechnen zu lassen, wurde nicht zurückgegriffen, da die gebäudespezifischen Berechnungen in (Reiß und Erhorn 1994) als genauer eingeschätzt wurden. Die Datentabellen zum Energieverbrauch aller Varianten während der Nutzungsphase befinden sich in Anhang 2.

Die Heizwärmebedarfswerte wurden mit Hilfe des dynamischen Rechenprogramms *SUNCODE* und Verfahren nach der Wärmeschutzverordnung 1995 von Reiß und Erhorn (1994) berechnet. Die ermittelten Werte wurden für das Fallbeispiel übernommen. Zur Berechnung der Nutzungsphase wurden, wo nichts anderes angegeben ist, Daten aus diesen Simulationsrechnungen verwendet.

Vorberechnungen zur Brauchwassererwärmung liegen dagegen nicht vor. Der Anteil der Brauchwassererwärmung an den Wärmeverbräuchen wird in Reiß und Erhorn (1994, S. 58) mit 18 Prozent für das Referenzhaus und 16 Prozent für die Niedrigenergiehäuser angegeben. Es handelt sich hierbei um die Durchschnittswerte der Messungen aus den verschiedenen Heizperioden. Übertragen auf den vorberechneten Heizwärmeverbrauch lässt sich näherungsweise der gesamte Wärmeverbrauch errechnen. Dies entspricht der gesamten Nutzwärme, die durch die Heizungsanlage bereitgestellt wird. Die Tabelle mit den entsprechenden Hochrechnungen befindet sich in Anhang 2.

Simulationsrechnungen zu den Energieverbräuchen von Installationen der Haustechnik (z.B. Pumpen, Ventilatoren) zur Brauchwassererwärmung fehlen. Aus diesem Grund wurden die Stromverbräuche für die Haustechnik aus der Messung übernommen (Einzelmessungen in der Heizperiode 1991/92, s.u.; Durchschnittswert beider Haushälften).

- Während mehrerer Heizperioden wurden die Energieverbräuche und nutzerspezifischen Parameter gemessen. Durchgeführt wurden dabei im einzelnen:
- Kontinuierliche Messungen der Verluste durch Transmission und Lüftung, der Gewinne durch Haushaltsgeräte, Heizanlage und Solareinstrahlung, der Lufttemperatur in den Räumen und der Fensteröffnungszeiten.
- Einzelmessungen wurden durchgeführt zur Messung der Stromaufnahme von Ventilatoren und Pumpen und der Messung der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle.

Die kontinuierlichen Messungen wurden während der Heizperioden 1991/92 und 1992/93 sowie Sommer 1992 durchgeführt. Die Messungen erfolgten viertelstündlich. Die Daten wurden zu stündlichen Summen- bzw. Mittelwerten zusammengefasst. Nur während der Heizperiode 1992/93 wurde für alle Varianten Messwerte ermittelt. Um eine bessere Vergleichbarkeit der klimatischen Verhältnisse zu gewährleisten, wurden die Energieverbräuche dieser Periode zur Einschätzung der Streubreite des Nutzerverhaltens (Kapitel 6.3.3) verwendet.

Tabelle 7 Zusammenstellung der für die Berechnung der Nutzungsphase verwendeten Module "Erdgas in Heizung" aus ECOPRO. Sie basieren auf entsprechenden Modulen aus Frischknecht et al. (1997).

Hausvariante	Heizanlagentyp (Reiß und Erhorn 1994)	Heizanlagentyp, Modul in ECOPRO
Referenzhaus	NT-Gaskessel mit atm. Brenner	Erdgas atm, <100 kW
Haus A	Gastherme	Erdgas atm, <100 kW
Haus B	Gasbrennwerttherme	Erdgas LowNOx KOND, <100 kW
Haus CI	NT-Gaskessel mit atm. Brenner	Erdgas atm, <100 kW
Haus CII	Gasbrennwertkessel	Erdgas LowNOx KOND, <100 kW
Haus DI	Gasbrennwertkessel mit Gebläsebrenner	Erdgas Gebläsebr. LowNOx <100 kW
Haus DII	Elektroheizkörper	Strom Niederspannung - Bezug in UCPT
Haus E	Gastherme	Erdgas atm, <100 kW

Tabelle 8 Vergleich der Umweltbelastungen verschiedener Heizungssysteme für die Bereitstellung von 1 TJ Endenergie. Die Belastungen wurden jeweils relativ zur Belastung durch eine konventionelle Gasheizung (Erdgas in Heizung atm. Brenner <100 kW) berechnet.

Kriterium	Strom Niederspannung - Bezug in UCPT	Erdgas in Heizung atm. LowNOx Brennwert <100kW	Erdgas in Heizung Gebläsebr LowNOx <100kW	Erdgas in Heizung atm. Brenner <100 kW
PEB nicht erneuerbar	2,68	1	1,01	1
PEB erneuerbar	13,51	1	1,48	1
Treibhauspotenzial	2,36	1	1	1
Ozonabbau	8,37	1	1,01	1
Versauerung	13,56	0,76	0,73	1
Überdüngung	3,66	0,66	0,61	1
Sommersmog	1,44	0,97	0,98	1
Wintersmog	28,84	1	1,02	1
Karzinogene Subst.	0,58	1	1	1
Schwermetalle	19,29	1	1,05	1
Öko-Indikator	7,65	0,95	0,95	1

Die Einzelmessungen erfolgten in der Heizperiode 1991/92

Tabelle 7 gibt eine Übersicht die Heizungssysteme, die für die Berechnung der Varianten verwendet wurden. In Tabelle 8 sind die relativen Belastungen der verschiedenen Systeme im Verhältnis zu einem konventionellen Gasheizung dargestellt.

5.2 Computergestützte Bilanzierung mit *ECOPRO*

5.2.1 Beschreibung des Programms

Die Gebäude wurden mit Hilfe des EDV-Programms *ECOPRO* bilanziert. *ECOPRO* stellt eine computergestützte Anwendung der Ökobilanz-Methode entsprechend SETAC auf Gebäude dar. *ECOPRO* ist auf der Basis von EXCEL programmiert. Grundlage für die Beschreibung des Programms sind neben dem Programm selbst die folgenden Quellen Kohler et al. (1996), Kohler (1996), Klingele und Kohler (1996) und Kohler und Klingele (1996). Weiterhin wurde das ebenfalls am ifib entwickelte Programm *Elementmaker* (Version 7/98) verwendet, welches die individuelle Definition von Elementen ermöglicht (vergleiche Abbildung 5).

Es handelt sich bei der verwendeten Version (7/98) von *ECOPRO* um einen Prototypen, der am Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe (ifib) entwickelt wurde (u.a. Kohler et al. 1996). *ECOPRO* wurde als Planungshilfsmittel für Architekten und andere Planer entwickelt und soll die Berücksichtigung sowohl ökonomischer, energetischer als auch ökologischer Kriterien in der Projektierungsphase von Gebäuden ermöglichen. Es wird dabei eine weitestgehende Übereinstimmung mit den zur Zeit üblichen Planungsabläufen angestrebt. Das Verfahren basiert auf der Kombination existierender Leistungsbeschreibungen und Elementkosten mit Simulationsresultaten und Forschungsergebnissen der Umweltauswirkungen von Bauelementen und Bauprozessen. Die Elementkostengliederung wird als durchlaufende Systematik über den Planungsprozess hinaus auf den gesamten Lebensweg von Gebäuden ausgeweitet.

Insgesamt wurden am ifib zwei computergestützte Instrumente entwickelt: *ECOPT*, welches die Phasen Problemanalyse und teilweise Vorstudie während des Planungsprozesses unterstützt; das Planungsinstrument *ECOPRO* dagegen unterstützt die Projektierungsphase. Auf *ECOPT* wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen, da dieses Instrument für das Fallbeispiel nicht verwendet wurde. Weitere Informationen dazu siehe z.B. Kohler et al. (1996). *ECOPRO* ist als Instrument zum Vergleich von Projektvarianten in der Projektierungsphase gedacht. Resultat dieser Planungsstufe ist die Auswahl einer Projektvariante als Vorgabe für den nächsten Planungsschritt. Gleichwohl kann dieses Instrument

auch zur posthumen Analyse von Gebäuden benutzt werden, wie es z.B. im vorliegenden Fallbeispiel geschehen ist. Nachteil einer nachträglichen Analyse ist sicherlich der größere Arbeitsaufwand, da die Unterlagen separat aufbereitet werden müssen.

Es können maximal vier verschiedene Gebäudevarianten gleichzeitig bearbeitet und miteinander verglichen werden. Eine dieser Varianten wird dabei als Referenzvariante gewählt, zu der die anderen drei Varianten in Relation gesetzt werden.

Es stehen insgesamt 23 Wirkungskriterien zur Auswahl, sowie der Öko-Indikator und die Kosten. Im Folgenden wird zusammenfassend die Bezeichnung Kategorie verwendet. In *ECOPRO* können gleichzeitig sechs verschiedene Kategorien ausgewählt und angezeigt werden. Die Ergebnisse stehen zum einen in Tabellenform (Übersicht oder detaillierte Tabelle) zur Verfügung. Außerdem bietet *ECOPRO* mehrere Diagramme zur Darstellung der Ergebnisse an. Im einzelnen wird damit ermöglicht, die Anteile

- der verschiedenen Phasen,
- der verschiedenen Elementkategorien am Gesamtgebäude und
- der verschiedenen Elemente an einer Elementkategorie

bezüglich der ausgewählten Kategorien in tabellarischer Form und bildlich darzustellen. Auf gesonderten Tabellenblättern ist die Ermittlung des Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitung abrufbar. Ebenso die Elementliste und eine Beschreibung des Gebäudes.

ECOPRO erstellt die Ökobilanz auf der Basis der vom Anwender eingegebenen Daten zu den jeweiligen Gebäudevarianten. Die zur Berechnung notwendigen Angaben sind in Abbildung 4 dargestellt und nachfolgend erläutert.

Prinzipiell ist die Eingabe des Standorts eines Gebäudes mit der Verwendung der entsprechenden Klimadaten für die Berechnung des Heizwärmebedarf durch *ECOPRO* gekoppelt. Allerdings stehen momentan nur sechs verschiedene Standorte in Deutschland zur Auswahl (Frankfurt, Freiburg, Hannover, Hof, München, Würzburg).

Die Gebäudelebensdauer bestimmt gleichzeitig die Nutzungsdauer sowie die Anzahl der Unterhalts- und Erneuerungszyklen der verschiedenen Bauelemente. Bei der Eingabe eines Gebäudealters größer Null wird die Neubauphase aus der Berechnung herausgenommen, da angenommen wird, dass das Gebäude zum Betrachtungszeitpunkt schon besteht.

Die Eingabe der frei wählbaren Distanzen zum Baustoffhandel ist notwendig, damit *ECOPRO* die Auswirkungen der Transporte von Bauprodukten zur Baustelle ermitteln kann.

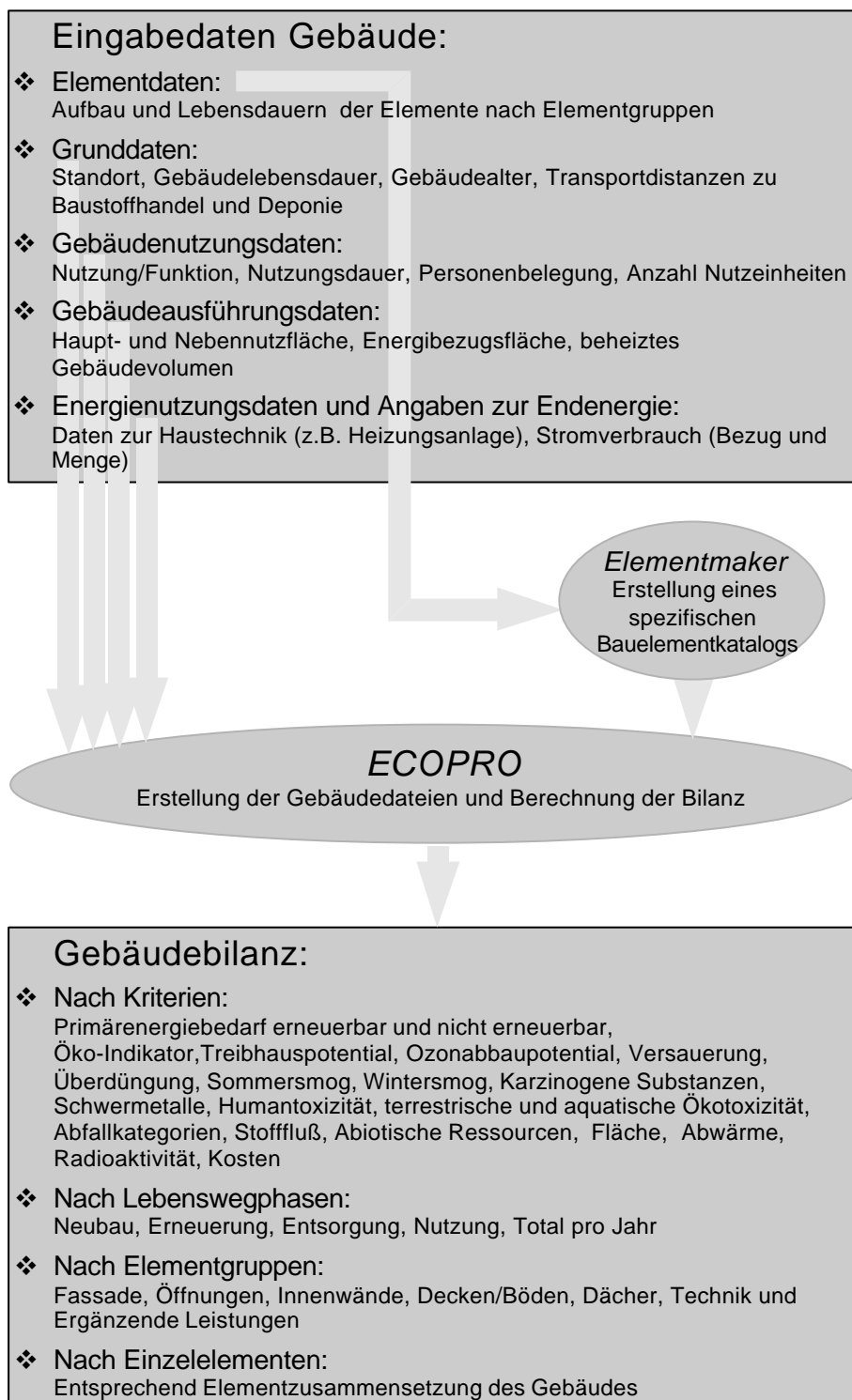


Abbildung 4 Erstellung einer Gebäudebilanz mit Hilfe der Programme *Elementmaker* und *ECOPRO*

Die Energienutzungsdaten und die Angaben zur Endenergie spezifizieren den Anlantentyp für Heizung und Warmwasserbereitung sowie den Bezug von Elektrizität (z.B. Niederspannung Bezug UCPT). Dies ist eine weitere Grundlage der Berechnung der Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase.

Momentan enthält der Elementkatalog von *ECOPRO* ca. 420 Elemente in sieben Elementkategorien, aus denen ausgewählt werden kann. Im einzelnen handelt es sich um die Kategorien Fassade, Öffnungen, Innenwände, Decken/Böden, Dächer, Technik sowie Ergänzende Leistungen. Es besteht die Möglichkeit zur Zusammenfassung mehrerer Elemente zu einem Makroelement. Außerdem können eigene Elemente mit Hilfe des Programms *Elementmaker* definiert werden.

Jedes Element ist entweder über seine Fläche (m² Elementfläche) oder eine andere passende Einheit quantifiziert (z.B. Stückzahl).

5.2.2 Wirkungsbilanz und Bewertung in *ECOPRO*

Tabelle 9 In *ECOPRO* stehen folgende 24 Kategorien zur Verfügung (Öko-Indikator siehe unten):

Kriterium	Einheit
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	[TJ]
Primärenergiebedarf erneuerbar	[TJ]
Treibhauseffekt (Zeithorizont 100 Jahre)	[kg CO ₂ -Äquivalent]
Versauerung	[kg SO ₂ -Äquivalent]
Ozonabbau	[kg CFC11]
Überdüngung	[kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalent]
Sommersmog	[kg Ethylen-Äquivalent]
Wintersmog	[kg SO ₂ -Äquivalent]
Karzinogene Substanzen	[kg PAH-Äquivalente]
Schwermetalle	[kg Pb-Äquivalent]
Humantoxizität	[kg Körpergewicht kritisch belastet während einem Tag]
Aquatische Ökotoxizität	[m ³ Wasser]
Terrestrische Ökotoxizität	[kg Boden]
Abfälle in Inertstoffdeponie ⁷	[m ³]
Abfälle in Reststoffdeponie	[m ³]
Abfälle in Reaktordeponie ⁸	[m ³]

⁷ Inerte Bauabfälle (gemäß Technische Verordnung für Abfälle, Artikel 32, Anhang I Ziffer 11): Stoffe, die den Anforderungen der TVA auf Inertstoffdeponien abgelagert werden dürfen. Sie dürfen nicht mit Sonderabfällen vermischt sein und müssen zu mindestens 90 Gewichtsprozenten aus Steinen oder gesteinsähnlichen Bestandteilen bestehen, dürfen die Grenzwerte für Schwermetalle nicht überschreiten und müssen die Eluattests erfüllen.. Inerte Bauabfälle sind primär zu verwerten, wobei vorher ihr Verhalten als Sekundärrohstoff zu prüfen ist (Steiger et al. 1995).

Kriterium	Einheit
Abfälle in Kehrichtverbrennungsanlage	[m ³]
Abfälle in Sonderabfallverbrennungsanlage	[m ³]
Stofffluss (nur Input)	[kg]
Verbrauch abiotischer Ressourcen	[kg Sb-Äquivalent]
Abwärme	[TJ]
Radioaktivität	[kBq]
Fläche	m ² a
Kosten	CHF

Als Bewertungsverfahren steht im Programm die Methode nach Goedkoop (1995) zur Verfügung (siehe Kapitel 4.2.6.5):

Öko-Indikator 95	[Ökopunkte]
------------------	-------------

Da außer dem Kriterium Pestizide⁹ alle Einzelkriterien vorhanden sind, die zur Berechnung des Öko-Indikators verwendet werden, lassen sich die aggregierten Ergebnisse nachvollziehen. Insbesondere lässt sich auch der Normalisierungs- und Gewichtungsschritt separat durchführen.

5.2.3 Datengrundlage

Die Programme *ECOPRO* und *Elementmaker* arbeiten auf der Basis von Wirkungsbilanzdaten und den vollaggregierten Ökopunkten (Öko-Indikator 95). In Abbildung 5 ist schematisch der Verlauf der Datenbearbeitung dargestellt.

Die Sachbilanzdaten für Baustoffe und Energiebereitstellung stammen aus Frischknecht et al. (1997) und Universität Karlsruhe (TH) ifib et al. (1995). Ihnen liegt jeweils der UCPT-Strömungsmix zu Grunde.

Die Berechnung der im Fallbeispiel verwendeten Wirkungsbilanzdaten (siehe Kapitel 5.2.3.3) erfolgte am ifib auf der Basis der Sachbilanzen entsprechend der Charakterisierungsfaktoren aus Goedkoop (1995; Bieber, 1998, mündliche Mitteilung). Für die Kategorien Primärenergiebedarf erneuerbar und nicht erneuerbar, Abwärme, Fläche und Radioaktivität werden die in der Sachbilanz

⁸ Reaktordeponie: Deponie, in der aufgrund des vorhandenen organischen Materials mikrobiologische Abbauprozesse stattfinden, welche zu Gasen und belasteten Sickerwässern führen, die nachbehandelt werden müssen. Auf Reaktordeponien dürfen (gemäß Technische Verordnung für Abfälle, Artikel 32, Anhang I Ziffer 12) Bauabfälle abgelagert werden, die nicht auf Inertstoffdeponien abgelagert werden können und nicht mit Sonderabfällen vermischt sind, sowie Bau- und Siedlungsabfälle, welche mangels Anlagenkapazität nicht anders behandelt werden können (Steiger et al. 1995).

⁹ Das Kriterium Pestizide ist nicht mit Daten hinterlegt und weist deshalb für alle Bauelemente einen Wert von Null auf. Aus diesem Grund wurde es nicht in die Kriterienliste von Ecopro aufgenommen (Biber, 1998, mündliche Mitteilung).

schon unter diesen Kategorien vorhandenen Daten jeweils addiert. Die Sachbilanzdaten selbst stehen jeweils nicht zur Verfügung.

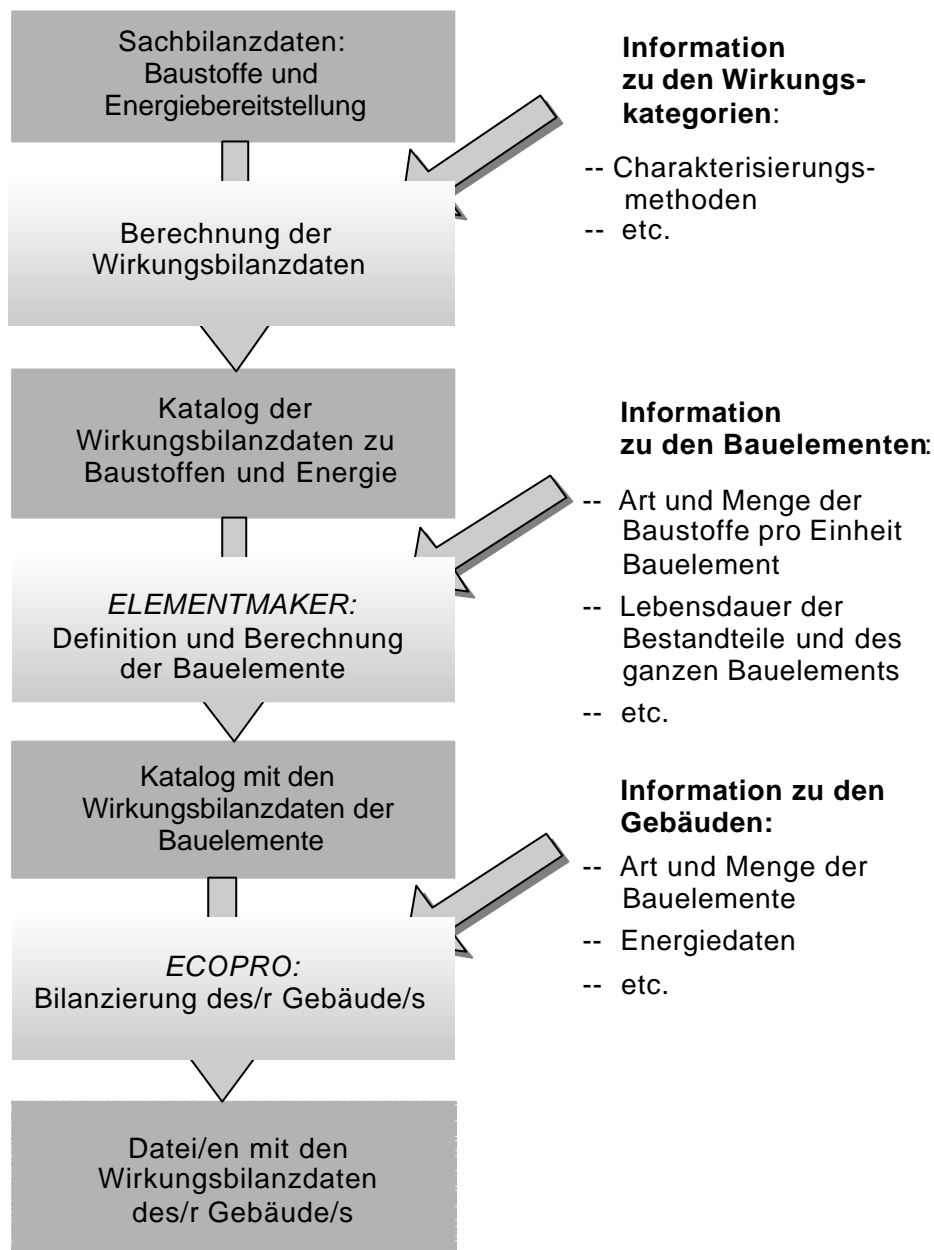


Abbildung 5 Schema der Datenbearbeitung von den Sachbilanzdaten zu Baustoffen und Energiebereitstellung bis zur Wirkungsbilanz eines gesamten Gebäudes. Nach demselben Prinzip verläuft die Bewertung mit dem Öko-Indikator. Zusatzinformationen sind jeweils auf Ebene der Wirkungskategorien, der Bauelemente und der Gebäude erforderlich.

Im nächsten Schritt wird mit Hilfe des Programms *Elementmaker* anhand der Informationen zu den verwendeten Elementen ein spezifischer Elementkatalog erstellt. *ECOPRO* berechnet auf der Basis dieses Elementkatalogs und der

Eigenschaften des zu bilanzierenden Gebäudes seine Wirkungsbilanz. Nach demselben Prinzip verläuft die Bewertung mit dem Öko-Indikator.

Für Bauprozesse sind nur beschränkt Daten verfügbar. Über die Kosten eines Bauprozesses werden anteilig die Umweltbelastungen ermittelt. Abhängig vom jeweiligen Gewerk zu dem ein Prozess zugerechnet wird (z.B. Malerarbeiten) und dem gemäß nationaler Statistik erfolgten Energieverbrauch und Umsatz dieses Gewerks wird eine entsprechende Belastung pro Geldeinheit angerechnet (Biber 1998, mündliche Mitteilung). Die Kosten für einen bestimmten Prozess müssen entsprechend DIN oder CRB eingegeben werden. Es handelt sich nur um eine sehr grobe Näherung der tatsächlichen Belastungen.

Aufgrund dieser Ungenauigkeiten wird die Bilanzierung des Fallbeispiels ohne Bauprozesse durchgeführt.

5.2.4 Kritische Würdigung von *ECOPRO*

ECOPRO und sein Unterprogramm *Elementmaker* sind EDV-Werkzeuge, welche die Ermittlung der Umweltauswirkungen von Gebäuden über alle Lebenswegphasen eines Gebäudes ermöglichen. Die Ergebnisse sind auf Element- als auch auf Elementgruppenebene nach Phasen differenziert zugänglich.

Liegen dem Nutzer alle Daten zum Gebäude vor und sind die verwendeten Bauelemente mit Baustoffdaten hinterlegt, so ist die Erstellung einer Gebäudebilanz mit angemessenem Aufwand möglich. Der Anwender kann aus einem bestehenden Elementkatalog mit ca. 420 Bauelementen auswählen. In diesen Katalog sind Aufwendungen zu Erneuerung und Unterhalt, sowie Entsorgung schon integriert.

Es ist aber auch möglich, mit Hilfe des Programms *Elementmaker* die vorhandenen Elemente zu bearbeiten (z.B. hinsichtlich Lebensdauern, Schichtdicken) oder eigene Bauelemente zu definieren und so individuelle Bauprojekte in *ECOPRO* zu bearbeiten. Im *Elementmaker* können außerdem fehlende Baustoffdaten ergänzt oder vorhandene aktualisiert werden.

Dass die Sachbilanzdaten in *ECOPRO* nicht zur Verfügung stehen, verhindert zwar die Identifikation von Schwachstellen auf dieser Ebene. Es hält aber auch die Bilanzierung übersichtlich. Insofern ist dies kein wirklicher Nachteil.

Die Aktualisierung der Datengrundlage ist einfach möglich. Nicht möglich ist dagegen die Ergänzung anderer Wirkungskategorien.

Tabelle 10 Abschließende Einschätzung des Programms *ECOPRO* (einschließlich *Elementmaker*) (Version 7/98).

Aspekt	Einschätzung
Anwendung	Das Prinzip des Programms ist leicht nachvollziehbar. Die Programmoberflächen sind benutzerfreundlich. Nachteilig ist die relativ niedrige Geschwindigkeit.
Dokumentation	<i>ECOPRO</i> : nur mit Manual nicht ausreichend Baustoffe und Energiebereitstellung: Frischknecht et al. 1997: gut Universität Karlsruhe (TH) ifib, HAB Weimar et al. 1995: gut Prozesse: Datenerhebung nicht dokumentiert haustechn. Anlagen: Datenerhebung nicht dokumentiert
Datengrundlage	Baustoffe und Energiebereitstellung: (Frischknecht, Hofstetter et al. 1997) und überarbeitete Version von (Universität Karlsruhe (TH) ifib, HAB Weimar et al. 1995): Datenqualität gut Allerdings wird die Vielfalt der auf dem Markt erhältlichen Produkte mangels entsprechend differenzierter Daten nicht abgebildet. Prozesse: grobe Näherungswerte haustechnische Anlagen: grobe Näherungswerte
Sachbilanzdaten	Stehen nicht zur Verfügung. Dies entspricht nicht den Anforderungen der ISO 4040, ermöglicht aber eine größere Übersichtlichkeit des Programms.
Wirkungsbilanz	In der Wirkungsbilanz stehen sehr viele (25) Kategorien zur Verfügung; dies kann zu einer Überforderung bei der Anwendung führen. Neben dem Öko-Indikator stehen bis auf die Pestizide alle in ihm aggregierten Einzelkriterien zur Verfügung.
Aktualisierung und Ergänzung	Die Aktualisierung und Ergänzung von Wirkungsbilanzdaten zu Baustoffen und zur Energiebereitstellung ist mit etwas Aufwand möglich.
Ergänzung von (Wirkungs-)Kategorien	Nicht möglich
Recycling	Für Material, welches beim Output recycelt wird, wird in <i>ECOPRO</i> keine Entsorgung berechnet. Für diesen Anteil fällt damit automatisch auch der anteilige Transport zur Entsorgungsstelle weg. Der Recyclinganteil kann individuell festgelegt werden.
Berücksichtigung technischer Entwicklungen über die Lebensdauer eines Gebäudes	Nicht möglich

Die abschließenden Einschätzungen zum Programm sind in Tabelle 10 dargestellt.

Dem Anwender stehen in der Gebäudebilanz insgesamt 25 sehr unterschiedliche Kategorien zur Auswahl, die z.T. nur wenig aussagekräftig sind. Es besteht die Gefahr einer Überforderung, da der Anwender selbst auswählen muss.

Günstig für die Transparenz und Interpretation der Ergebnisse ist die Verwendung einer relativ einheitlichen Datengrundlage. Nachteilig ist allerdings die schlechte Dokumentation der Überarbeitung von (Universität Karlsruhe (TH) ifib, HAB Weimar et al. 1995). Besonders schlecht dokumentiert sind die Berechnungsverfahren für haustechnische Anlagen. Diese wurden entsprechend der auf dem Markt befindlichen Anlagen als Durchschnittswerte berechnet. Bezugsjahr und -raum fehlen. Das gleiche gilt für die Bauprozesse, auch die „Belastungsfranken“ sind nicht dokumentiert. Diese erschwert die Einschätzung der Daten und letztlich die Interpretation der Ergebnisse.

Dynamische Entwicklungen, wie die Veränderung von technischen Standards bei der Herstellung von Baumaterialien über die Lebensdauer eines Gebäudes werden nicht berücksichtigt. Da die Berechnung entsprechender Szenarien interessante Aufschlüsse geben kann, wäre es nützlich, bei der Weiterentwicklung des Programms diesen Punkt einzubeziehen.

5.3 Wirkungsbilanz und Bewertung im Fallbeispiel

5.3.1 Auswahl der Wirkungskategorien

Für die Bilanzierung des Fallbeispiels wurden aus den in *ECOPRO* prinzipiell verfügbaren 24 Kriterien (siehe Tabelle 9) 13 ausgewählt (siehe Tabelle 11). Dahinter steht die Erkenntnis, dass eine vergleichende Bewertung um so einfacher und transparenter ist, je geringer die Anzahl der einbezogenen Kriterien ist (siehe Kapitel 4.2.6). Sie sollte andererseits noch so umfangreich sein, dass die relevanten Umweltproblemfelder (siehe Kapitel 4.2.5), für deren Abbildung es eine ausreichende Grundlage gibt, einbezogen werden.

Die Auswahl erfolgte nach folgenden Kriterien (vergl. Kapitel 4.2.5.2):

- Es sollten möglichst alle als relevant angesehenen Umweltproblemfelder einbezogen werden. Da das Bewertungsverfahren mit dem Öko-Indikator verwendet wird, werden zur besseren Transparenz alle im Öko-Indikator enthaltenen Einzelkriterien berücksichtigt. Dies schließt auch Kriterien ein, deren Berechnungsverfahren momentan noch umstritten sind (z.B. Sommersmog)

Tabelle 11 Übersicht über die 13 im Fallbeispiel verwendeten Wirkungskriterien.

Kriterium	Einheit
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	[TJ]
Primärenergiebedarf erneuerbar	[TJ]
Treibhauseffekt (Zeithorizont 100 Jahre)	[kg CO ₂ -Äquivalent]
Versauerung	[kg SO ₂ -Äquivalent]
Ozonabbau	[kg CFC11]
Überdüngung	[kg PO ₄ ³⁺ -Äquivalent]
Sommersmog	[kg Ethylen-Äquivalent]
Wintersmog	[kg SO ₂ -Äquivalent]
Karzinogene Substanzen	[kg PAH-Äquivalente]
Schwermetalle	[kg Pb-Äquivalent]
Abfälle in Inertstoffdeponie	[m ³]
Abfälle in Kehrichtverbrennungsanlage	[m ³]
Stofffluss (nur Input)	[kg]

- Entsprechend der Fragestellung geht es im Fallbeispiel nur um Umweltauswirkungen; die Kategorie Kosten wird deshalb nicht einbezogen.
- Die relevanten Umweltproblemfelder sollen abgedeckt werden, sofern es eine anerkannte und aussagekräftige Charakterisierungsmethode gibt. Da es dies für toxikologische Kriterien noch nicht gibt, werden Humantoxizität und Ökotoxizität (aquatisch und terrestrisch) nicht einbezogen, ebenso die Kategorie Fläche und der Verbrauch abiotischer Ressourcen.
- Die Kategorien Abwärme und Radioaktivität lassen sich momentan nicht aussagekräftig interpretieren, deshalb werden sie nicht einbezogen.
- Die Datenhinterlegung ist für die Kategorien Abfälle in Reststoffdeponie, Reaktordeponie und in Sonderabfallverbrennungsanlage ungenügend. Von einer Berücksichtigung wird deshalb abgesehen.

5.3.2 Bewertung

Ergänzend zum Öko-Indikator wurden die Wirkungskriterien auch mit den modifizierten Reduktionsfaktoren nach Braunschweig et al. (1996) gewichtet. Dazu werden in einem ersten Schritt die Werte der Einzelkriterien (Liste siehe Tabelle 12) anhand der jährlichen pro-Kopf Emissionen in Europa normalisiert. Die normalisierten Werte werden weiter mit den zur Verfügung stehenden Gewichtungsfaktoren (Öko-Indikator und alternative Reduktionsfaktoren) gewichtet.

Tabelle 12 Überblick über die Normalisierungs- und Reduktionsfaktoren, die Bewertungen der Wirkungskategorien zugrunde liegen. Quelle: Goedkoop (1995, Seite 36 und 41) und Braunschweig et al. (1996, Seite 237).

Wirkungskategorien	Einheit	Normalisierungsfaktoren [kg Emission pro Kopf in Europa]	Unsicherheit der Normalisierungsfaktoren	Öko-Indikator Goedkoop (1995)	Altern. Reduktionsfaktoren nach Braunschweig et al. (1996)
GWP	kg CO ₂ -Äquivalent	13.100	gering	2,5	5
ODP	kg R11-Äquivalent	0,93	groß	100	10
Versauerung	kg SO ₂ -Äquivalent	113	gering	10	5
Überdüngung	kg PO ₄ -Äquivalent	38,2	moderat	5	2,5
Sommersmog	kg Ethylen-Äquivalent	17,9	groß	2,5	5
Wintersmog	kg SO ₂ -Äquivalent	94,6	klein	5	5
Karzinogene Substanzen	kg PAH-Äquivalent	0,0109	groß	10	10
Schwermetalle	kg Pb-Äquivalent	0,0543	groß	5	5

Dies ermöglicht einerseits das Nachvollziehen der von *ECOPRO* ermittelten Öko-Indikator-Werte. Andererseits wird zum Vergleich eine weitere Vollaggregation vorgenommen.

Eine Möglichkeit auch die Methode der Umweltbelastungspunkte anzuwenden, um sowohl die Ergebnisse als auch die verwendeten Bewertungsmethoden besser beleuchten zu können, besteht dagegen nicht.

Normalisierung:

$$N_{px} = B_{px}/E_x$$

B_{px} : Beitrag eines Produktes zur Wirkungskategorie x

E_x : pro Kopf Emission der Wirkungskategorien x in Europa

N_{px} : Normalisierter Beitrag eines Produktes zur Wirkungskategorie x

Im nächsten Schritt erfolgt die Gewichtung der verschiedenen Wirkungskategorien mit Hilfe von Reduktionsfaktoren. Die Faktoren repräsentieren einen Zielwert, der die zugrunde gelegten Schutzgüter menschliche Gesundheit und Ökosystemgesundheit nachhaltig sichern soll.

Die normalisierten Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien werden mit den entsprechenden Reduktionsfaktoren multipliziert. Die so erhaltenen gewichteten Punktzahlen werden für alle Wirkungskategorien ermittelt und aufaddiert zu einem Gesamtpunktzahl für ein bestimmtes Produkt.

$$I_p = \sum_x N_{px} \times R_x$$

I_p : Gesamtindikatorwert eines Produktes

R_x : Reduktionsfaktor für die Wirkungskategorie x

Wie anfangs angedeutet werden im Fallbeispiel zwei verschiedene Gruppen von Reduktionsfaktoren verwendet. Beide sind in Tabelle 12 dargestellt. Die Reduktionsfaktoren aus dem Öko-Indikator wurden Goedkoop (1995) entnommen.

Die alternativen Reduktionsfaktoren stammen aus Braunschweig et al. (1996). Sie sind als Modifikation des Öko-Indikators entstanden. Motiviert war die Veränderung durch eine andere Einschätzung der notwendigen Reduktion von Umweltauswirkungen zur Erreichung der Zielwerte. Dazu beigetragen hat aber auch die Überlegung, dass besonders hohe Reduktionsfaktoren wie der Wert 100 für das Ozonabbaupotenzial bei der Anwendung des Öko-Indikators einen unverhältnismäßig hohen Einfluss auf den Gesamtindikatorwert besitzen können. Sie werden unter Umständen allein ausschlaggebend für das Ergebnis, was die reale Situation nicht korrekt widerspiegelt bzw. kein befriedigendes Ergebnis darstellt.

So unterscheiden sich die alternativen Reduktionsfaktoren vom Öko-Indikator in erster Linie durch einen wesentlich kleineren Reduktionsfaktor für das Ozonabbaupotenzial. Hierdurch gewinnen die anderen Wirkungsfaktoren relativ an Gewicht. Außerdem werden die Reduktionsfaktoren für das Treibhauspotenzial und den Sommersmog erhöht, diejenigen für Versauerung und Überdüngung verringert.

6. Ergebnis der Bilanzierung

6.1 Wirkungsbilanz

6.1.1 Gesamtergebnis nach Kriterien

6.1.1.1 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar

Der Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie über die gesamte Lebensdauer der untersuchten Gebäude liegt zwischen 5,34 TJ (Haus A) und 11,42 TJ (Haus DII). In Tabelle 13 ist der absolute Bedarf sowohl für die Gesamtgebäude als auch bezogen auf die Energiebezugsfläche und ein Jahr dargestellt. Daneben sind die Relationen der Varianten zum Referenzhaus für beide Bezugsgrößen enthalten.

Bis auf Haus DII weisen alle anderen Varianten einen deutlich geringeren Energiebedarf als das Referenzhaus auf. Der hohe Energiebedarf des Niedrigenergiehauses DII erklärt sich dadurch, dass es mittels Elektroöfen beheizt wird. Infolge des vergleichsweise schlechten Wirkungsgrades der Stromerzeugung kommt es deshalb zu relativ hohen Belastungen.

Wird der Energiebedarf nicht auf ein Gesamtgebäude sondern auf die jeweilige Energiebezugsfläche bezogen, so ergeben sich durch die unterschiedlichen Größen der Energiebezugsflächen im Vergleich der Varianten untereinander leicht veränderte Positionen. Dies wirkt sich insbesondere auf die relative Position von Haus C aus, welches die größte Energiebezugsfläche aller Varianten besitzt (200 m² im Vergleich zu 177 m² des Referenzhauses). Auf das Gesamtgebäude bezogen, liegt der Wert von Haus C um 30 Prozent besser als das Referenzhaus, bezogen auf die Energiebezugsfläche aber um 38 Prozent. Bei den anderen Varianten bewegen sich diese Unterschiede im Bereich zwischen 0 und 4 Prozent.

Tabelle 13 Primärenergiebedarf nicht erneuerbar. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie die ihre Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [TJ]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [GJ/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	10,09	100	0,71	100
Haus A	5,34	53	0,38	53
Haus B	6,56	65	0,46	65
Haus C	7,09	70	0,44	62
Haus DI	6,50	64	0,44	62
Haus DII	11,42	113	0,78	109
Haus E	7,48	74	0,51	71

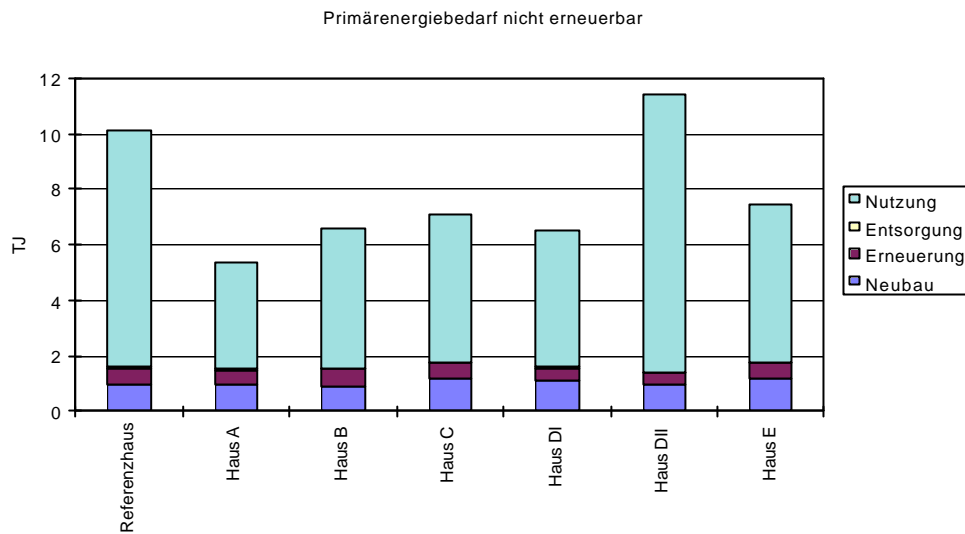


Abbildung 6 Anteil der Phasen am Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energie.

In allen Varianten überwiegt deutlich der Anteil der Nutzungsphase am Gesamtergebnis (siehe Abbildung 6). In dieser Phase sind die Unterschiede zwischen den Varianten auch am größten. Verursacht werden sie sowohl durch den unterschiedlichen Heizwärmebedarf (inkl. Warmwasserbereitstellung) der Gebäude als auch durch den unterschiedlichen Stromverbrauch. Die jeweiligen Anteile sind in Abbildung 7 dargestellt. Da beide Parameter unabhängig voneinander auftreten können, d.h. ein geringer Heizwärmebedarf nicht zwangsläufig mit einem hohem Stromverbrauch korreliert ist und umgekehrt, verwischen sich die allein aufgrund des Heizwärmebedarfes erwarteten Unterschiede zwischen den Varianten.

Die absoluten Werte von Neubau und Erneuerung liegen zwischen 0,94 und 1,2 TJ bzw. 0,38 bis 0,59 TJ. Sie zeigen vergleichsweise geringe absolute Unterschiede. Der Anteil der Entsorgung liegt bei nur 0,03 bis 0,04 TJ und ist in Abbildung 6 gar nicht mehr als eigene Bande zu erkennen.

Ursache für die Auswirkungen der Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung sind die Elemente, aus denen die Gebäude zusammengesetzt sind. Die Anteile der einzelnen Elementgruppen an ihrem Gesamtbeitrag sind in Abbildung 8 zu sehen. Als wichtigste Elementgruppe fallen „Decken/Böden“ auf. Sie verursachen mit 0,58 bis 0,69 TJ zwischen 36 und 45 Prozent des Energiebedarfs aller Elementgruppen der einzelnen Varianten. Die Unterschiede sind nur gering. Offensichtlich wirkt sich die Verschiedenheit der Decken (Stahlbeton-, Holzbalken- bzw. Porenbetondecken) weniger stark aus als die in allen Varianten in ähnlicher Menge vorhandenen gleichartigen Elemente (z.B. Kellerboden, Fußbodenbeläge). Als besonders auffällig erweist sich dabei das Element M3 3_1005 Textiler Bodenbelag Wohnen (5 mm Polypropylen, 1mm

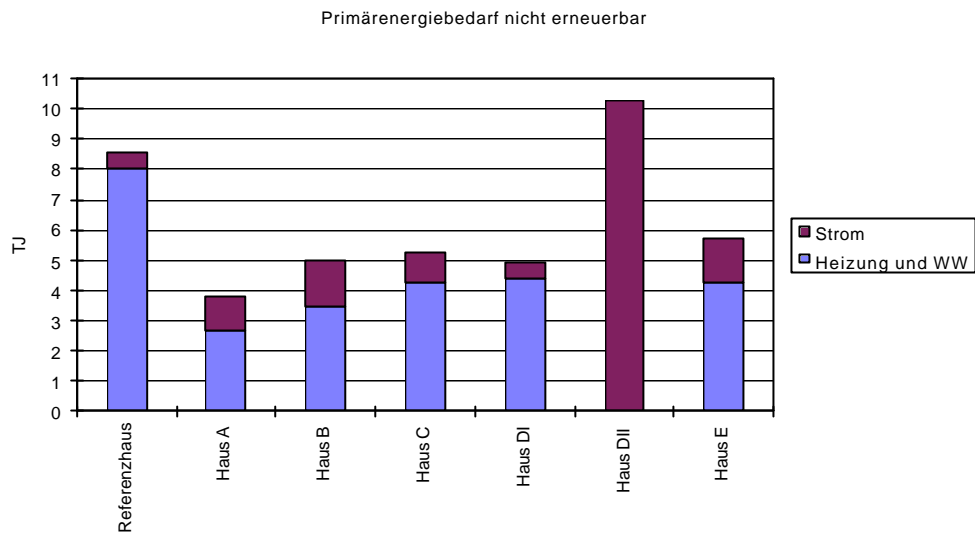


Abbildung 7 Anteil von Stromverbrauch sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) während der Nutzungsphase.

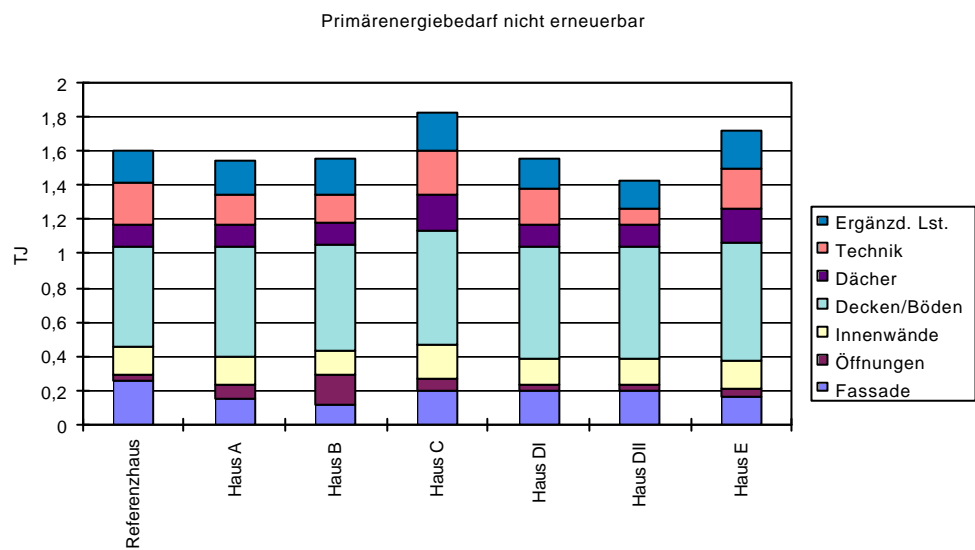


Abbildung 8 Anteil der Elementgruppen am Primärenergiebedarf (nicht erneuerbar) über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

Kleber), welches jeweils für ca. 50 Prozent des Energiebedarfs der Elementgruppe Decken/Böden verantwortlich ist. Infolge seiner kurzen Lebensdauer von nur 10 Jahren muss es insgesamt 7 Mal ersetzt werden, was zu einer entsprechend hohen Belastung führt.

Die Elementgruppe Öffnungen hat nur einen geringen Anteil am Ergebnis. Haus B mit Dreischeiben-Wärmeschutzfenstern (PVC-Rahmen) weist den höchsten Wert auf. Am

niedrigsten sind dagegen die Werte von Haus DI und DII. Dies liegt sowohl an der relativ kleinen Fensterfläche als auch an den weniger aufwendigen Zweischeiben-Wärmeschutzfenstern (Holzrahmen).

Die Elementgruppe Technik in Haus DII fällt durch ihre geringe Belastung auf. Dieses Ergebnis kann dadurch erklärt werden, dass Haus DII weder einen Kamin noch einen Heizkessel besitzt. Es wird über Elektroeinzelöfen beheizt.

6.1.1.2 Primärenergiebedarf erneuerbar

Die Analyse der Gesamtergebnisse für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar lässt erkennen, dass sich die untersuchten Gebäude in drei Gruppen ordnen lassen: Das Referenzhaus, Haus A und Haus B mit praktisch identischen Gesamtwerten von 0,55 TJ (Haus A) bis 0,58 TJ (Referenzhaus). Die Häuser C und E mit 33 bzw. 29 Prozent niedrigeren Werten als das Referenzhaus. Dagegen liegen die Werte der Haushälften DI und DII mit 51 bzw. 156 Prozent deutlich höher als das Referenzhaus.

Es fällt außerdem auf, dass die Werte um den Faktor 7 (Haus DI) bis 18 (Haus C und E) tiefer liegen als diejenigen für den jeweiligen Primärenergiebedarf nicht erneuerbar.

Wie in Abbildung 9 deutlich zu sehen ist, trägt die Neubauphase wesentlich zum Bedarf erneuerbarer Primärenergie bei. Sieht man von Variante DII einmal ab, so manifestieren sich während dieser Phase die Unterschiede zwischen den einzelnen Gebäuden am deutlichsten. Die Nutzungsphase hat nur für Variante DII einen erheblichen Anteil, während die Erneuerungsphase für alle Gebäude gleichermaßen wenig Einfluss hat. Die Entsorgung trägt nur minimal zum Energiebedarf bei.

Abbildung 10 zeigt die Anteile von Heizung (inkl. Warmwasserbereitstellung) und Stromverbrauch Bedarf nicht erneuerbarer Primärenergie während der Nutzungsphase. Der absolute Betrag ist um den Faktor 10 bis 20 geringer als für den nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Der Stromverbrauch beeinflusst das

Tabelle 14 Primärenergiebedarf erneuerbar. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie die ihre Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [TJ]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [GJ/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	0,58	100	0,04	100
Haus A	0,55	95	0,04	96
Haus B	0,56	97	0,04	96
Haus C	0,39	67	0,02	59
Haus DI	0,88	151	0,06	146
Haus DII	1,49	256	0,10	248
Haus E	0,41	71	0,03	68

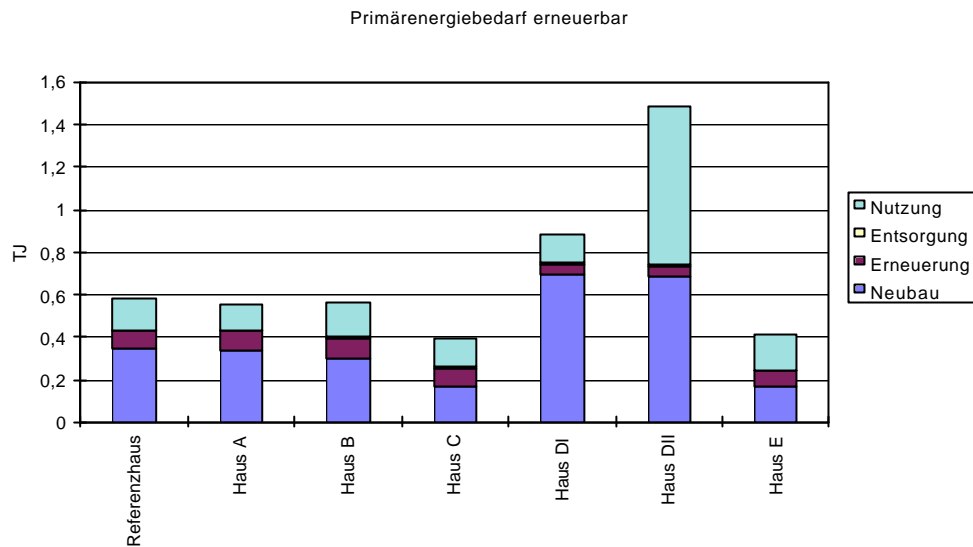


Abbildung 9 Anteil der Phasen am Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energie.

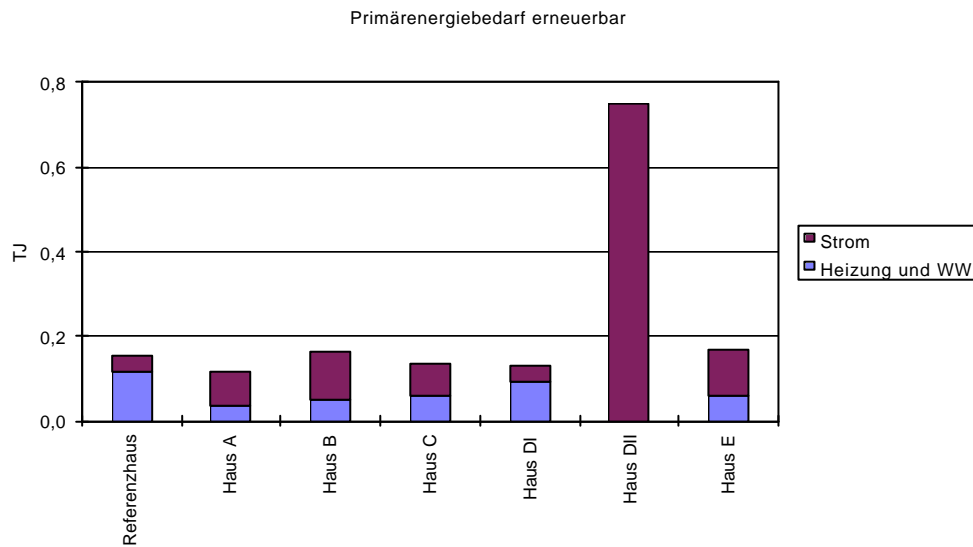


Abbildung 10 Anteil von Stromverbrauch sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Primärenergiebedarf (erneuerbar) während der Nutzungsphase.

Ergebnis relativ stärker als die Gasheizung. Pro Terajoule Nutzenergie verursacht der Stromverbrauch (Niederspannung UCPTM-Mix) einen 13,51 Mal höheren Wert für den Primärenergiebedarf erneuerbar als eine konventionelle Gasheizung.

Ein Vergleich der Bedeutung der einzelnen Elementgruppen hinsichtlich des Primärenergiebedarfs sowie der Gesamtsummen aller Varianten über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung verdeutlicht die Ursache für den Energiebedarf

(siehe Abbildung 11): Es handelt sich um eingebautes Holz, dessen Energieinhalt definitionsgemäß im Betrag des Primärenergiebedarfs erneuerbar enthalten ist.

Das Kriterium erneuerbare Energie spiegelt direkt den Gehalt an nachwachsenden Rohstoffen, in diesem Fall Holz, wieder: Die Holzkonstruktionen DI und DII weisen die höchsten, die Porenbetonkonstruktionen C und E die niedrigsten Werte auf. Das genau umgekehrte Bild ergibt sich für das Kriterium Treibhauspotenzial.

Die Gebäude mit den niedrigsten Werten, d.h. die Häuser C und E, unterscheiden sich hinsichtlich der Elementgruppen Decken/Böden sowie Dächer vom Referenzhaus. Sie besitzen weder Holzdecken, wie letzteres im Obergeschoss, noch besteht ihre Dachkonstruktion aus Holz (abgesehen von der Lattung für die Ziegeldeckung). Da die Fenster von Haus C mit Holzrahmen ausgestattet sind, resultiert die große Fensterfläche insbesondere des Wintergartens in einem relativ hohen Beitrag der Elementgruppe Öffnungen.

Bei den Varianten DI und DII handelt es sich beide Mal um Holzkonstruktionen, d.h. sowohl Decken als auch der überwiegende Außenwandbereich sind aus Holz, worauf die großen Beiträge dieser Elementgruppen zurückzuführen sind. Der relativ hohe Wert der Elementgruppe Dach resultiert daraus, dass die Dachfläche 17 Prozent größer als die des Referenzhauses ist.

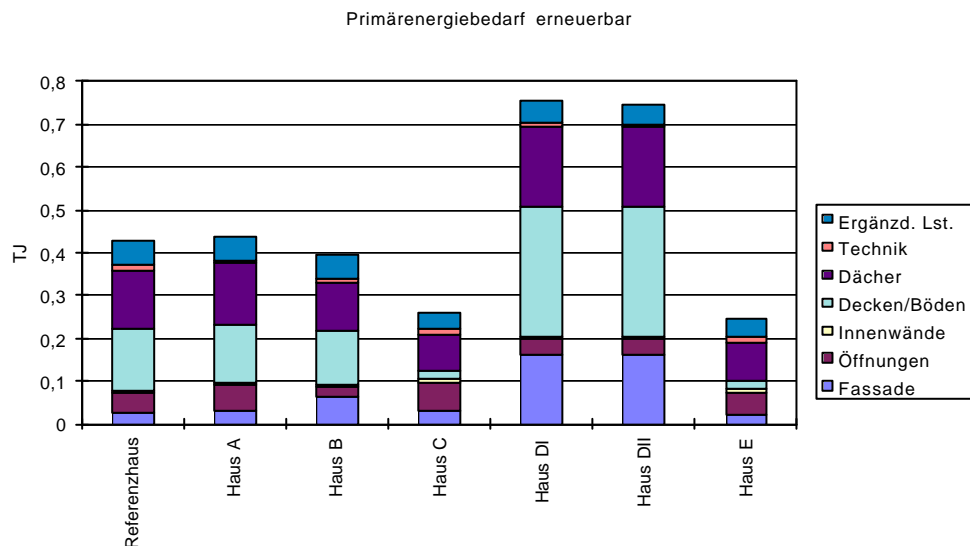


Abbildung 11 Anteil der Elementgruppen am Primärenergiebedarf (erneuerbar) über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

6.1.1.3 Treibhauspotenzial

Die Werte für das Treibhauspotenzial, dargestellt in Tabelle 15, verlaufen weitgehend parallel zum Bedarf nicht erneuerbarer Primärenergie. Entsprechend zeigt Haus A mit 297 Tonnen CO₂ Äquivalent die geringste, respektive das Referenzhaus mit 546 Tonnen CO₂ Äquivalent die höchste Belastung. Bis auf Haus DII sind alle Varianten deutlich weniger belastend als das Referenzhaus.

Wie in Abbildung 12 zu erkennen ist, ist der Einfluss der Nutzungsphase auf das Gesamtergebnis am größten. Abbildung 13 zeigt die Anteile von Heizung (inkl. Warmwasserbereitstellung) und Stromverbrauch am gesamten Treibhauspotenzial während der Nutzungsphase. Die Ergebnisse zeigen eine sehr ähnliche Verteilung wie für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar.

Tabelle 15 Treibhauspotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg CO ₂ Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [kg CO ₂ Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	546.000	100	38,56	100
Haus A	297.000	54	21,09	55
Haus B	358.000	66	25,14	65
Haus C	409.700	75	25,61	66
Haus DI	327.000	60	22,34	58
Haus DII	535.000	98	36,54	95
Haus E	427.000	78	28,85	75

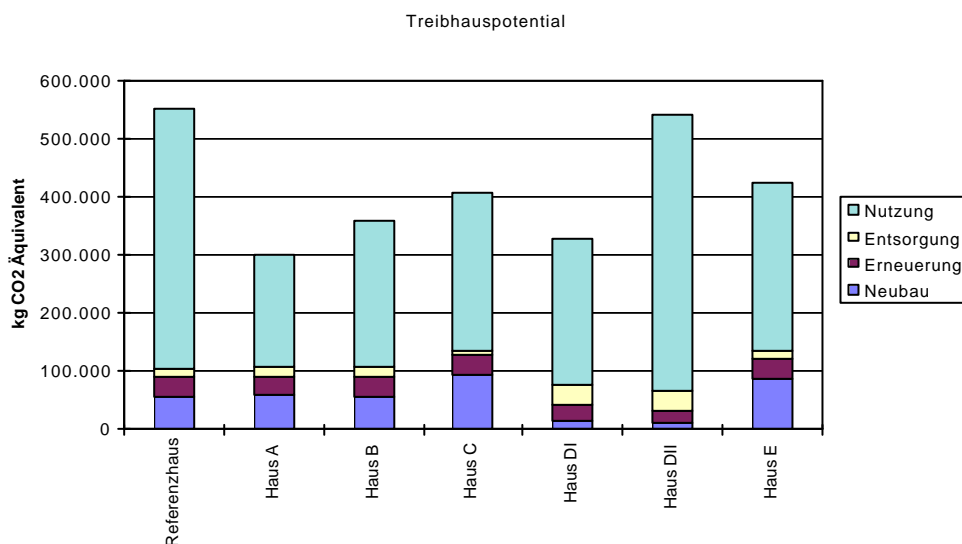


Abbildung 12 Anteil der Phasen am Treibhauspotenzial.

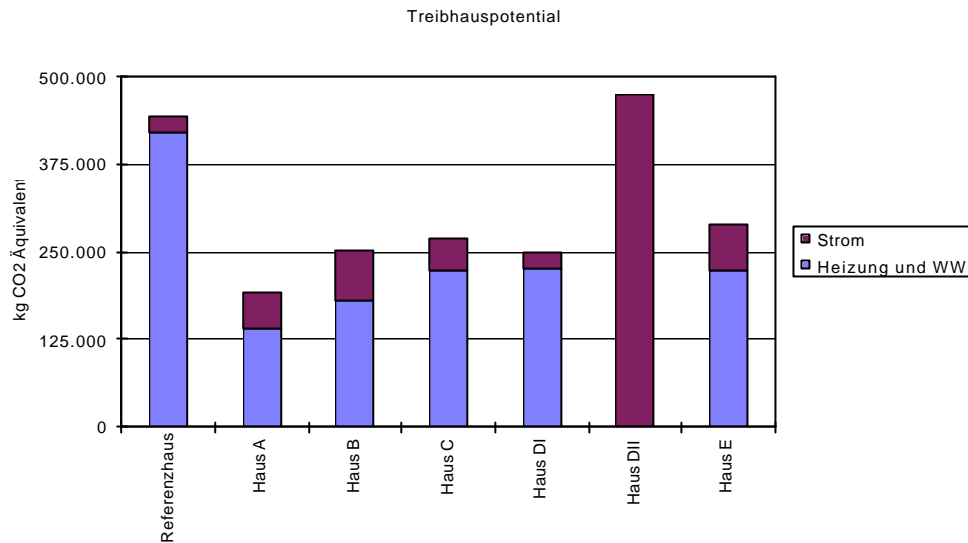


Abbildung 13 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Treibhauspotential während der Nutzungsphase.

Betrachtet man nur die Anteile der Elemente, die sich in den Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung zeigen, so werden im Gegensatz zum Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Unterschiede deutlich. Die Varianten lassen sich hinsichtlich des Beitrags der Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung grob in drei Typen einteilen (siehe Tabelle 16): Für das Referenzhaus, Haus A und Haus B gilt, dass ca. die Hälfte des Treibhauspotenzials aus dem Neubau resultiert, ca. ein Drittel aus der Erneuerung und der Rest, etwa ein Siebtel, aus der Entsorgung. Die Häuser C und E zeigen dagegen einen Anteil von zwei Dritteln während des Neubaus, von einem Viertel während der Erneuerung und nur 6 bzw. 8 Prozent während der Entsorgung. Für die Haushälften DI und DII dagegen weist der Neubau einen Anteil von einem Fünftel, die Erneuerung von einem Drittel und die Entsorgung von knapp der Hälfte auf.

Verantwortlich für diese unterschiedlichen Ergebnisse ist der unterschiedliche Holzanteil, den die Varianten enthalten. Außer Haus D besitzen alle Varianten eine teilweise Holzverschalung der Fassade. Am kleinsten ist der Holzanteil bei

Tabelle 16 Relativer Anteil des Treibhauspotenzials an Neubau, Erneuerung und Entsorgung in Prozent.

Prozent	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
Neubau	54	55	53	69	19	17	66
Erneuerung	31	31	32	24	38	34	26
Entsorgung	15	14	15	6	43	49	8
Gesamt	100	100	100	100	100	100	100

den Häusern C und E, weder Decken noch Dachkonstruktionen (außer der Lattung für die Dachdeckung) enthalten Holz. Am höchsten ist entsprechend der Anteil bei den Haushälften DI und DII, wo zusätzlich zur Dachkonstruktion und den Decken auch ein Teil der Innen- und Außenwände Holzkonstruktionen darstellen. Das Referenzhaus, sowie Haus A und Haus B besitzen hinsichtlich des Holzanteils eine Mittelstellung. Die Dachkonstruktionen sind aus Holz und bei der Decke im Obergeschoss handelt es sich um eine Holzbalkendecke.

Da die Holzanteile nach Ablauf der Element- bzw. Gebäudelebensdauer verbrannt werden, wird das darin enthaltene CO₂ wieder frei. Dadurch wird die CO₂-Gutschrift (in Form eines negativen CO₂-Wertes), die für den Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre während des Holzwachstums erteilt wurde, wieder ausgeglichen. Vergleiche Kapitel 7.1.2.3. Aus diesem Grund wird der Beitrag der Entsorgung zum Treibhauspotenzial um so höher je größer der Holzanteil ist.

In Abbildung 14 ist der Beitrag der einzelnen Elementgruppen zum Treibhauspotenzial dargestellt. Die oben geschilderten Sachverhalte lassen sich hier nochmals nachvollziehen.

Allerdings muss angemerkt werden, dass die auffällig niedrigen Werte der Haushälften DI und DII nur begrenzt erklärbar sind. Es besteht auch die Möglichkeit eines systematischen Fehlers, der auf die Unterschätzung der Entsorgungsprozesse - und damit der frei werdenden CO₂-Äquivalente - für die Holzanteile zurückzuführen ist. Die weitere Diskussion dieses Problems findet sich in Kapitel 7.2.7.

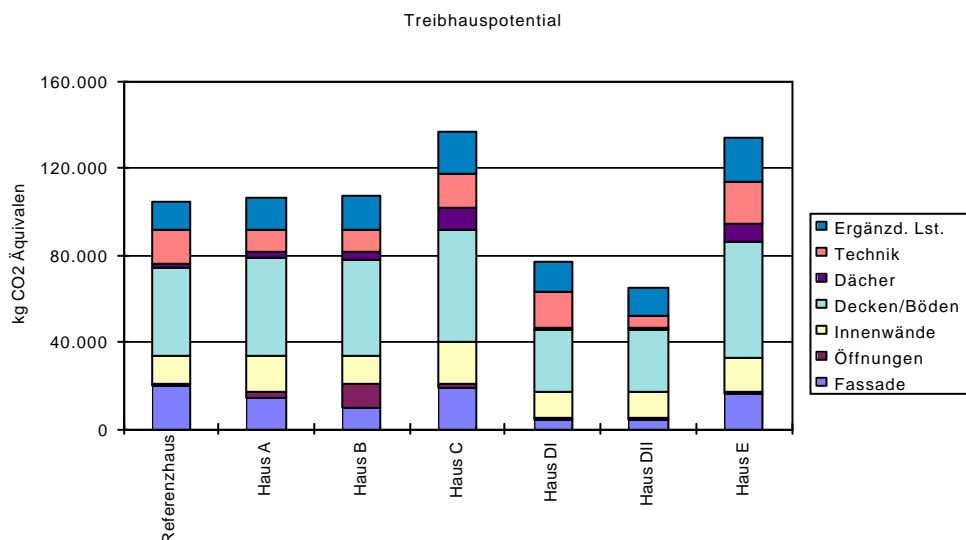


Abbildung 14 Anteil der Elementgruppen am Treibhauspotenzial über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

6.1.1.4 Ozonabbaupotenzial

Die Gesamtergebnisse für das Ozonabbaupotenzial zeigen nur relativ geringe Unterschiede zwischen den Varianten. Die Werte aller Varianten liegen zwischen 0,13 und 0,16 kg R 11 Äquivalent und weichen damit um maximal 14 Prozent vom Referenzhaus ab. Eine Ausnahme stellt dabei Haus DII dar, welches mit 0,26 kg R11 Äquivalent einen um 75 Prozent höheren Wert aufweist als das Referenzhaus.

Wie Abbildung 15 zeigt, ist der Anteil der Nutzungsphase für das Kriterium Ozonabbaupotenzial vergleichsweise klein. Der Anteil an der Gesamtsumme bewegt sich bei den Varianten zwischen 25 und 35 Prozent bzw. 66 Prozent für Haus DII. Dennoch ist auch hier der relative Unterschied zwischen den Varianten während der Nutzungsphase am größten.

Dagegen wird der Neubau wichtiger und in geringerem Umfang auch die Erneuerung. Die Entsorgung fällt nicht ins Gewicht.

Untersucht man die Nutzungsphase näher (siehe Abbildung 16), so fällt auf, dass der Stromverbrauch das Ergebnis im Verhältnis stärker beeinflusst als der Heizwärmeverbrauch (inkl. Warmwasserbereitstellung). Pro Terajoule Nutzenergie verursacht der Stromverbrauch (Niederspannung UCPT-E-Mix) einen 8,37 Mal höheren Wert für das Ozonabbaupotenzial als eine konventionelle Gasheizung.

Dies fällt insbesondere bei denjenigen Niedrigenergievarianten mit einem relativ hohen Stromverbrauch auf. Haus DII weist infolge seiner Elektroheizung einen sehr hohen Wert auf. Aber auch Haus B und E zeigen relativ hohe Auswirkungen aus dem Stromverbrauch.

Vergleicht man die Anteile der verschiedenen Elementgruppen, die in Abbildung 17 dargestellt sind, miteinander, so fällt auf, dass wie bei den vorangegangenen Kriterien der Anteil der Decken/Böden am größten ist. Generell unterscheiden

Tabelle 17 Ozonabbaupotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg R11 Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [g R11 Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	0,15	100	0,010	100
Haus A	0,13	89	0,009	89
Haus B	0,13	91	0,009	91
Haus C	0,15	99	0,009	87
Haus DI	0,13	86	0,009	83
Haus DII	0,26	175	0,018	169
Haus E	0,16	107	0,011	102

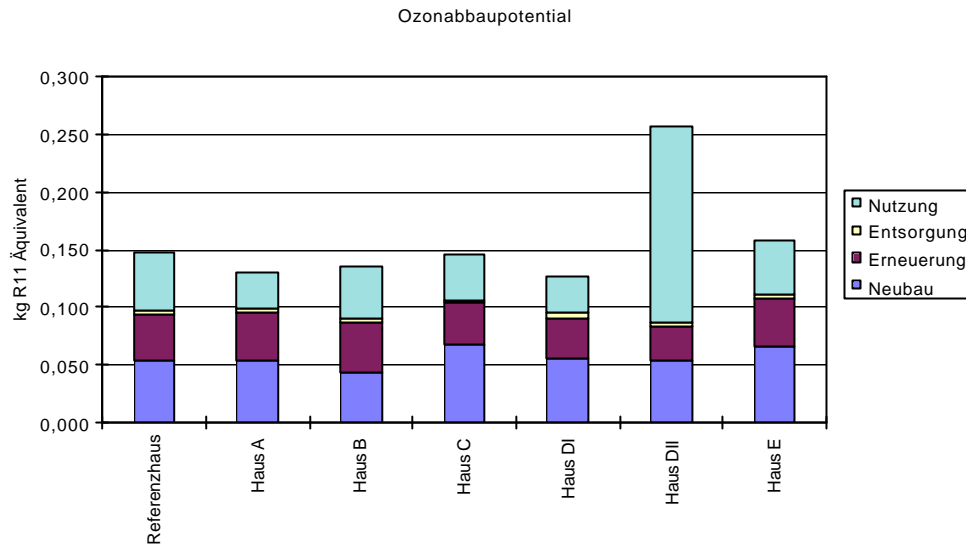


Abbildung 15 Anteil der Phasen am Ozonabbaupotenzial.

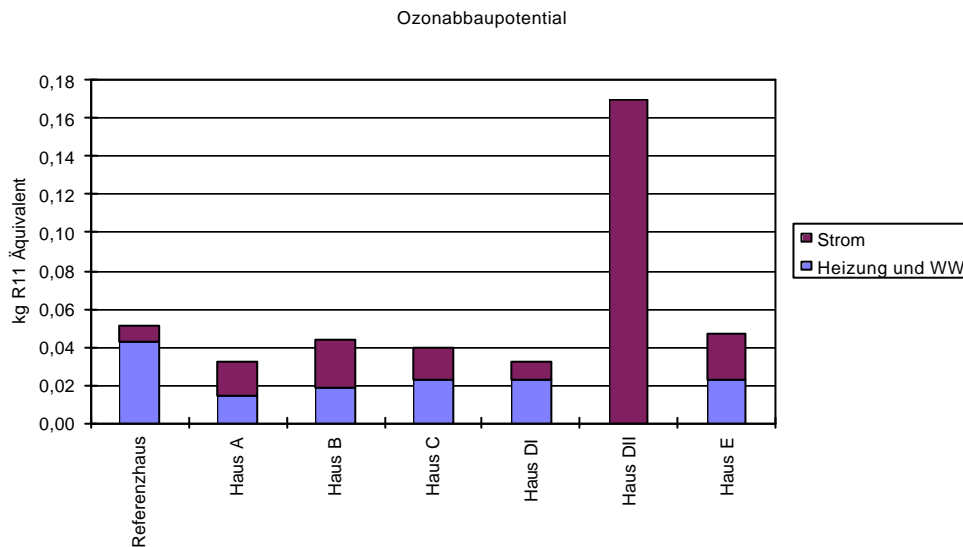


Abbildung 16 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Ozonabbaupotenzial während der Nutzungsphase.

sich die Varianten nur wenig. Geringfügig niedrigere Werte als das Referenzhaus zeigen die Häuser B und DII, geringfügig höhere Werte die Häuser C und E.

Das Ergebnis von Haus B lässt sich durch die niedrigen Werte der Elementgruppen Fassade und Innenwände erklären, die nicht durch die relativ höheren Werte für die Öffnungen ausgeglichen werden. Offensichtlich spielt hier die Zusammensetzung der Mauern eine wesentliche Rolle. Die Haushälfte DII erreicht durch den relativ kleineren Anteil der Technik (kein Kamin etc.) ein

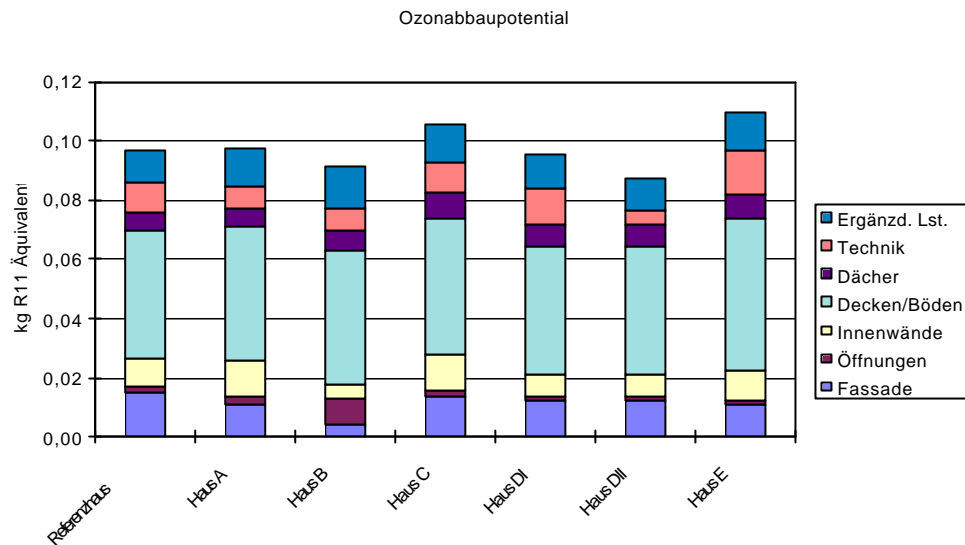


Abbildung 17 Anteil der Elementgruppen am Ozonabbaupotential über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

insgesamt niedrigeres Gesamtergebnis. Der vergleichsweise hohe Wert von Haus C wird verursacht durch leicht höhere Werte in durchgängig allen Elementgruppen. Im Vergleich mit Haus E, welches ebenfalls eine Porenbetonkonstruktion ist, zeigt sich, dass sich nicht der gesamte Effekt durch das Material erklären lässt. Vielmehr spielt die Dimensionierung eine Rolle - Haus C ist mit 200 m² Energiebezugsfläche die größte Variante. Bei Haus E fällt hingegen die Elementgruppe Technik (Fußbodenheizung) relativ stark ins Gewicht, sowie die Tatsache, dass sich im Obergeschoss eine Decke befindet, während Haus C im Obergeschoss keine Decke besitzt.

6.1.1.5 Versauerungspotenzial

Wie im vorangegangenen Kapitel für das Ozonabbaupotenzial, so gilt auch für das Kriterium Versauerungspotenzial, dass die Unterschiede zwischen den Varianten - abgesehen von der Haushälfte DII - relativ gering sind. Der Wert des Referenzhauses liegt bei 1.374 kg SO₂ Äquivalent, die Werte der Varianten liegen maximal 16 Prozent darunter (Haus DI) bzw. 14 Prozent darüber (Haus E). Das Resultat für die Haushälfte DII liegt hingegen dreimal so hoch wie dasjenige des Referenzhauses.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 dargestellt. Wie Abbildung 18 zeigt, hat die Nutzungsphase den größten Anteil am gesamten Versauerungspotenzial. Ebenfalls in der Nutzungsphase sind die Unterschiede zwischen den Varianten am größten. Die zweitwichtigste Phase ist der Neubau, danach folgt die Erneuerung. Die Entsorgung ist dagegen unbedeutend.

Tabelle 18 Versauerungspotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg SO ₂ Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [g SO ₂ Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	1.374	100	97,03	100
Haus A	1.194	87	84,80	87
Haus B	1.454	106	102,11	105
Haus CI	1.320	96	82,49	85
Haus CII	1.250	91	78,12	81
Haus DI	1.152	84	78,69	81
Haus DII	4.111	299	280,81	289
Haus E	1.571	114	106,15	109

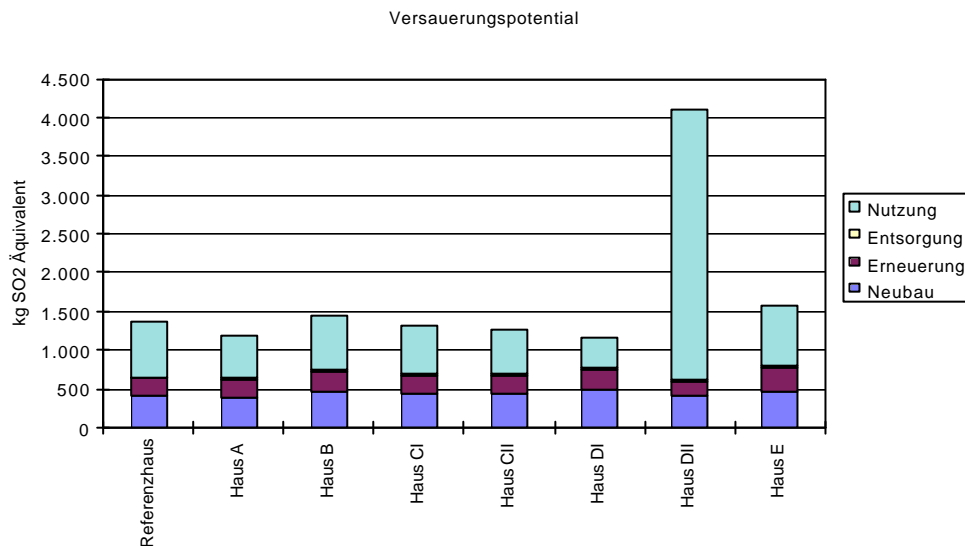


Abbildung 18 Anteil der Phasen am Versauerungspotenzial.

Eine Analyse der Nutzungsphase, dargestellt in Abbildung 19, ergibt einen relativ hohen Beitrag des Stromverbrauchs zum Versauerungspotenzials. Pro Terajoule Nutzenergie verursacht der Stromverbrauch (Niederspannung UCPTM-Mix) eine 13,56 mal so hohe Belastung durch Versauerung als eine konventionelle Gasheizung. Entsprechend fallen die Varianten auf, die einen hohen Stromverbrauch aufweisen. Die Haushälfte DII weist aufgrund der Elektroheizung mit Abstand den höchsten Wert auf. Es fallen aber auch die Häuser B und E auf. Insofern stellt sich die Situation sehr ähnlich dar wie für das Kriterium Ozonabbaupotenzial.

Durch den Effekt des Stromverbrauchs werden die im Vergleich zum Referenzhaus geringeren Belastungen aus Heizung und Warmwasserbereitstellung bei den anderen Varianten weitgehend wieder ausgeglichen. In diesem Zusammenhang erweist sich die Variante DI als sehr günstig. Sie verfügt zwar nicht

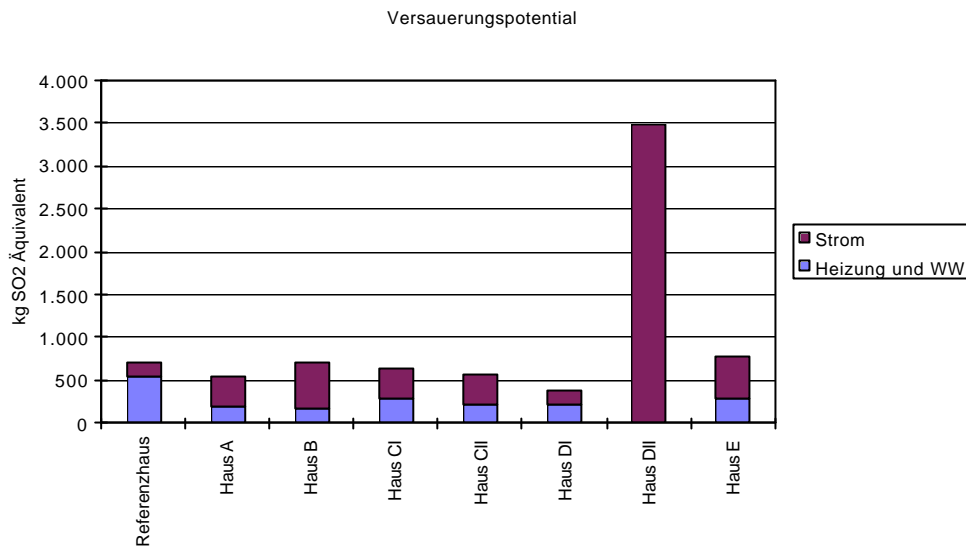


Abbildung 19 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Versauerungspotenzial während der Nutzungsphase.

über den niedrigsten Heizwärmebedarf, aber über einen hinreichend geringen Heizwärmebedarf, kombiniert mit einem niedrigen Stromverbrauch.

Die Haushälften CI und CII sind getrennt dargestellt, da sich das unterschiedliche Heizsystem auf das Versauerungspotenzial auswirkt. Die Haushälfte CII ist mit einem Brennwertkessel ausgestattet, während CI über einen konventionellen Kessel verfügt. In der Folge ist das Versauerungspotenzial, welches durch den Heizwärmeverbrauch (inkl. Warmwasserbereitstellung) verursacht wird, bei CII um 25 Prozent geringer als bei CI.

Der Beitrag der einzelnen Elementgruppen zum Versauerungspotenzial ist in Abbildung 20 dargestellt. Ähnlich wie bei den Kriterien in den vorangegangenen Kapiteln, so gilt auch für das Versauerungspotenzial, dass die Elementgruppe Decken/Böden durchweg den höchsten Anteil hat.

Es fällt auf, dass die Anteile der Elementgruppen Fassade, Öffnungen, Innenwände, Decken/Böden und Dächer, sowie ergänzende Leistungen außer bei Haus B bei allen Varianten in einer sehr ähnlichen Größenordnung vorliegen. Die Abweichungen der Ergebnisse ergeben sich durch Unterschiede in der Elementgruppe Technik. In den Häusern DI und E hat diese Elementgruppe einen hohen Anteil. Verursacht wird dies durch das Element Fußbodenheizung, welches in beiden Varianten in unterschiedlicher Menge vorhanden ist. Bei Variante CI und CII wird der leicht erhöhte Wert durch den auf dem Dach aufmontierten Solarkollektor verursacht. Haus DII hingegen hat infolge der Elektroheizung eine

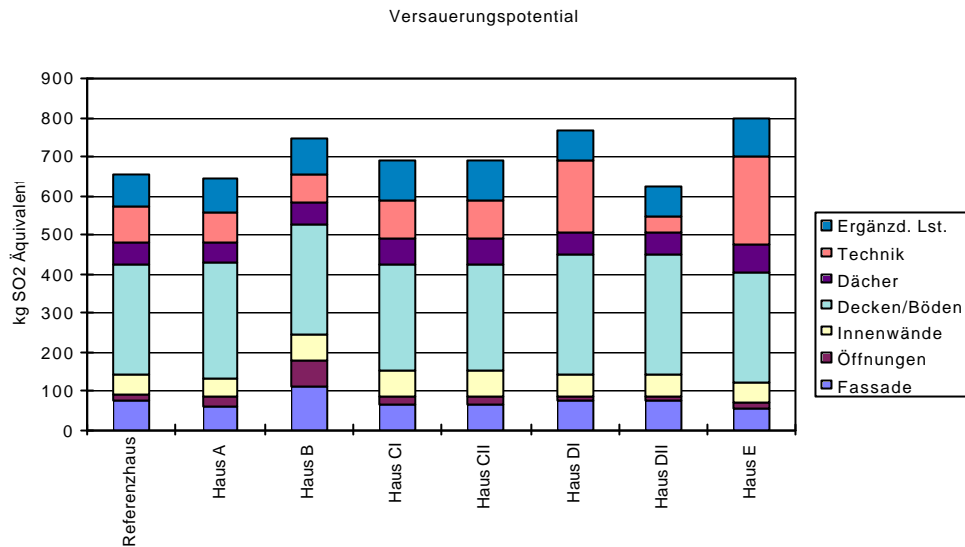


Abbildung 20 Anteil der Elementgruppen am Versauerungspotenzial über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

geringfügigere technische Ausstattung (z.B. kein Kamin), entsprechend gering ist das Versauerungspotenzial. Ebenfalls einen relativ niedrigen Wert weist Haus A auf. Diese Variante benötigt keinen Kamin, da der Heizkessel im Obergeschoss installiert ist. Haus B weicht von allen anderen Varianten insofern ab, als die Beiträge der Elementgruppen Fassade und Öffnungen relativ groß sind. Es handelt sich beide Mal um materialbedingte Effekte.

6.1.1.6 Überdüngungspotenzial

Das Gesamtergebnis aller untersuchten Varianten, dargestellt in Tabelle 19, über alle Lebenswegphasen liegt für das Überdüngungspotenzial zwischen 98 kg PO₄ Äquivalent (Haus DI) und 186 kg PO₄ Äquivalent (Haus DII). Der Wert des Referenzhauses liegt bei 141 kg PO₄ Äquivalent, entsprechend liegen die Abweichungen bei deutlichen 30 Prozent darunter bzw. 32 Prozent darüber.

Die in Abbildung 21 dargestellten Anteile der Lebenswegphasen am Gesamtergebnis zeigen anschaulich, dass zwar die Nutzungsphase nicht bei allen Varianten diejenige Phase mit dem größten absoluten Anteil für das Überdüngungspotenzial ist, aber eindeutig diejenige Phase mit der größten Variation zwischen den Varianten. Letztendlich entscheidet die Nutzungsphase über das relative Abschneiden der Varianten.

Abbildung 22 zeigt die Auswirkungen von Heizwärmeverbrauch und Warmwasserbereitstellung gegenüber dem Stromverbrauch auf die Überdüngung. Die Verhältnisse stellen sich ähnlich dar wie für den Bedarf nicht erneuerbarer Primärenergie. Pro Terajoule Nutzenergie verursacht der Stromverbrauch (Nieder-

Tabelle 19 Überdüngungspotenzial. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg PO4 Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [g PO4 Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	141	100	9,92	100
Haus A	103	73	7,28	73
Haus B	105	74	7,35	74
Haus CI	118	84	7,36	74
Haus CII	106	75	6,61	67
Haus DI	98	70	6,69	67
Haus DII	186	132	12,69	128
Haus E	123	87	8,30	84

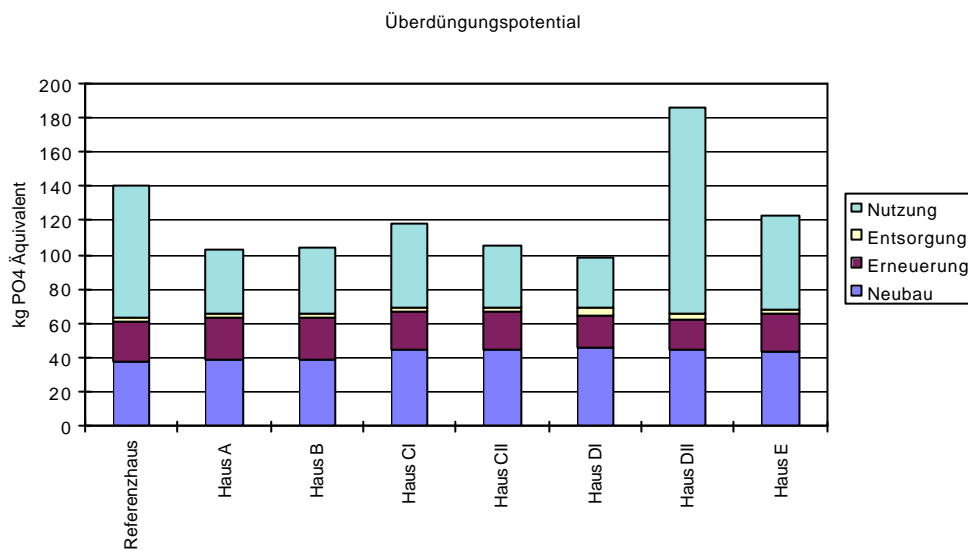


Abbildung 21 Anteil der Phasen am Überdüngungspotenzial.

spannung UCPTM-Mix) eine 3,66 mal so hohe Belastung durch Überdüngung wie eine konventionelle Gasheizung. Damit wirkt sich insbesondere der relativ höhere Stromverbrauch der Niedrigenergievarianten aus. Der Effekt ist besonders deutlich für die Variante DII zu erkennen. Die Haushälften CI und CII sind separat ausgewiesen, da der Brennwertkessel in Variante CII pro Terajoule Nutzenergie eine um 34 Prozent geringere Überdüngung verursacht als der konventionelle Gaskessel in Variante CI.

Betrachtet man den Beitrag der einzelnen Elementgruppen zum Überdüngungspotenzial (siehe Abbildung 23), so fällt als Erstes auf, dass das Bild bei allen Varianten sehr ähnlich ist. Weder unterscheidet sich die Gesamtsumme erheblich, noch die Anteile der Elementgruppen.

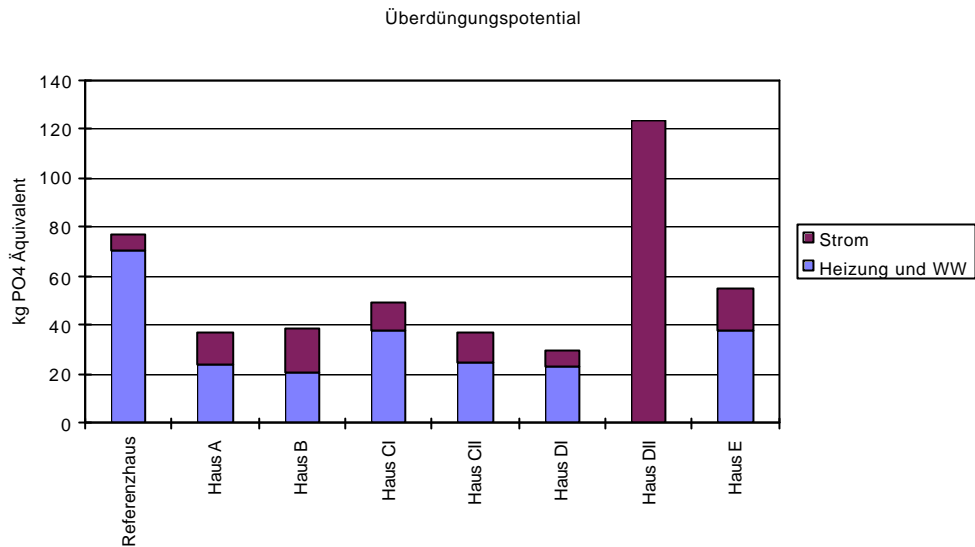


Abbildung 22 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Überdüngungspotenzial während der Nutzungsphase.

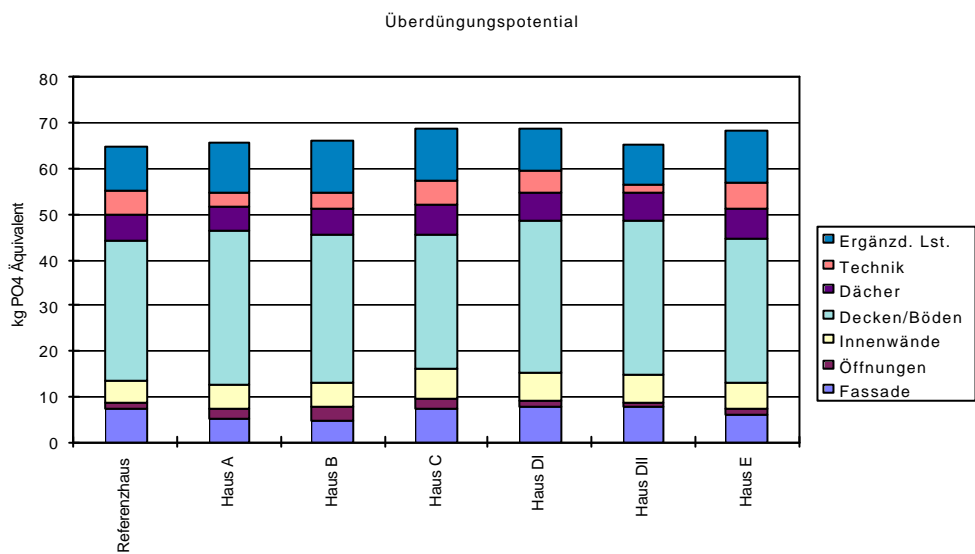


Abbildung 23 Anteil der Elementgruppen am Überdüngungspotenzial über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

In der Elementgruppe Technik zeigt sich die größte Variation. Die Situation ist vergleichbar mit derjenigen für das Versauerungspotenzial, nähere Erläuterungen siehe Kapitel 6.1.1.4. Kleinere Unterschiede sind außerdem erkennbar in Haus B, wo die Öffnungen mehr Gewicht erhalten. In den Haushälften CI und CII ist der Anteil der Decken/Böden leicht geringer als in den anderen Varianten. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Deckenfläche in dieser Variante kleiner ist, da die Decke im Obergeschoss fehlt.

6.1.1.7 Sommersmog

Für das Kriterium Sommersmog zeigt sich ein eindeutiges Ergebnis (siehe Tabelle 20). Die Werte aller bilanzierten Varianten liegen mindestens 22 Prozent (Haus E) bis maximal 37 Prozent tiefer als derjenige des Referenzhauses. Absolut streuen die Werte zwischen 179 und 282 kg Ethen Äquivalent.

Bei allen Varianten hat die Nutzungsphase, wie Abbildung 24 zeigt, den größten Anteil. Ähnlich wie für das Überdüngungspotenzial gilt auch für den Sommersmog, dass die Unterschiede zwischen den Varianten auf den Unterschieden während der Nutzungsphase beruhen. Die Phasen Neubau und Erneuerung tragen in der gleichen Größenordnung zum Gesamtergebnis bei, während die Entsorgung unbedeutend ist.

Analysiert man die Beiträge von Heizwärmeverbrauch (inkl. Warmwasserbereitstellung) und Stromverbrauch zum Sommersmog während der Nutzungsphase (siehe Abbildung 25), so fällt auf, dass die Haushälfte DII ein ähnliches Ergebnis aufweist wie die anderen Niedrigenergievarianten. Dies erstaunt auf den ersten Blick, da DII bei allen bisher untersuchten Kriterien mindestens so schlecht abschnitt wie das Referenzhaus bzw. z.T. auch deutlich höhere Ergebnisse aufwies (siehe Versauerungspotenzial). Der Grund für den relativ niedrigen Wert liegt darin, dass der Stromverbrauch pro Terajoule Nutzenergie (Niederspannung UCPT-E-Mix) nur eine 1,44 mal so hohe Belastung durch Sommersmog verursacht wie eine konventionelle Gasheizung. Der negative Effekt der Elektroheizung also nicht so groß ist wie bei anderen Kriterien.

Der Brennwertkessel in Haushälfte CII bewirkt für den Heizwärmeverbrauch und die Warmwasserbereitstellung während der Nutzungsphase einen um 3 Prozent geringeren Sommersmog wie der konventionelle Gaskessel in Haushälfte CI.

Tabelle 20 Sommersmog. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg Ethen Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [g Ethen Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	282	100	19,88	100
Haus A	179	63	12,68	64
Haus B	195	69	13,67	69
Haus CI	211	75	13,18	66
Haus CII	209	74	13,06	66
Haus DI	206	73	14,06	71
Haus DII	218	77	14,87	75
Haus E	218	78	14,74	74

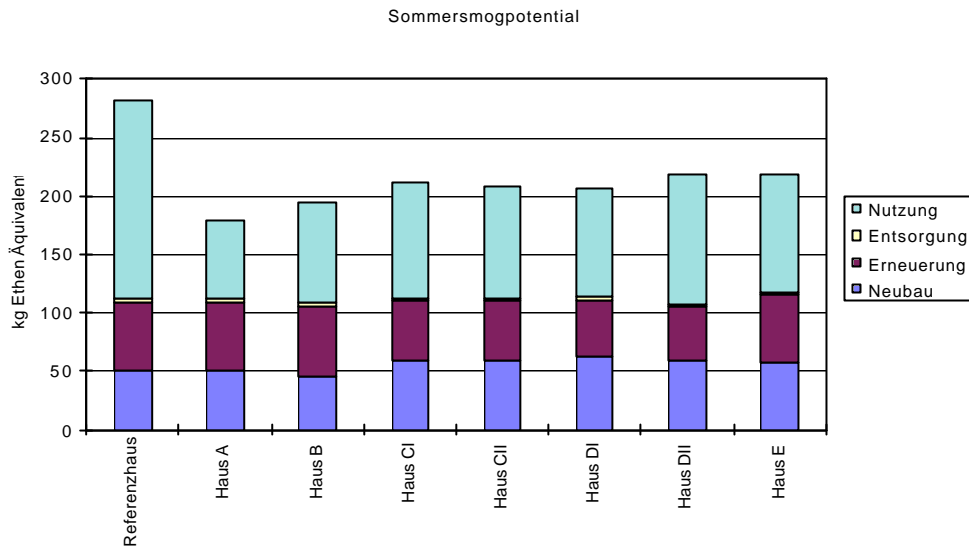


Abbildung 24 Anteil der Phasen am Sommersmog.

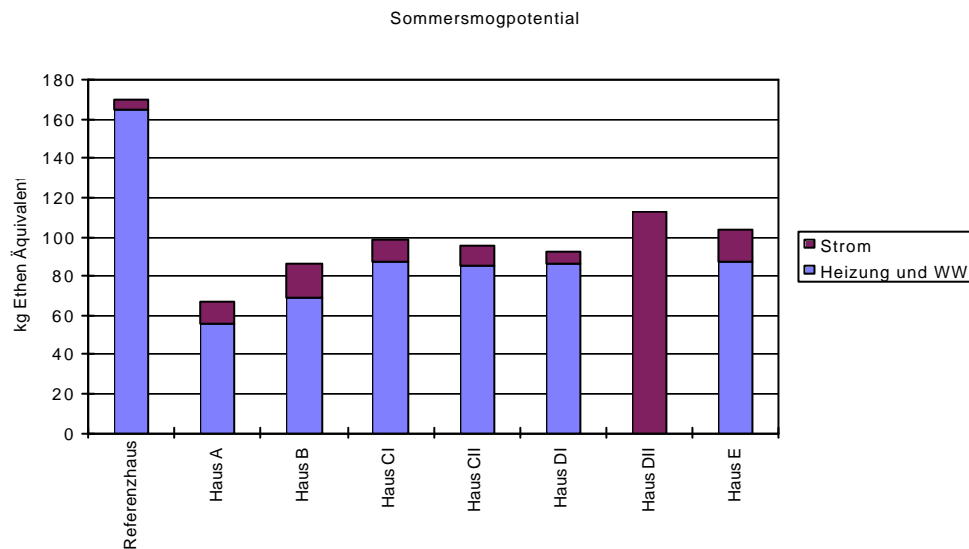


Abbildung 25 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Sommersmog während der Nutzungsphase.

Ein Vergleich der Beiträge der einzelnen Elementgruppen zum Sommersmog, wie ihn Abbildung 26 zeigt, lässt keinen deutlichen Unterschied der Varianten bezüglich der Einzelbeiträge oder der Gesamtsumme erkennen. Kleinere Unterschiede sind innerhalb der Elementgruppe Technik identifizierbar, Erläuterungen dazu siehe Kapitel 6.1.1.4 Versauerungspotenzial.

Daneben fällt wieder Haus B mit seinen tiefen Werten für Fassade und Innenwände aber einem relativ hohen Wert für die Öffnungen auf. In der Summe führt dies zu einem geringfügig tieferen Gesamtergebnis.

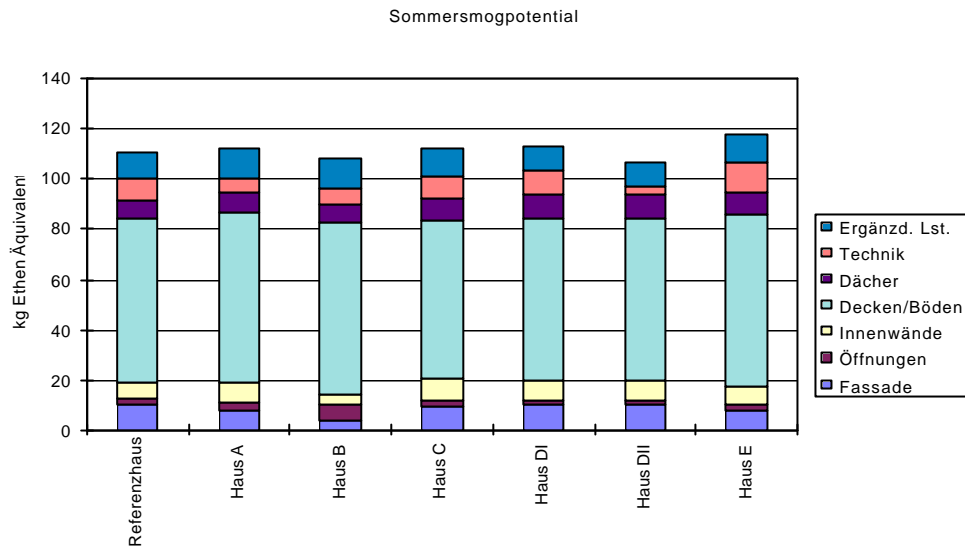


Abbildung 26 Anteil der Elementgruppen am Sommersmog über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

6.1.1.8 Wintersmog

Gegenüber den bisher vorgestellten Ergebnissen, ergibt sich, wie in Tabelle 21 dargestellt, für das Kriterium Wintersmog ein völlig anderes Bild. Das Gesamtergebnis des Referenzhauses von 915 kg SO₂ Äquivalent erweist sich als der niedrigste Wert aller untersuchten Häuser. Die Abweichungen nach oben betragen minimal ein Prozent (Haus DI) bis maximal 302 Prozent (Haus DII).

Die Beiträge der einzelnen Lebenswegphasen zum Gesamtergebnis sind in Abbildung 27 gezeigt. Die Nutzungsphase hat nur bei Variante DII ein deutliches Übergewicht. Bei allen anderen Varianten liegt der Anteil der Nutzungsphase in der Größenordnung des Neubaus bzw. darunter (Haus C und DI). Unterschiede zwischen den Varianten sind hinsichtlich aller drei Phasen erkennbar.

Tabelle 21 Wintersmog. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg SO ₂ Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [g SO ₂ Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	915	100	64,60	100
Haus A	1.035	113	73,49	113
Haus B	1.169	128	82,09	128
Haus C	1.164	127	72,72	127
Haus DI	926	101	63,23	101
Haus DII	3.676	402	251,06	402
Haus E	1.384	151	93,53	151

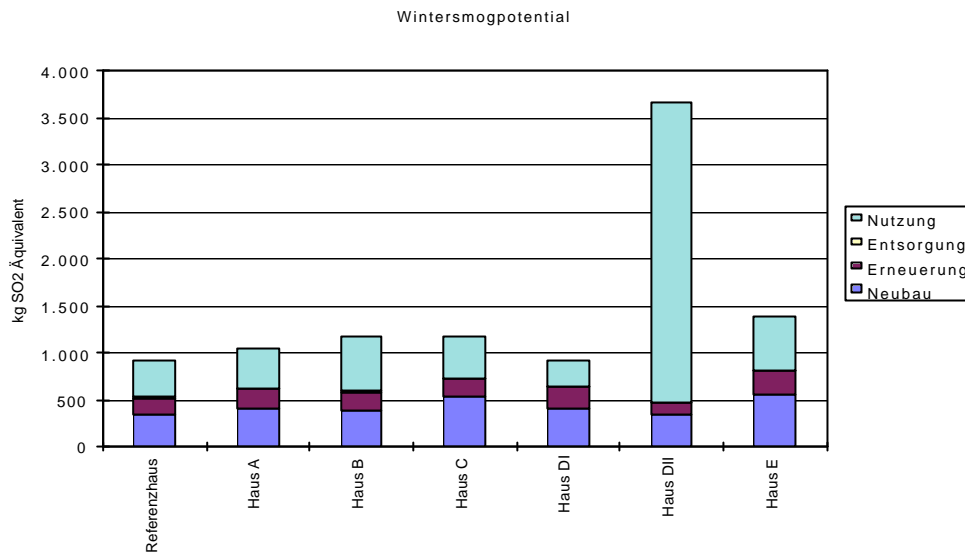


Abbildung 27 Anteil der Phasen am Wintersmog.

Eine nähere Betrachtung der Nutzungsphase in Abbildung 28 zeigt die Anteile des Heizwärmeverbrauchs (inkl. Warmwasserbereitstellung) und des Stromverbrauchs am Wintersmog.

Pro Terajoule Nutzenergie verursacht der Stromverbrauch (Niederspannung UCPTM-Mix) eine 28,84 mal so hohe Belastung durch Wintersmog wie eine konventionelle Gasheizung. Damit wirkt sich insbesondere der relativ höhere Stromverbrauch der Niedrigenergievarianten aus. Der Effekt ist besonders deutlich für die Variante DII zu erkennen. Er führt aber z.B. auch dazu, dass die Variante A trotz des niedrigsten Heizwärmebedarfs aller Varianten einen Wintersmogwert in der Größenordnung des Referenzhauses aufweist. Hingegen liegt Haus DI mit einem vergleichsweise schlechten Heizwärmebedarfswert aber einem geringen Stromverbrauch tiefer.

Beim Vergleich der Beiträge der einzelnen Elementgruppen zur Wintersmogbelastung während der Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung ergibt sich ein uneinheitliches Bild. Sowohl die Beiträge einzelner Elementgruppen als auch die Gesamtsummen unterscheiden sich z.T. erheblich von Variante zu Variante. Das Referenzhaus zeichnet sich durch die geringste Gesamtsumme nach Variante DII aus. Deutlich erhöht sind die Werte der Varianten C und E. Begründet werden kann dies durch die höheren Belastungen der jeweiligen Mauer-, Decken- und Dachmaterialien (siehe Abbildung 29). So verursacht ein Quadratmeter Porenbetonwand von 36,5 cm Dicke (Außenwand Haus C, 400 kg/m³) eine 1,8 Mal so hohe Belastung mit Wintersmog wie ein Quadratmeter einer 30 cm dicken Leichtziegelwand (Außenwand Referenzhaus).

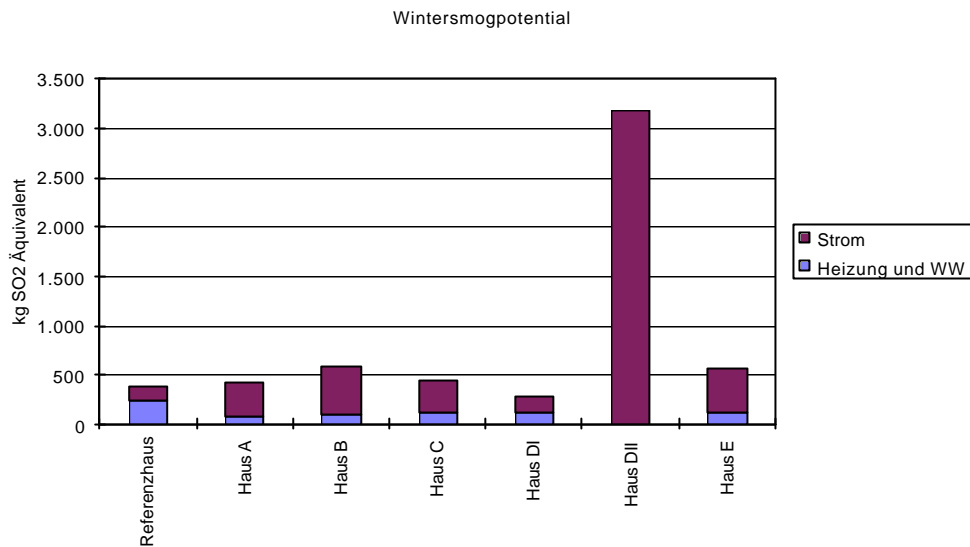


Abbildung 28 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Wintersmog während der Nutzungsphase.

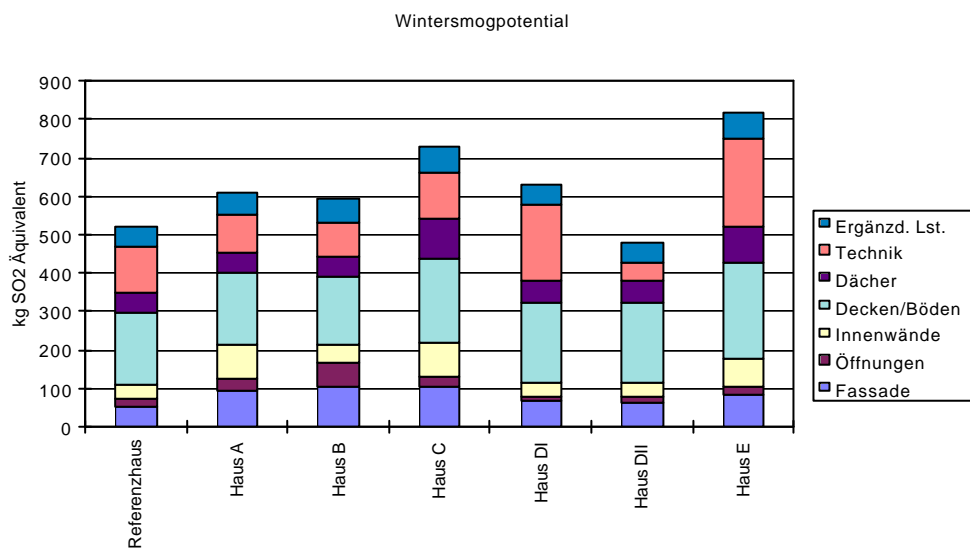


Abbildung 29 Anteil der Elementgruppen am Wintersmog über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

Bei Haus E ist zusätzlich ein hoher Anteil der Elementgruppe Technik infolge der Fußbodenheizung erkennbar (siehe auch DI).

Wie bei den bisher behandelten Kriterien, so gilt auch hier, dass die Elementgruppe Decken/Böden durchweg das größte Gewicht hat. Relativ geringe Auswirkungen zeigen die Öffnungen. Wiederum hat Haus B hier den höchsten Wert. Weitere Erläuterungen zur Elementgruppe Technik finden sich in Kapitel 6.1.1.4 Versauerungspotenzial

Decken. Die Belastungen der Porenbetondecken liegen etwa doppelt so hoch wie diejenigen einer gleichen Fläche Stahlbetondecke.

6.1.1.9 Karzinogene Substanzen

Das Gesamtergebnis für das Kriterium karzinogene Substanzen (siehe Tabelle 22) weist das Referenzhaus mit einem Wert von 0,078 kg PAH Äquivalent als mit Abstand schlechteste Variante aus. Die Abweichungen der Häuser A bis E liegen bei mindestens 24 Prozent (Haus C) bis maximal 63 Prozent (Haus DII) unterhalb dieses Wertes. Auffällig im Vergleich zu den Resultaten der anderen Kriterien ist vor allem das niedrige Ergebnis von Haushälfte DII.

Die Nutzungsphase erweist sich als größte Quelle für karzinogene Substanzen. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind deutlich zu erkennen. Die Phasen Neubau und Erneuerung tragen dagegen erheblich weniger zur Belastung bei. Das Verhältnis von Neubau zu Erneuerung beträgt in den Variante jeweils ca. 1:1. Zwischen den Varianten zeigen sich erkennbare Unterschiede. Die Entsorgung ist unbedeutend.

Der Anteil des Stromverbrauchs an der Belastung mit karzinogenen Substanzen während der Nutzungsphase, dargestellt in Abbildung 31, ist wesentlich geringer als derjenige der Gasheizung (inkl. Warmwasserbereitstellung). Pro Terajoule Nutzenergie verursacht der Stromverbrauch (Niederspannung UCPTM-Mix) nur 58 Prozent der Belastung durch karzinogene Substanzen wie eine konventionelle Gasheizung. Dies erklärt auch den niedrigen Wert, den Variante DII erreicht. Da sie mittels Elektroöfen beheizt wird, ergeben sich nur die vergleichsweise geringen Belastungen aus dem Stromverbrauch.

Betrachtet man nur die Resultate der Varianten mit Gasheizung, so spiegelt das relative Abschneiden die Energiekennzahlen der Gebäude wider. Haus A weist das niedrigste Ergebnis auf, das Referenzhaus das höchste. Die unterschiedlichen Stromverbräuche spielen dagegen praktisch keine Rolle.

Tabelle 22 Karzinogene Substanzen. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg PAH Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [g PAH Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	0,078	100	0,0055	100
Haus A	0,042	54	0,0030	54
Haus B	0,049	63	0,0034	63
Haus C	0,059	76	0,0037	67
Haus DI	0,048	62	0,0033	60
Haus DII	0,029	37	0,0020	36
Haus E	0,051	66	0,0034	63

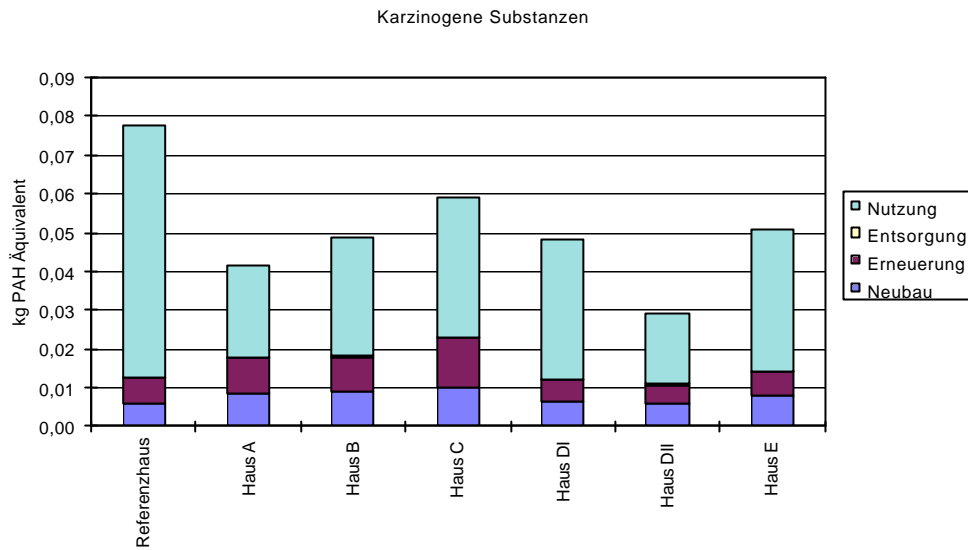


Abbildung 30 Anteil der Phasen am Kriterium Karzinogene Substanzen.

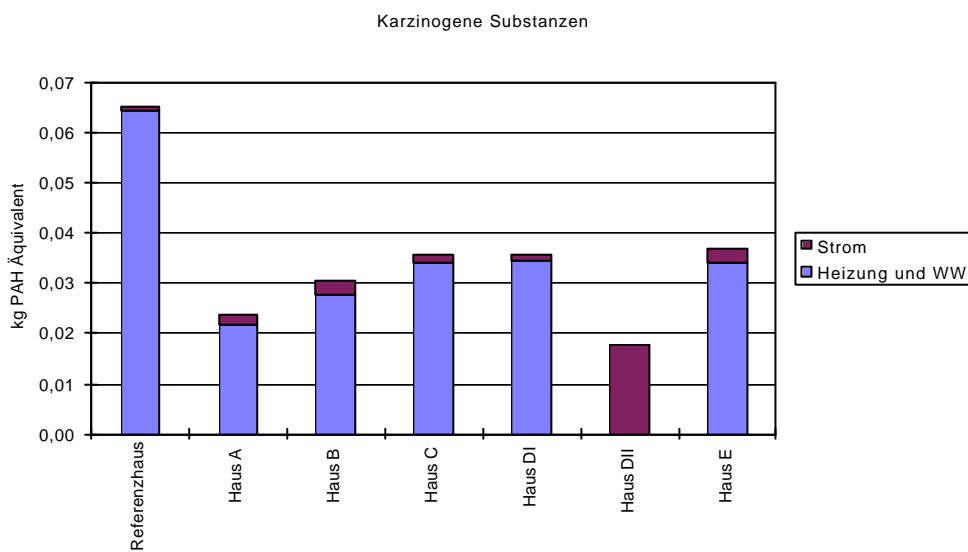


Abbildung 31 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Kriterium Karzinogene Substanzen während der Nutzungsphase.

Eine Analyse der Beiträge der einzelnen Elementgruppen zur Belastung aus den Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung zeigt in Abbildung 32 ein heterogenes Bild. Es sind im wesentlichen drei Elementgruppen, die am meisten zur Belastung beitragen, die Öffnungen, die Technik und die ergänzenden Leistungen.

Nachdem die Elementgruppe Öffnungen bei den bisher betrachteten Kriterien praktisch keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis hatte, zeigt sich hier eine andere Situation. Der Beitrag dieser Elementgruppe ist bei allen Varianten erheblich und variiert außerdem

stark zwischen den Varianten. Die Ursache für die Belastung liegt in den Aluminiumanteilen der Fenster, den sogenannten Abstandshaltern. Die hohen Werte der Varianten A und B beruhen auf der Verwendung von Dreischeibenfenstern, die entsprechend eine doppelt so große Menge an Aluminium benötigen wie Zweischeibenfenster. Außerdem fällt bei Variante C die größere Fensterfläche aufgrund des Wintergartens ins Gewicht. Die Haushälften DI und DII verursachen die geringste Belastung, da sie die kleinste Fensterfläche aufweisen und es sich zudem um Zweischeibenfenster handelt. Als weitere Elementgruppe von Bedeutung fällt die Technik ins Gewicht. Der höchste Wert ist für Haus C zu erkennen. Wiederum ist hierfür Aluminium verantwortlich, eingebaut in den Solarkollektor. Auch in der Elementgruppe ergänzende Leistungen wird die Belastung durch Aluminium verursacht, welches Bestandteil des Element Innentüren ist und in allen Varianten in etwa der gleichen Größenordnung vorhanden ist. Die übrigen Elementgruppen fallen dagegen kaum ins Gewicht. Insbesondere spielen auch die Decken/Böden keine große Rolle.

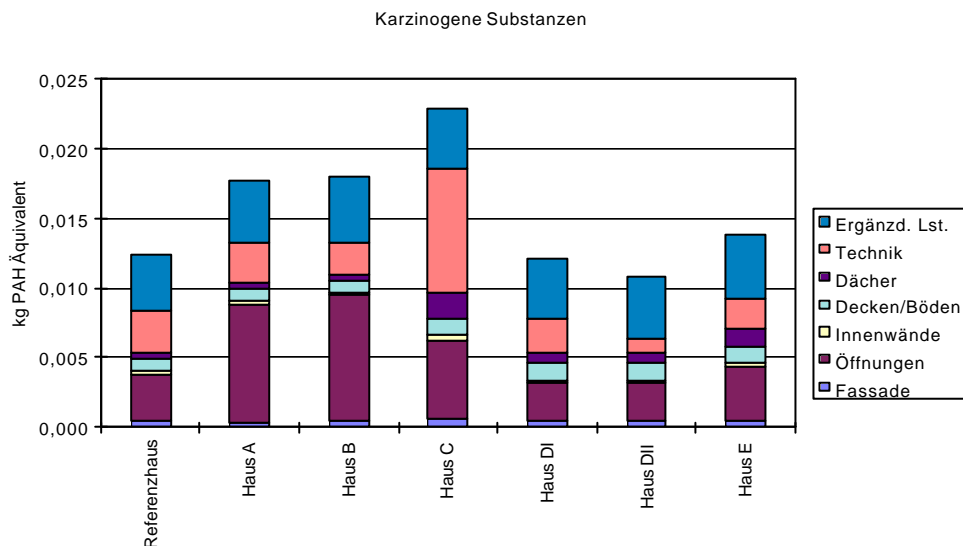


Abbildung 32 Anteil der Elementgruppen an Karzinogenen Substanzen über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

6.1.1.10 Schwermetalle

Die Belastung mit Schwermetallen über alle Lebenswegphasen sind in Tabelle 23 dargestellt. Sie liegt für das Referenzhaus bei 6,29 kg Pb Äquivalent. Ein deutlich davon abweichendes Ergebnis zeigen nur die Varianten DI mit einem um 27 Prozent niedrigeren Wert und Variante DII mit einem um 25 Prozent höheren Wert. Die Resultate der übrigen Varianten liegen nur bis maximal 17 Prozent unter dem Ergebnis des Referenzhauses.

Im Gegensatz zu allen bisher dargestellten Kriterien erweist sich die Erneuerungsphase für das Kriterium Schwermetall als bedeutendste Phase (siehe Abbildung 33). Der Neubau verursacht den zweitgrößten Beitrag. Die Nutzungsphase dagegen spielt - abgesehen von Variante DII - nur eine untergeordnete Rolle. Ebenfalls von untergeordneter Bedeutung ist die Entsorgung, dennoch ist ihr Beitrag verglichen mit dem Ergebnis anderer Kriterien relativ groß.

An dieser Stelle muss noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die Phase Entsorgung nur diejenigen Entsorgungsprozesse enthält, die nach Ablauf der Gebäudelebensdauer erfolgen. Entsorgungsprozesse, die während den Phasen Neubau und Erneuerung ablaufen, werden jeweils diesen Phasen zugeordnet.

Die Belastungen mit Schwermetall während der Nutzungsphase resultieren zu einem relativ hohen Anteil aus dem Stromverbrauch, ein vergleichsweise geringer Anteil wird durch die Heizung (inkl. Warmwasserbereitstellung) verursacht (siehe Abbildung 34).

Pro Terajoule Nutzenergie verursacht der Stromverbrauch (Niederspannung UCPTM-Mix) eine 19,29 mal so hohe Belastung durch Wintersmog wie eine konventionelle Gasheizung. Ähnlich wie bei den Kriterien Versauerung und Wintersmog beeinflusst deshalb der Stromverbrauch der einzelnen Gebäude insbesondere den Niedrigenergiehäusern das Gesamtergebnis sehr stark. Die Haushälfte DII zeigt aus diesem Grund das höchste Ergebnis.

Tabelle 23 Schwermetalle. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie ihre jeweiligen Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg Pb Äquivalent]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [g Pb Äquivalent/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	6,29	100	0,44	100
Haus A	5,65	90	0,40	90
Haus B	6,23	99	0,44	98
Haus C	5,25	83	0,33	74
Haus DI	4,58	73	0,31	70
Haus DII	7,88	125	0,54	121
Haus E	5,98	95	0,40	91

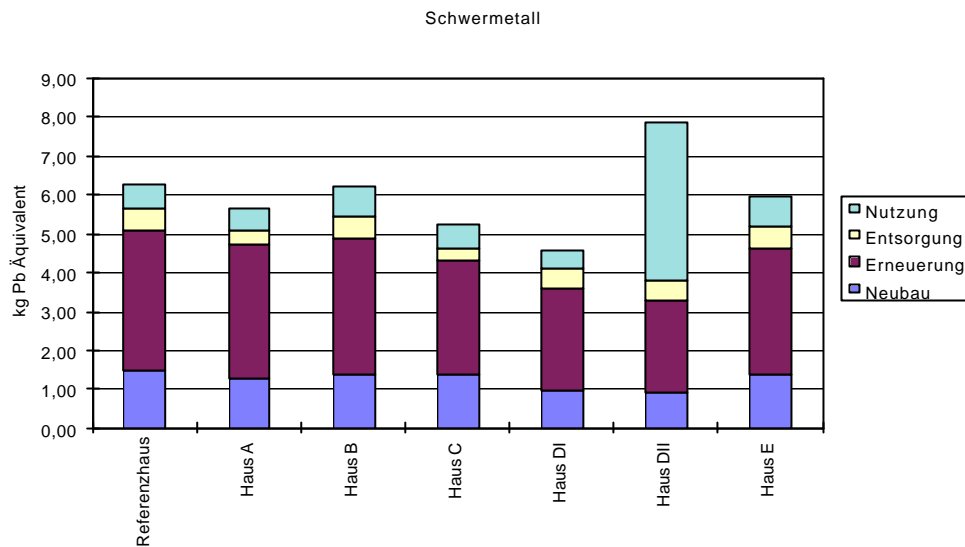


Abbildung 33 Anteil der Phasen am Kriterium Schwermetalle.

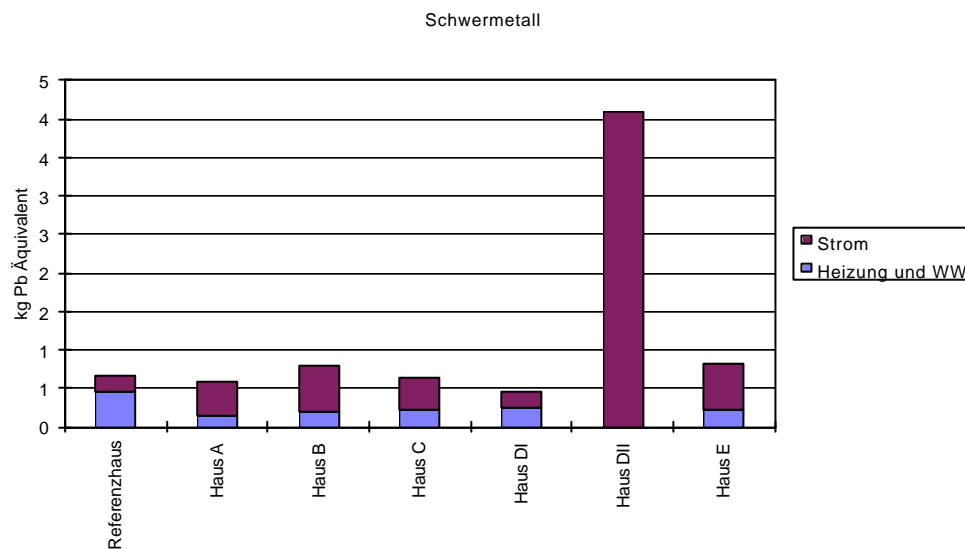


Abbildung 34 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Kriterium Schwermetall während der Nutzungsphase.

Als bedeutendste Elementgruppe erweist sich Decken/Böden (siehe Abbildung 35). Sie hat einen relativen Anteil am Gesamtergebnis aller Elementgruppen von 48 bis 61 Prozent je nach Variante. Verursacht wird diese Belastung zu einem erheblichen Teil durch das Element Textiler Bodenbelag Wohnen. Im Unterschied zum Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar wird die Belastung allerdings weniger durch die Herstellung als vielmehr durch die Entsorgung des Bodenbelags hervorgerufen. Aufgrund einer Lebensdauer von nur 10 Jahren muss der Bodenbelag über die Lebensdauer eines Gebäudes sieben Mal erneuert werden. Insgesamt muss also das

Achtfache der eingebauten Bodenbelagsfläche entsorgt werden. Beim Entsorgungsprozess handelt es sich um „Kunststoffe in MVA“.

Als weitere wichtige Elementgruppe müssen die Dächer genannt werden. Als Quelle der Schwermetallemission konnten vor allem die Regenrinnen und Regenwasserabläufe identifiziert werden. Auswaschungen während der Lebensdauer der Elemente werden nicht einbezogen. Die Varianten DI und DII erweisen sich hier als günstigste Variante, da sie diese Elemente in geringerem Umfang benötigen als die übrigen Varianten. Grund hierfür ist zum einen die Tatsache, dass DI und DII keine Gauben besitzen. Außerdem verfügen diese beiden Varianten über keine Versprünge in der Fassade. Da deshalb auch im Dach keine Abstufung erfolgt, wird nur je ein Regenwasserablauf auf der Süd- und der Nordseite benötigt. Generell spiegeln die Schwermetallbelastung aus der Elementgruppe Dächer die Menge der in den einzelnen Varianten eingesetzten Regenrinnen und Regenwasserabläufe wider. Für die Varianten C und E kommt zur Belastung aus diesen Elementen die Belastung der Porenbetondächer hinzu.

Als dritte Elementgruppe von erkennbarer Bedeutung erweist sich die Technik. Wiederum zeigt sich Variante DII mit den nur in geringem Umfang vorhandenen technischen Elementen als günstigste Variante. Im Referenzhaus, sowie in Haus C erweist sich die relativ hohe Anzahl von Radiatoren als kritisch. In Haus C wird der Wert noch zusätzlich durch den Beitrag des Solarkollektors erhöht. In den Häusern DI und E wird der Beitrag der Fußbodenheizung deutlich. Haus A hat zwei Warmwasserspeicher. Generell kann man erkennen, dass die Elemente

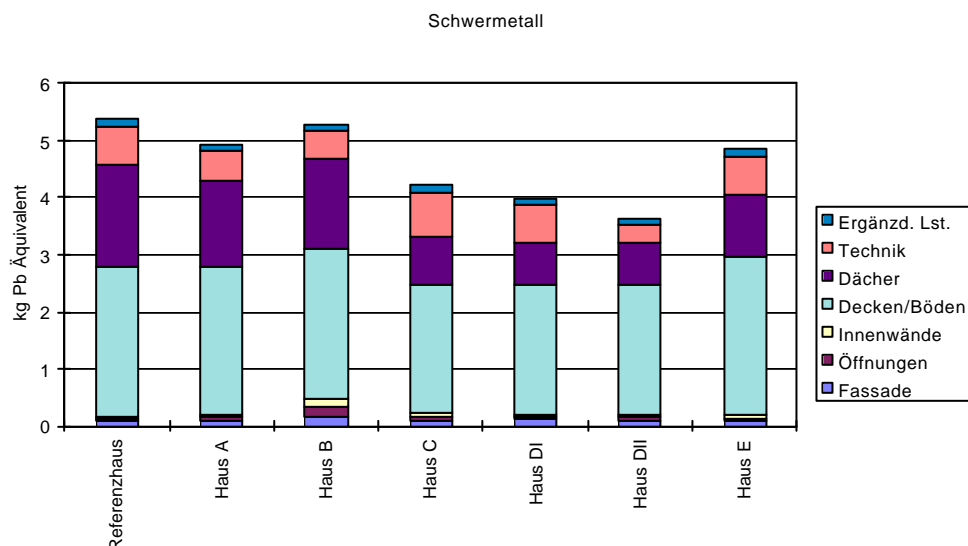


Abbildung 35 Anteil der Elementgruppen am Kriterium Schwermetall über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

Warmwasserspeicher und Gaskessel ins Gewicht fallen. Je nach Variante kommen dazu noch Belastungen aus Radiatoren oder einer Fußbodenheizung als wesentliche Elemente in dieser Elementgruppe. Sie erlangen ihre Bedeutung insbesondere auch aufgrund ihrer relativ kurzen Lebensdauer. Der Beitrag der übrigen Elementgruppen zur Gesamtbelastung ist minimal.

6.1.1.11 Stofffluss

Das Gesamtergebnis für das Kriterium Stofffluss in Tabelle 24 zeigt, dass alle untersuchten Varianten einen Stofffluss in ähnlicher Höhe verursachen. Die größten Abweichungen vom Referenzhaus, dessen Wert 426 Tonnen beträgt, zeigen sich in Haus B mit einem 26 Prozent höheren Wert. Haus A weicht um 22 Prozent nach oben vom Wert des Referenzhauses ab. Die Resultate der übrigen Varianten variieren nur geringfügig vom Ergebnis des Referenzhauses.

Da der Stofffluss als der Masseinput in das jeweilige Gebäude definiert ist, entfallen die Phasen Nutzung und Entsorgung (siehe Abbildung 36). Es fällt außerdem auf, dass die mit großem Abstand wichtigste Phase für den Input ins Gebäude der Neubau darstellt. Die Erneuerung dagegen fällt kaum ins Gewicht.

Entsprechend der Definition des Kriteriums sind die Elementgruppen von Bedeutung, die eine große Masse bzw. Dichte besitzen. Darunter fallen die Gruppe Decken/Böden (Stahlbetondecken, Kellerboden, Estrich) mit dem größten Anteil. Daneben haben aber auch die Elementgruppen Fassade und Innenwände (jeweils das Mauerwerk) und ergänzende Leistungen eine Bedeutung (siehe Abbildung 37). Die ergänzenden Leistungen erlangen ihr Gewicht im Wesentlichen aufgrund der Fundamente.

Aufgrund der relativ geringen Dichte des Porenbetonmauerwerks fallen die Häuser C und E durch relativ niedrige Werte auf. Insbesondere bei dem sehr groß konzipierten Haus C erstaunt dies auf den ersten Blick.

Tabelle 24 Stofffluss. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche und Jahr für alle Varianten sowie die ihre Relationen zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [kg/m ² a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	426.000	100	30,08	100
Haus A	518.000	122	36,79	122
Haus B	538.000	126	37,78	126
Haus C	454.000	107	28,38	94
Haus DI	407.000	96	27,80	92
Haus DII	406.000	95	27,73	92
Haus E	399.000	94	26,96	90

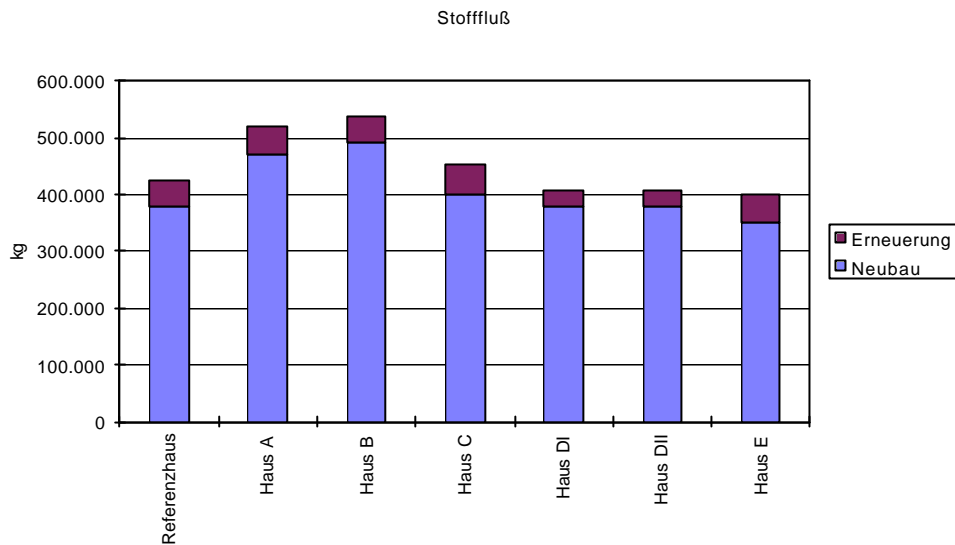


Abbildung 36 Anteil der Phasen am Stofffluss.

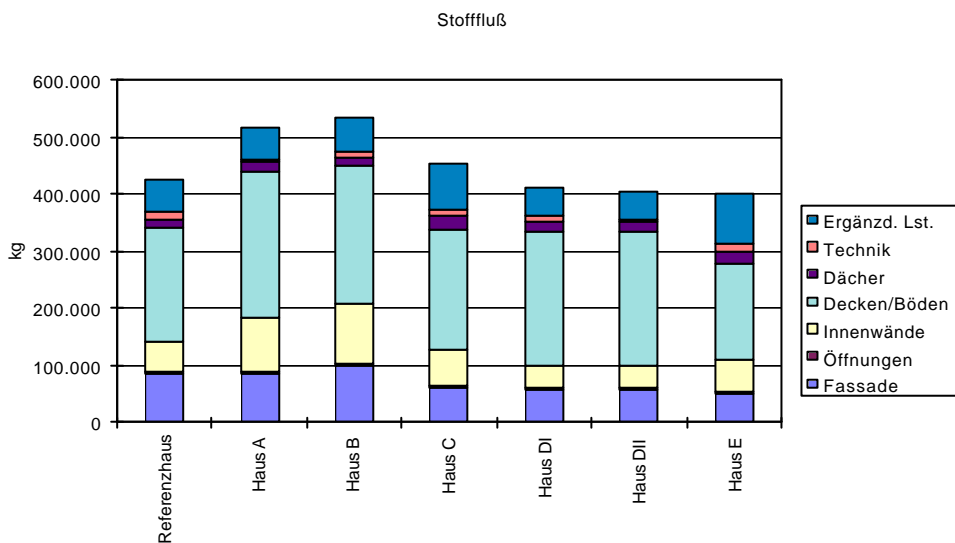


Abbildung 37 Anteil der Elementgruppen am Stofffluß während der Phasen Neubau und Erneuerung.

Die hohen Werte der Häuser A und B resultieren aus den nur in diesen Varianten vorhandenen zusätzlichen Leichtbetonschichten auf den Decken als auch aus den größer dimensionierten Innenwänden.

6.1.1.12 Abfallkategorien

Das Referenzhaus verursacht über seinen ganzen Lebensweg mit 506 m³ die geringste Abfallmenge (nach Volumen) aller untersuchten Gebäude (siehe Tabelle 25). Die Abweichungen der anderen Varianten betragen minimal 16

Tabelle 25 Abfallkategorien. Gesamtergebnis der entstehenden Abfälle nach den Kategorien Abfälle in Inertstoffdeponie und in Müllverbrennung über alle Phasen und Relation der jeweiligen Ergebnisse zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [m ³]			Relation zum Referenzhaus [Prozent]		
	Gesamtsumme	Inertstoffe	MVA	Gesamtsumme	Inertstoffe	MVA
Referenzhaus	506	464	42	100	100	100
Haus A	591	552	39	117	119	92
Haus B	617	565	52	122	122	123
Haus C	641	617	24	127	133	56
Haus DI	635	545	90	125	117	212
Haus DII	589	535	54	116	115	127
Haus E	619	544	75	122	117	177

Prozent (Haus DII) und maximal 27 Prozent (Haus C) nach oben. Vergleicht man allerdings die Anteile der Kategorie Abfälle in Müllverbrennung (MVA) an der gesamten Abfallmenge, so verschiebt sich dieses Bild wieder etwas zuungunsten des Referenzhauses. Für diese Kategorie zeigt Haus C das beste Ergebnis.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der zwei Abfallkategorien gesondert nach Phasen und nach dem Beitrag der Elementgruppen in den Abbildungen 38 bis 41 dargestellt.

Während der Entsorgungsphase entstehen die meisten Abfälle der Kategorie Inertstoffe (siehe Abbildung 38). Die Unterschiede zwischen den Varianten sind in dieser Phase auch am größten. Als wichtig erweist sich auch die Kategorie Neubau, während die Erneuerung keine Rolle spielt. Die Nutzungsphase ist nicht dargestellt, da Abfälle aus der Energiebereitstellung in den verwendeten Daten nicht enthalten sind.

Vergleicht man die in Abbildung 39 dargestellten Anteile der einzelnen Elementgruppen zur Gesamtsumme, so fällt zuerst der große Beitrag der ergänzenden Leistungen auf. Verursacht wird dies durch das Element Bodenaushub, dessen Beitrag außerdem dem Inertstoffanteil der Neubauphase entspricht. Je nach Größe der Baugrube ist der Beitrag unterschiedlich.

Die Elementgruppe Decken/Böden weist den zweithöchsten Beitrag auf. Verursacht wird er durch die mineralischen Anteile wie beispielsweise Stahlbeton, Porenbeton, Mineralfaser, Gipskartonplatten.

Die Ergebnisse der übrigen Elementgruppen verhalten sich ebenfalls entsprechend dem Volumenanteil der mineralischen Bestandteile. Relativ dünne Außenwänden wie im Referenzhaus (30 cm Leichtziegel) führen zu niedrigen Werten. Neben dem Mauermaterial spielt u.a. aber auch das Volumen des eingesetzten mineralischen Dämmmaterials (Mineralfaser) eine Rolle.

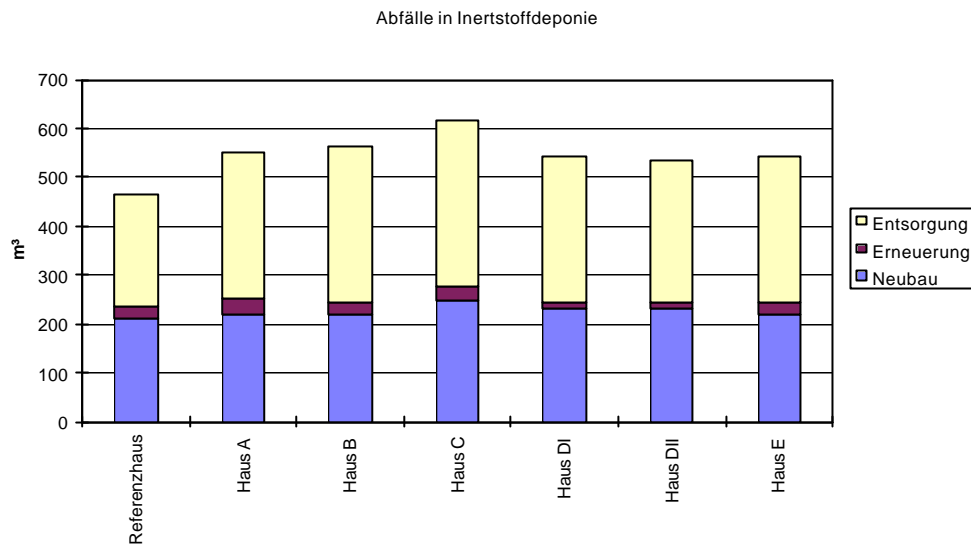


Abbildung 38 Anteil der Phasen an den Abfällen in Inertstoffdeponie.

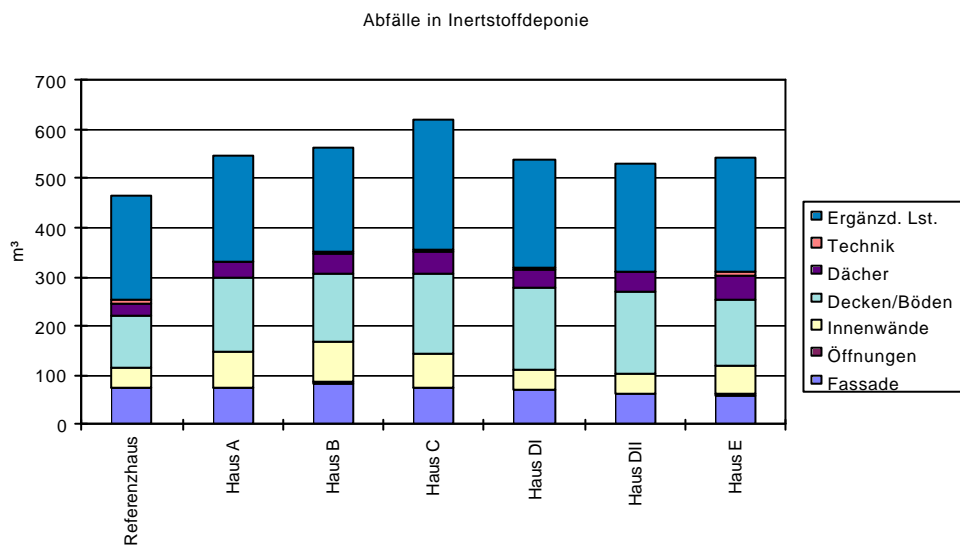


Abbildung 39 Anteil der Elementgruppen an den Abfällen in Inertstoffdeponie.

Sehr heterogen zeigt sich das Bild der Phasenverteilung für die Müllverbrennung. In diesem Fall erscheint es hilfreich die Abbildungen 40 und 41 gemeinsam zu betrachten und interpretieren. Entsprechend der Anteile an Materialien, die in die Müllverbrennung gelangen, wie Kunststoffe, Holz (z.B. auch Schalungsholz) und Holzbaustoffe, ergibt sich ein hoher bzw. niedriger Anteil an Abfällen in die MVA.

Haus C fällt durch das niedrigste Ergebnis auf. Die Holzverkleidung der Fassade, die Holzfenster, Kunststoffanteile in den Decken/Böden sowie die Lattung der Dachdeckung machen den größten Teil des Ergebnisses aus. Daneben haben

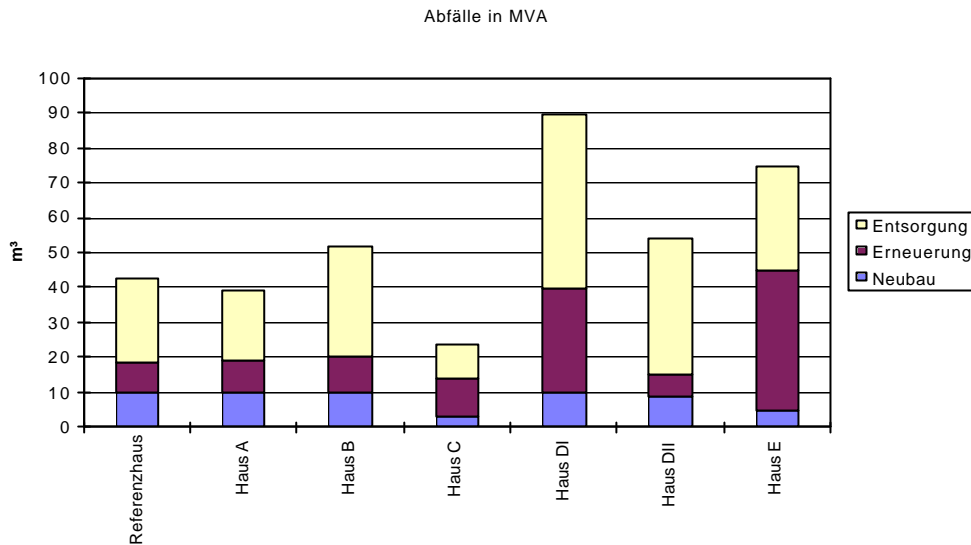


Abbildung 40 Anteil der Phasen an den Abfällen in die Müllverbrennung.

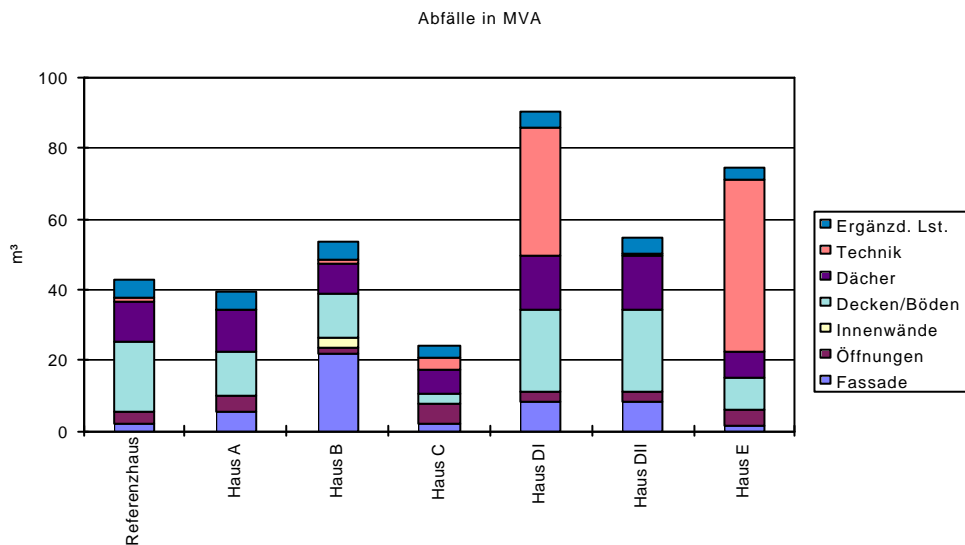


Abbildung 41 Anteil der Elementgruppen an den Abfällen in die Müllverbrennung.

auch die Elementgruppen Technik und ergänzende Leistungen geringe Kunststoff- bzw. Holzanteile.

Haus E, bestehend aus einer ähnlichen Porenbetonkonstruktion wie Haus C, erreicht durch höhere Anteile Kunststoff in Decken/Böden (z.B. Polyurethan) sowie einer Fußbodenheizung mit hohem Kunststoffanteil einen deutlich höheren Wert.

Haus DI fällt durch den höchsten Wert auf. Hier spielt sowohl der hohe Holzanteil in Fassade und Decken, sowie das relativ große Dach, ebenfalls eine Holzkonstruktion; eine Rolle, als auch der hohe Kunststoffanteil der Fußbodenheizung der Elementgruppe Technik. Letzteres unterscheidet Haus DI von DII.

Haus B besitzt eine vergleichsweise großflächige Holzverkleidung an der Fassade sowie zusätzlich eine Polystyrol-Dämmung in den Außen- und Innenwänden. Neben einer Holzbalkendecke im Obergeschoss besitzt Haus B Stahlbetondecken, die Schalungsholz benötigen. Dieses wird entsprechend der veranschlagten Wiederverwendungsrate von 10 Mal, während der Neubauphase zu einem Zehntel der Müllverbrennung zugeführt. Gleiches gilt auch für die Stahlbetondecken des Referenzhauses und von Haus A, sowie für Stahlbetonaußenwände im Untergeschoss. Zu Haus A ist noch anzumerken, dass der relativ hohe Beitrag der Fassade neben dem eben erwähnten Schalungsholz auch durch den Polystyrolanteil der Stahlbetonwand im Untergeschoss ausgemacht wird.

6.2. Bewertung

6.2.1 Öko-Indikator

6.2.1.1 Normalisierung

Die Normalisierung stellt einen Teilschritt der Bewertung mittels Öko-Indikator dar, der vor einer eigentlichen Gewichtung erfolgt. Die Ergebnisse der einzelnen Kriterien - außer energiebezogene Kriterien und stoff- oder abfallbezogene - werden in Relation gesetzt zur europäischen Gesamtbelastung pro Kopf und Jahr. Damit wird eine Einschätzung über die Relevanz des Beitrags eines bestimmten Produktes, in diesem Fall der Gebäudevarianten, zu einem Umweltproblemfeld möglich (siehe Kapitel 7.2.1). Außerdem ist über diesen Weg ein Nachvollziehen der Ergebnisse des Öko-Indikators möglich.

Da die normalisierten Daten *ECOPRO* nicht zu entnehmen sind, wurden separat auf der Basis der Ergebnisse der Einzelkriterien ermittelt (siehe dazu auch Kapitel 6.2.1.2) In Tabelle 26 sind die normalisierten Gesamtergebnisse aller Varianten über alle Lebenswegphasen dargestellt. Man erkennt, dass die größten Werte im Bereich Schwermetalle liegen und die niedrigsten bei Ozon-abbaupotenzial und Überdüngung. Als Beispiel für die Anteile der einzelnen Elementgruppen und der Nutzungsphase am Gesamtergebnis sind in Tabelle 27 die Ergebnisse für das Referenzhaus dargestellt. Erläuterungen zu den Beiträgen der einzelnen Kriterien zu Lebenswegphasen und Elementgruppen, sowie zum Vergleich der Varianten befinden sich in den Kapiteln 6.2.1.3 bis 6.1.1.10.

Tabelle 26 Normalisierte Gesamtergebnisse aller Varianten.

	Treibhaus- potenzial	Ozonabbau- potenzial	Versauer- potenzial	Überdüng. - potenzial	Sommer- smog	Wintersmog	Karzinog. Substanzen	Schwer- metalle
Referenz- haus	42,00	0,16	12,16	0,37	15,73	9,67	7,11	115,84
Haus A	22,85	0,14	10,57	0,27	9,98	10,94	3,83	104,05
Haus B	27,54	0,15	12,87	0,27	10,87	12,36	4,49	114,73
Haus CI	31,52	0,16	11,68	0,31	11,78	12,30	5,42	96,69
Haus CII	31,52	0,16	11,06	0,28	11,67	12,30	5,42	96,69
Haus DI	25,15	0,14	10,19	0,26	11,50	9,79	4,41	84,35
Haus DII	41,15	0,28	36,38	0,49	12,16	38,85	2,65	145,12
Haus E	32,85	0,17	13,90	0,32	12,19	14,63	4,67	110,13

Tabelle 27 Ergebnis der Normalisierung des Referenzhauses nach Elementgruppen und Nutzungsphase.

Referenz- haus	Treibhaus- potenzial	Ozonabbau- potenzial	Versauer- potenzial	Überdüng. - potenzial	Sommer- smog	Wintersmog	Karzinog. Substanzen	Schwer- metalle
Fassade	1,54	0,02	0,68	0,02	0,60	0,58	0,04	1,58
Öffnungen	0,07	0,00	0,12	0,00	0,10	0,17	0,31	0,96
Innenwände	1,01	0,01	0,43	0,01	0,38	0,39	0,02	0,77
Decken/ Böden	3,07	0,05	2,52	0,08	3,62	1,99	0,08	50,09
Dächer	0,19	0,01	0,48	0,01	0,42	0,58	0,04	32,63
Technik	1,17	0,01	0,83	0,01	0,49	1,23	0,28	14,09
Ergänz. der Liste	1,05	0,01	0,71	0,03	0,58	0,60	0,37	3,23
Nutzung	33,90	0,05	6,38	0,20	9,54	4,14	5,98	12,49

6.2.1.2 Gewichtung

Gemäß der in Kapitel 5.3.2 dargestellten Gewichtungsfaktoren nach Goedkoop et al. (1995) wurden die normalisierten Ergebnisse im Folgenden gewichtet. Die Resultate sind in den Tabelle 28 und 29 dargestellt.

Da sowohl der Rechenschritt der Normalisierung als auch derjenige der Gewichtung auf der Basis der von *ECOPRO* berechneten Ergebnisse für die einzelnen Wirkungskriterien erfolgte, kommt es zu Rundungsfehlern. Wenn also das auf diesem Weg erhaltene Rechenergebnis mit den Öko-Indikator-Punkten verglichen wird, die direkt aus *ECOPRO* entnommen werden, kann man kleinere Abweichungen erkennen. Offensichtlich sind die direkt *ECOPRO* entnommenen Werte genauer. Aus diesem Grund wird zur Darstellung des Gesamtergebnisses für den Öko-Indikator auf diese Werte zurückgegriffen (siehe Tabelle 28), während zur näheren Erläuterung der Ergebnisse des Öko-Indikators und seiner Zusammensetzung aus Einzelkriterien die selbst berechneten Werte verwendet werden (siehe Tabelle 29 und 30).

Tabelle 28 Öko-Indikator. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche (EBZ) und Jahr für alle Varianten sowie ihre Relation zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [Punkte]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [Millipunkte/m²a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	1.005	100	70,97	100
Haus A	829	82	58,88	83

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
6. Ergebnis der Bilanzierung

Haus B	936	93	65,73	93
Haus CI	862	86	53,88	76
Haus CII	852	85	53,25	75
Haus DI	730	73	49,86	70
Haus DII	1.483	148	101,30	143
Haus E	957	95	64,66	91

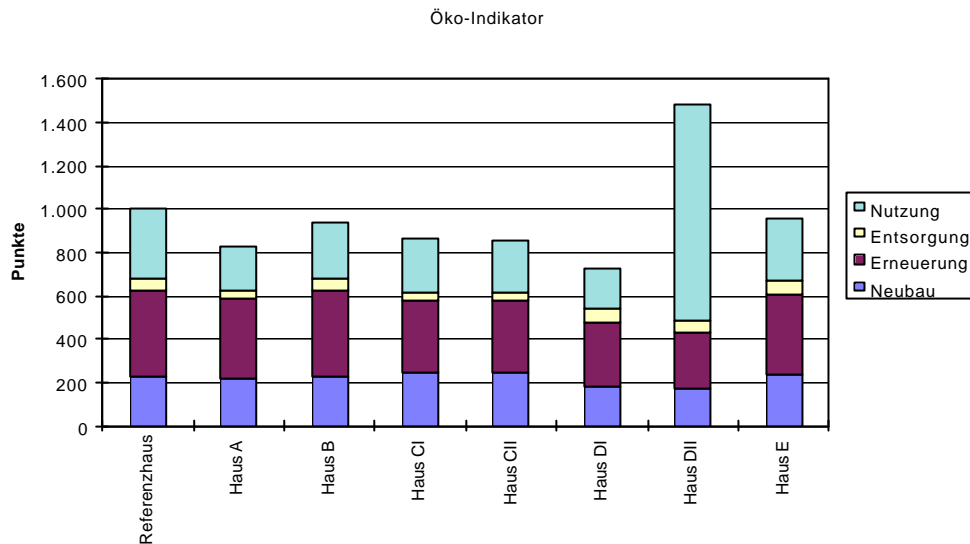


Abbildung 42 Anteil der Phasen am Öko-Indikator.

Das Gesamtergebnis des Öko-Indikators zeigt für das Referenzhaus über alle Lebenswegphasen ein Gesamtergebnis von 1005 Punkten. Im Vergleich dazu zeigen nur die Varianten DI mit einem um 27 Prozent besseren bzw. DII mit einem um 48 Prozent schlechteren Ergebnis deutliche Abweichungen. Die Werte der übrigen Varianten liegen zwar leicht unter demjenigen des Referenzhauses, um signifikante Abweichungen handelt es sich aber nicht. Betrachtet man die Beiträge der einzelnen Lebenswegphasen zum Gesamtergebnis, so fällt auf, dass - abgesehen von Variante DII - während der Erneuerungsphase die größten Belastungen entstehen (siehe Abbildung 42). Die Phasen Neubau und Nutzung sind dagegen weniger bedeutend, liegen aber in den einzelnen Varianten in der gleichen Größenordnung vor. Die Entsorgung ist durchweg mit einem geringen Anteil erkennbar.

Bei einer näheren Analyse der Nutzungsphase zeigt sich, dass der Stromverbrauch das Ergebnis relativ stark beeinflusst. Pro Terajoule Nutzenergie verur-

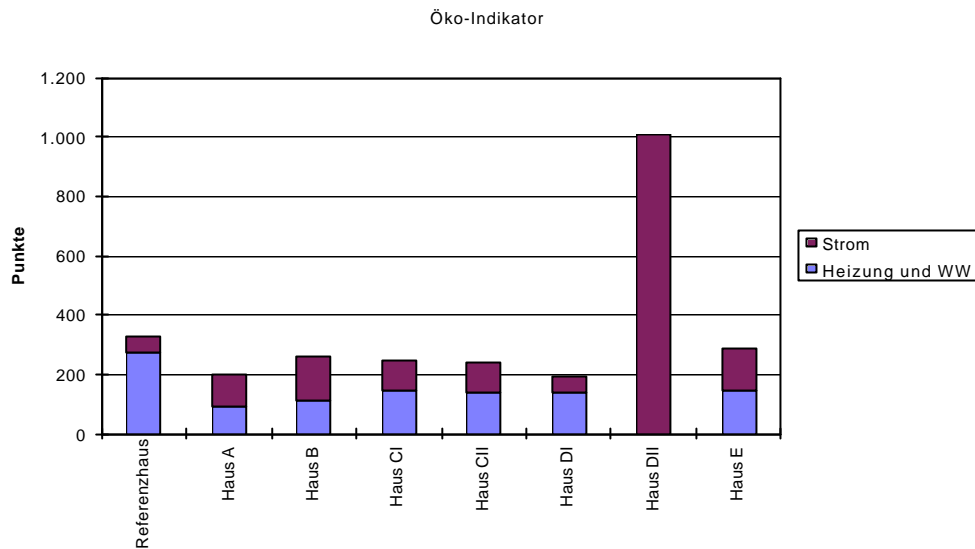


Abbildung 43 Anteil von Strom sowie Heizung und Warmwasserbereitstellung (WW) am Öko-Indikator während der Nutzungsphase.

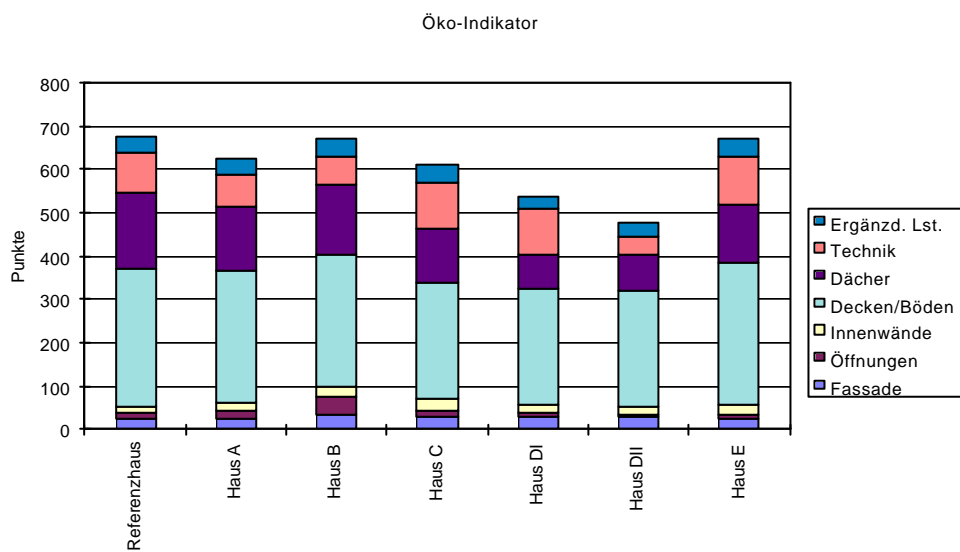


Abbildung 44 Anteil der Elementgruppen am Öko-Indikator über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

sacht der Stromverbrauch (Niederspannung UCPT-E-Mix) einen 7,65 mal höheren Wert für den Öko-Indikator als eine konventionelle Gasheizung. Aus diesem Grund ist das Resultat von Variante DII deutlich schlechter als dasjenige der anderen Varianten. In geringerem Ausmaß zeigt sich dies auch bei den Niedrigenergievarianten, die einen relativ hohen Stromverbrauch haben.

Die Beiträge der einzelnen Elementgruppen zu den Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung sind sehr unterschiedlich. Durchgängig bei allen Varianten erweist sich die

Gruppe Decken/Böden als die wichtigste Belastungsquelle. Daneben zeigen sich aber auch die Gruppe Dächer und Technik als weitere wichtige Quellen.

Die weitere Interpretation dieser Daten ist nur im Zusammenhang mit der Betrachtung der Anteile der Einzelkriterien am Öko-Indikator und ihrem Einfluss auf das Ergebnis sinnvoll. In der Folge kann dann auf die Kapitel 6.1.1.3 bis 6.1.1.10 verwiesen werden, in denen Erläuterungen zu den verschiedenen Kriterien schon erfolgt sind.

In Tabelle 29 sind die Anteile der Einzelkriterien am Öko-Indikator aufgeführt. Deutlich erkennbar hat das Kriterium Schwermetall den höchsten Anteil. Wichtige Beiträge leisten außerdem die Versauerung, das Treibhauspotenzial und die karzinogenen Substanzen. Sehr gering hingegen ist der Anteil des Überdüngungs- und des Ozonabbaupotenzials.

Tabelle 29 Gewichtetes Gesamtergebnis aller Varianten. Einheit: Punkte.

Haus-variante	Treibhaus-potenzial	Ozonabbau	Versae-rung	Überdü-n-gung	Sommer-smog	Winter-smog	Karzinog. Subst.	Schwer-metalle	Öko-Indi-kator
Referenzhaus	105,00	15,93	121,59	1,84	39,32	48,35	71,13	579,19	982,34
Haus A	57,12	14,10	105,66	1,34	24,94	54,69	38,28	520,26	816,39
Haus B	68,85	14,54	128,67	1,37	27,18	61,79	44,88	573,66	920,93
Haus CI	78,79	15,73	116,81	1,54	29,46	61,50	54,19	483,43	841,44
Haus CII	78,79	15,73	110,61	1,38	29,18	61,50	54,19	483,43	834,81
Haus DI	62,88	13,66	101,95	1,28	28,74	48,93	44,08	421,73	723,26
Haus DII	102,88	27,81	363,81	2,43	30,41	194,27	26,46	725,60	1473,66
Haus E	82,12	16,98	139,03	1,61	30,47	73,16	46,68	550,64	940,69

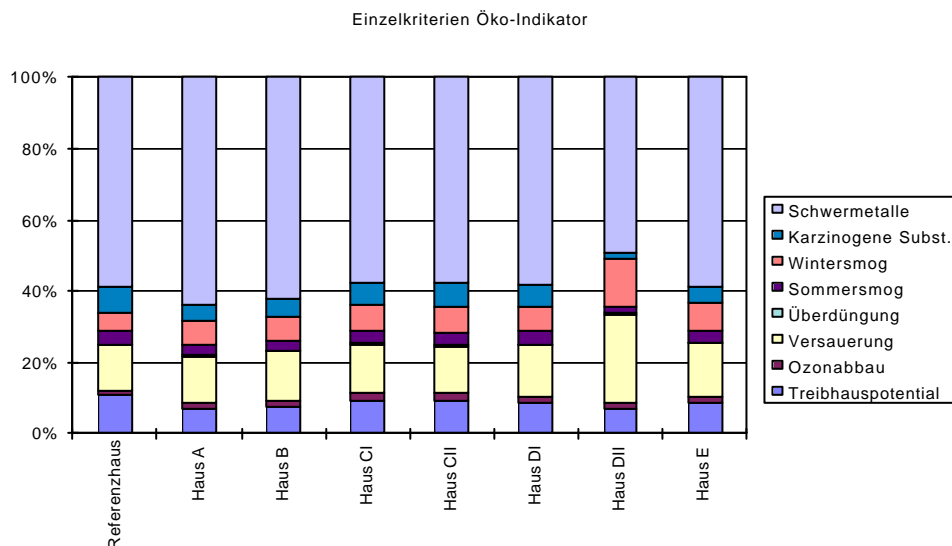


Abbildung 45 Prozentualer Anteil der Einzelkriterien am Gesamtergebnis aller untersuchten Varianten.

Tabelle 30 Prozentualer Anteil der Einzelkriterien am gewichteten Gesamtergebnis jeder Variante.

Prozent	Treibhaus- potenzial	Ozonabau	Versäue- rung	Überdü- ngung	Sommer- smog	Winters- mog	Karzinog. Subst.	Schwer- metalle	Öko-Indi- kator
Referenz- haus	10,69	1,62	12,38	0,19	4,00	4,92	7,24	58,96	100
Haus A	7,00	1,73	12,94	0,16	3,06	6,70	4,69	63,73	100
Haus B	7,48	1,58	13,97	0,15	2,95	6,71	4,87	62,29	100
Haus CI	9,36	1,87	13,88	0,18	3,50	7,31	6,44	57,45	100
Haus CII	9,44	1,88	13,25	0,17	3,49	7,37	6,49	57,91	100
Haus DI	8,69	1,89	14,10	0,18	3,97	6,76	6,10	58,31	100
Haus DII	6,98	1,89	24,69	0,17	2,06	13,18	1,80	49,24	100
Haus E	8,73	1,80	14,78	0,17	3,24	7,78	4,96	58,54	100

In Abbildung 45 sind die prozentualen Anteile der Einzelkriterien am Gesamtergebnis für alle Varianten dargestellt. Es bestätigt sehr deutlich das aus der Tabelle 29 gewonnene Bild. Das Kriterium Schwermetall ist bei allen Varianten für mindestens 49 Prozent (Haus DII) bis maximal 64 Prozent (Haus B) der Öko-Indikator-Punkte verantwortlich (siehe Tabelle 30). Entsprechend stark werden deshalb die Ergebnisse und ihre Interpretation von den in Kapitel 6.1.1.10 (Schwermetalle) geschilderten Eigenschaften der Gebäude geprägt.

6.2.2 Alternative Reduktionsfaktoren

6.2.2.1 Gewichtung

Die Verwendung der nach Braunschweig et al. (1996) modifizierten Reduktionsfaktoren des Öko-Indikators (siehe Kapitel 5.3.2), hier als alternative Reduktionsfaktoren bezeichnet, führt zu einem nur leicht veränderten Gesamtergebnis, verglichen mit den Ergebnissen des ursprünglichen Öko-Indikators (siehe Tabelle 31). Das höchste Ergebnis zeigt Variante DII mit einer um 35 Prozent höheren Punktzahl als das Referenzhaus. Nach unten weichen nur Haus DI mit einem 28 Prozent und Haus A mit einem 20 Prozent niedrigeren Wert deutlich vom Wert des Referenzhauses ab. Die Verteilung der Belastungen auf die einzelnen Phasen unterscheidet sich nicht von derjenigen des Öko-Indikators (siehe Abbildung 46).

Ähnlich wie bei den Anteilen der Phasen zum Gesamtergebnis, so zeigt sich auch bei der näheren Betrachtung der Beiträge der einzelnen Elementgruppen, wie in Abbildung 47 dargestellt, kein erkennbarer Unterschied zu den Ergebnissen des Öko-Indikators.

Die vorhandenen Unterschiede zwischen beiden Gewichtungen zeigen sich erst bei der genaueren Untersuchung der Beiträge der Einzelkriterien zum Gesamt-

Tabelle 31 Alternative Reduktionsfaktoren. Gesamtergebnis über alle Phasen und Ergebnis pro Energiebezugsfläche (EBZ) und Jahr für alle Varianten sowie ihre Relation zum Referenzhaus.

Hausvariante	Gesamtergebnis [Punkte]	Relation zum Referenzhaus [%]	Ergebnis pro EBZ und Jahr [Millipunkte/m²a]	Relation zum Referenzhaus [%]
Referenzhaus	1.011	100	71,42	100
Haus A	807	80	57,34	80
Haus B	912	90	64,02	90
Haus CI	847	84	52,93	74
Haus CII	843	83	52,71	74
Haus DI	722	71	49,33	69
Haus DII	1.368	135	93,47	131
Haus E	937	93	63,32	89

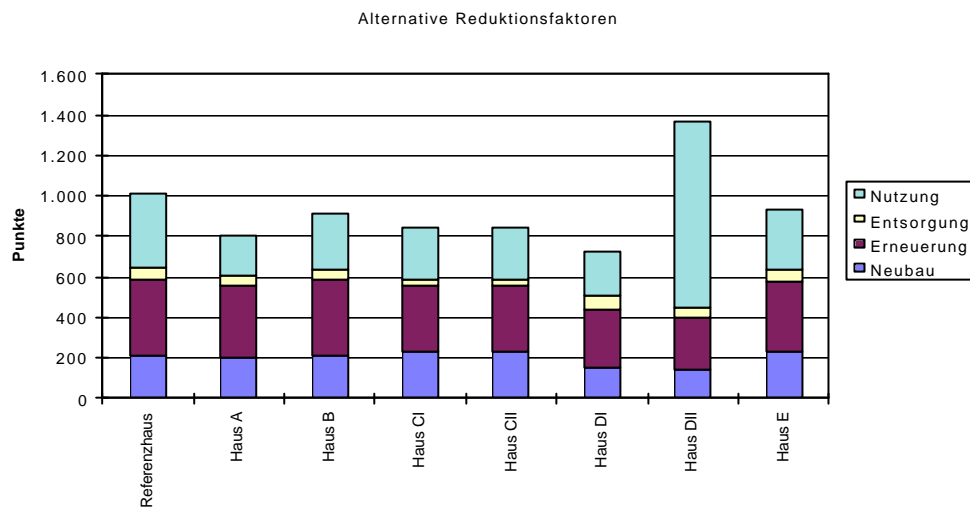


Abbildung 46 Anteil der Phasen an den alternativen Reduktionsfaktoren.

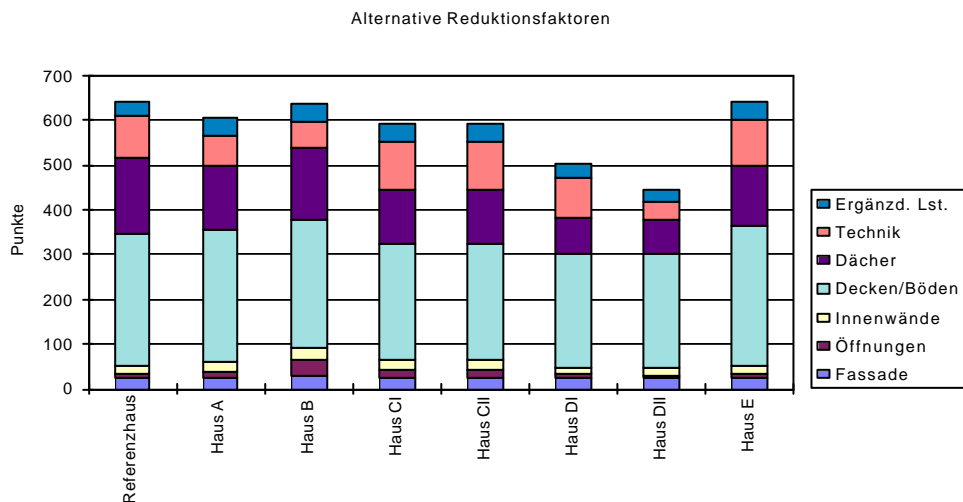


Abbildung 47 Anteil der Elementgruppen am Öko-Indikator über die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung.

ergebnis. Die absoluten Anteile der Einzelkriterien am Gesamtergebnis der jeweiligen Variante sind in Tabelle 32 dargestellt, die relativen Anteile in Tabelle 33. Eine deutliche Veränderung der relativen Anteile ist für vier Kriterien erkennbar. So trägt das Treibhauspotenzial zu einem doppelt so hohen Anteil zum Gesamtergebnis bei. Während die Anteile von Versauerung und Überdüngung nur halb so groß sind bzw. für das Ozonabbaupotenzial nur ein Zehntel des ursprünglichen Anteils betragen.

Praktisch unverändert sind die Anteile der übrigen Kriterien. Die Konsequenzen für das Gesamtergebnis sind allerdings, wie das relative Abschneiden der untersuchten Gebäude in Tabelle 31 gezeigt hat, nur gering. Der Grund liegt darin, dass das Kriterium Schwermetall das Ergebnis mit einem relativen Anteil von 53 Prozent (Haus DII) bis 64 Prozent (Haus B) maßgeblich bestimmt (siehe Tabelle 33). Es wird für beide Ansätze der Gewichtungsfaktor fünf verwendet. Die Beiträge der Einzelkriterien, die sich stark verändern, sind dagegen sehr viel geringer (Ozonabbau- und Überdüngungspotenzial) bzw. gleichen sich z.T. wieder aus (Treibhaus- und Versauerungspotenzial).

Tabelle 32 Auf der Basis der alternativen Reduktionsfaktoren gewichtetes Gesamtergebnis aller Varianten . Einheit: Punkte.

Haus-variante	Treibhauspotenzial	Ozonabbau	Versauerung	Überdüngung	Sommersmog	Wintersmog	Karzinog. Subst.	Schwermetalle	Alternat. Red.fakt.
Referenzhaus	210,00	1,59	60,80	0,92	39,32	48,35	71,13	579,19	1011,29
Haus A	114,23	1,41	52,83	0,67	24,94	54,69	38,28	520,26	807,31
Haus B	137,69	1,45	64,34	0,68	27,18	61,79	44,88	573,66	911,68
Haus CI	157,58	1,57	58,40	0,77	29,46	61,50	54,19	483,43	846,89
Haus CII	157,58	1,57	55,31	0,69	29,18	61,50	54,19	483,43	843,44
Haus DI	125,77	1,37	50,97	0,64	28,74	48,93	44,08	421,73	722,23
Haus DII	205,77	2,78	181,90	1,22	30,41	194,27	26,46	725,60	1368,40
Haus E	164,23	1,70	69,51	0,80	30,47	73,16	46,68	550,64	937,21

Tabelle 33 Relativer Anteil der Einzelkriterien am gewichteten Gesamtergebnis jeder Variante.

Prozent	Treibhauspotenzial	Ozonabbau	Versauerung	Überdüngung	Sommersmog	Wintersmog	Karzinog. Subst.	Schwermetalle	Alternat. Red.fakt.
Referenzhaus	20,77	0,16	6,01	0,09	3,89	4,78	7,03	57,27	100
Haus A	14,15	0,17	6,54	0,08	3,09	6,77	4,74	64,44	100
Haus B	15,10	0,16	7,06	0,08	2,98	6,78	4,92	62,92	100
Haus CI	18,61	0,19	6,90	0,09	3,48	7,26	6,40	57,08	100
Haus CII	18,68	0,19	6,56	0,08	3,46	7,29	6,43	57,32	100
Haus DI	17,41	0,19	7,06	0,09	3,98	6,77	6,10	58,39	100
Haus DII	15,04	0,20	13,29	0,09	2,22	14,20	1,93	53,03	100
Haus E	17,52	0,18	7,42	0,09	3,25	7,81	4,98	58,75	100

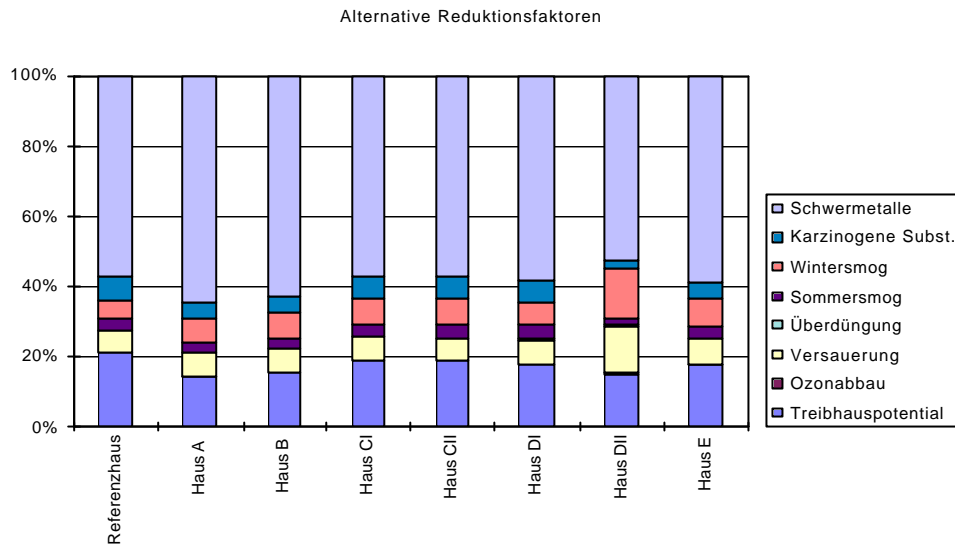


Abbildung 48 Prozentualer Anteil der Einzelkriterien am Gesamtergebnis aller untersuchten Varianten.

6.3 Sensitivitätsanalysen

6.3.1 Relevanz der untersuchten Kriterien

Die Einschätzung der allgemeinen Bedeutung der Kriterien erfolgte durch den Vergleich der Belastungen aus den untersuchten Gebäuden mit denjenigen Belastungen innerhalb eines Referenzraumes, der sowohl räumlich als auch zeitlich definiert ist. Aufgrund ihrer Bedeutung wird die Anzahl der zu berücksichtigenden Kriterien eingeschränkt. Dies vereinfacht die vergleichende Bewertung und schränkt somit auch die anschließende Erarbeitung von Optimierungsmaßnahmen auf sinnvolle Kriterien ein

In einem ersten Schritt werden die Werte der analysierten Häuser (pro Jahr) mit den Daten pro Einwohner für Deutschland (79,8 Mio. Einwohner) verglichen. Dies erfolgt auf der Basis des Jahres 1990 für die Kriterien „Primärenergiebedarf nicht erneuerbar“ und „Treibhauspotenzial“. 1990 wurden in Deutschland pro Einwohner 181,7 GJ nicht erneuerbarer Primärenergie verbraucht (Bundesminister für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 1992, S.23ff). Enthalten in diesem Wert sind die konkreten Verbräuche der nicht erneuerbaren Primärenergieträger sowohl für energetische als auch für stoffliche Zwecke. Damit ist neben dem Energieverbrauch der Energieinhalt hergestellter Produkte berücksichtigt und eine Vergleichbarkeit mit den im Fallbeispiel berechneten Daten gegeben. Ein Vergleich mit dem ermittelten jährlichen Primärenergiebedarf der analysierten Gebäudevarianten ergibt eine Streubreite von 66,75 GJ/Jahr (Haus A) bis 142,75 GJ/Jahr (Haus DII). Dies entspricht 37 bis 79 Prozent des pro-Kopf-Verbrauches. Der Beitrag der Gebäude ist somit erheblich.

Im Vergleich dazu liegt das Verhältnis der Belastungen der Gebäudevarianten zur pro-Kopf-Emission für das Treibhauspotenzial bei 26 Prozent (Haus A) bis 47 Prozent (Referenzhaus). Dem liegt eine Emission von 14,51 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Einwohner in Deutschland zugrunde (Zeithorizont 100 Jahre, berücksichtigt wurden CO₂, CH₄ und N₂O) (Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) 1994, S. 143).

Da weitere Daten auf vergleichbarer Berechnungsbasis wie die im Fallbeispiel verwendeten Kriterien für Deutschland nicht zur Verfügung stehen, wird im Folgenden auf die in (Goedkoop 1995) angegebenen europäischen pro-Kopf-Emissionen Bezug genommen (basierend auf Daten der Jahre 1987 bis 1991). Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 34 gezeigt.

Tabelle 34 Relation der jährlichen Belastungen aller Hausvarianten zu den jährlichen pro-Kopf-Emissionen in Europa. Angaben in Prozent (Berechnungen nach Goedkoop (1995), vergleiche Kapitel 5.3.2 und 7.2.7).

Prozent	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CI	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
Treibhauspotenzial	52,50	28,56	34,42	39,39	39,39	31,44	51,44	41,06
Ozonabbau	0,20	0,18	0,18	0,20	0,20	0,17	0,35	0,21
Versauerung	15,20	13,21	16,08	14,60	13,83	12,74	45,48	17,38
Überdüngung	0,46	0,34	0,34	0,39	0,35	0,32	0,61	0,40
Sommersmog	19,66	12,47	13,59	14,73	14,59	14,37	15,20	15,24
Wintersmog	12,09	13,67	15,45	15,37	15,37	12,23	48,57	18,29
Karzinogene Substanzen	8,89	4,78	5,61	6,77	6,77	5,51	3,31	5,84
Schwermetalle	144,80	130,06	143,42	120,86	120,86	105,43	181,40	137,66

Zu erkennen ist, dass die untersuchten Gebäude bezogen auf die Kriterien Ozonabbau und Überdüngungspotenzial mit 0,18 bis 0,61 Prozent der jährlichen Belastung in Europa nur einen relativ geringen Beitrag zu diesen Umweltproblemfeldern leisten. Die Hauptverursacher sind also in anderen Produktgruppen zu suchen. Ähnlich verhält es sich mit der Kategorie karzinogene Substanzen, die Werte zwischen 3 und 9 Prozent aufweist.

Die übrigen Kriterien zeigen hingegen einen vergleichsweise hohen Anteil an den Gesamtbelastungen. Den größten Beitrag (105 bis 181 Prozent) leisten Gebäude bezogen auf das Kriterium Schwermetalle. Werte über 100 Prozent können aus zweierlei Gründen entstehen: zum einen durch zu niedrig geschätzte Gesamtemissionen; zum anderen aber auch durch die Tatsache, dass die Belastungen von ganzen Gebäuden mit pro-Kopf-Emissionen verglichen werden.

Die Unsicherheiten der europäischen Emissionsdaten werden von Goedkoop (1995) für die Kriterien Ozonabbaupotenzial, karzinogene Substanzen und Schwermetall als hoch eingeschätzt. Die Abweichungen der Emissionsdaten können hier bei -50 bis +100 Prozent liegen (entspricht Faktor 2). Die Unsicherheiten für die übrigen Kriterien werden mit ±10 Prozent angegeben.

6.3.2 Korrelation der untersuchten Kriterien

Auch dieses Vorgehen kann unter Umständen dazu beitragen, die Anzahl der betrachteten Kriterien einzuschränken. Dies ist dann der Fall, wenn sich durch die Berücksichtigung von zwei Kriterien nicht mehr Information für eine vergleichende Bewertung ergibt als durch die Berücksichtigung nur eines Kriteriums.

Im ersten Schritt erfolgt die Analyse der Gesamtergebnisse aller untersuchten Gebäude für alle Kriterien (ausgenommen Abfallkriterien und Stofffluss). In Tabelle 35 sind die Korrelationskoeffizienten dargestellt. Werte über 0,9 deuten auf eine starke Korrelation

der jeweiligen Kriterien hin. Korreliert sind beispielsweise (die Korrelation ist jeweils gegenseitig) der PEB n.e. und das Treibhauspotenzial.

Wie unterscheiden sich aber die einzelnen Phasen, insbesondere die Summe der „konstruktiven“ von der Nutzungsphase?

Für die Nutzungsphase, deren Korrelationskoeffizienten in Tabelle 36 zusammengestellt sind, lassen sich viele sehr hohe positive Korrelationen ausmachen. Allein der Öko-Indikator korreliert sehr stark mit sechs und noch relativ stark mit weiteren zwei der untersuchten Kriterien. Einzig die Kriterien Sommersmog und karzinogene Substanzen lassen sich dadurch nicht abdecken.

Tabelle 35 Korrelation der verschiedenen Kriterien auf der Basis der Gesamtergebnisse aller untersuchten Gebäude.

Kriterien	PEB n.e.	PEB e.	Treibhauspot.	Ozonabbau	Versauerung	Überdüngung	Sommersmog	Wintersmog	Karzin. Subst.	Schwermetalle	Öko-Indikator
PEB n.e.	1										
PEB e.	0,643	1									
Treibhauspot.	0,955	0,389	1								
Ozonabbau	0,819	0,807	0,681	1							
Versauerung	0,773	0,868	0,600	0,986	1						
Überdüngung	0,945	0,731	0,858	0,936	0,906	1					
Sommersmog	0,687	0,035	0,809	0,162	0,079	0,463	1				
Wintersmog	0,715	0,847	0,540	0,982	0,994	0,867	-0,009	1			
Karzin. Subst.	0,003	-0,636	0,242	-0,537	-0,622	-0,263	0,689	-0,677	1		
Schwermetalle	0,748	0,684	0,631	0,835	0,867	0,856	0,212	0,830	-0,431	1	
Öko-Indikator	0,852	0,787	0,722	0,961	0,967	0,952	0,246	0,941	-0,464	0,950	1

Tabelle 36 Korrelation der verschiedenen Kriterien auf der Basis der Belastung der Nutzungsphase aller untersuchten Gebäude.

Kriterien	PEB n.e.	PEB e.	Treibhauspot.	Ozonabbau	Versauerung	Überdüngung	Sommersmog	Wintersmog	Karzin. Subst.	Schwermetalle	Öko-Indikator
PEB n.e.	1										
PEB e.	0,784	1									
Treibhauspot.	0,993	0,707	1								
Ozonabbau	0,832	0,996	0,762	1							
Versauerung	0,796	0,997	0,721	0,998	1						
Überdüngung	0,949	0,885	0,916	0,920	0,905	1					
Sommersmog	0,716	0,129	0,791	0,209	0,149	0,521	1				
Wintersmog	0,756	0,998	0,675	0,992	0,997	0,872	0,085	1			
Karzin. Subst.	0,159	-0,486	0,272	-0,415	-0,470	-0,081	0,802	-0,526	1		
Schwermetalle	0,772	0,999	0,693	0,995	0,999	0,882	0,109	1,000	-0,505	1	
Öko-Indikator	0,847	0,992	0,780	0,999	0,996	0,933	0,236	0,988	-0,390	0,991	1

Tabelle 37 Korrelation der verschiedenen Kriterien auf der Basis der Belastung der Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung aller untersuchten Gebäude.

Kriterien	PEB n.e.	PEB e.	Treibhauspot.	Ozonabbau	Versauerung	Überdüngung	Sommersmog	Wintersmog	Karzin. Subst.	Schwermetalle	Öko-Indikator
PEB n.e.	1										
PEB e.	-0,815	1									
Treibhauspot.	0,912	-0,978	1								
Ozonabbau	0,906	-0,795	0,881	1							
Versauerung	0,290	-0,226	0,276	0,346	1						
Überdüngung	0,592	-0,074	0,265	0,477	0,387	1					
Sommersmog	0,543	-0,454	0,536	0,803	0,632	0,356	1				
Wintersmog	0,822	-0,694	0,790	0,902	0,639	0,621	0,816	1			
Karzin. Subst.	0,706	-0,677	0,720	0,480	-0,058	0,372	-0,016	0,460	1		
Schwermetalle	0,025	-0,478	0,348	0,083	0,232	-0,631	0,175	0,020	0,062	1	
Öko-Indikator	0,254	-0,651	0,551	0,304	0,379	-0,433	0,343	0,270	0,220	0,966	1

Beschränkt man sich hingegen auf die „nicht-Nutzungsphasen“, wie in Tabelle 37 gezeigt, so treten deutlich weniger Korrelationen auf. Dies ist wenig erstaunlich, liegen den Belastungen in den einzelnen Varianten materialbedingt doch ganz unterschiedliche Prozesse zugrunde.

Dennoch bestehen für einzelne Kriterien Korrelationen: Sehr stark ist die negative Korrelation zwischen Treibhauspotenzial und PEB e.. Ebenfalls sehr deutlich ist die positive Korrelation zwischen dem Öko-Indikator und den Schwermetallen. Positiv korreliert sind außerdem das Treibhauspotenzial mit dem Ozonabbau und der Ozonabbau mit dem Wintersmog.

Insgesamt lässt sich im Rahmen des Fallbeispiel schlussfolgern, dass für die Betrachtung der Nutzungsphase allein sehr wenige Kriterien ausreichend sind, konkret der Öko-Indikator, Sommersmog und karzinogene Substanzen. Ergänzend daneben allenfalls PEB n.e. und das Treibhauspotenzial.

Betrachtet man hingegen die übrigen Phasen oder das Gesamtergebnis über alle Phasen, so lässt sich die Auswahl der Kriterien wesentlich weniger stark einschränken. Am ehesten können Öko-Indikator und Treibhauspotenzial entfallen, der Ozonabbau ist, wie im vorigen Kapitel begründet wurde, sowieso nur von geringer Relevanz.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden sieben verschiedene Gebäude analysiert. Damit handelt es sich mit n=7 statistisch gesehen nur um eine kleine Stichprobe. Aus diesem Grund ist eine direkte Übertragung der Schlussfolgerungen auf andere Gebäude nicht zulässig. Je nach involvierten Prozessen sind andere Korrelationen denkbar.

6.3.3 Betrachtungszeitraum

Die zeitlichen Verläufe wurden abgesehen von den Abfallkriterien und dem Primärenergiebedarf erneuerbar für alle Kriterien ermittelt. Die Daten befinden sich in

Anhang 4. In diesem Kapitel wird nur ein Teil der Kriterien dargestellt. An ihm lassen sich die Tendenzen der Ergebnisse jedoch klar zeigen.

Im Hintergrund steht die Frage, welcher - möglichst kurze - Betrachtungszeitraum noch geeignet ist ein eindeutiges Ergebnis beim Vergleich der untersuchten Varianten zu liefern. Als Richtschnur soll dabei das Ergebnis gelten, welches ein Zeitraum von 80 Jahren ergibt.

In Abbildung 49 ist der zeitliche Verlauf des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar dargestellt. Man erkennt, dass, nach anfänglichem Start auf gleichem Niveau, die Varianten im Lauf der Jahre immer deutlicher Unterschiede zeigen. Schon nach 40 Jahren zeichnet sich das Ergebnis eindeutig ab, was sich auch nach 80 Jahren ergibt: das Referenzhaus ist die Variante mit dem höchsten, Haus A dagegen die Variante mit dem tiefsten Ergebnis. Bis auf Variante DII liegen die Ergebnisse aller übrigen Häuser deutlich tiefer als dasjenige des Referenzhauses. 20 Jahre hingegen erscheinen zu kurz, um schon sichere Aussagen treffen zu können.

Der Verlauf der Geraden ist ohne Sprünge, da die Erneuerungsphase für dieses Kriterium nur eine untergeordnete Rolle spielt, während die wesentlich wichtigere Nutzungsphase einen kontinuierlichen Primärenergiebedarf zeigt.

Wie verhält es sich, wenn man die Relation der Varianten zum Referenzhaus über den Lauf der 80 Jahre vergleicht? Noch eindeutiger als in Abbildung 49

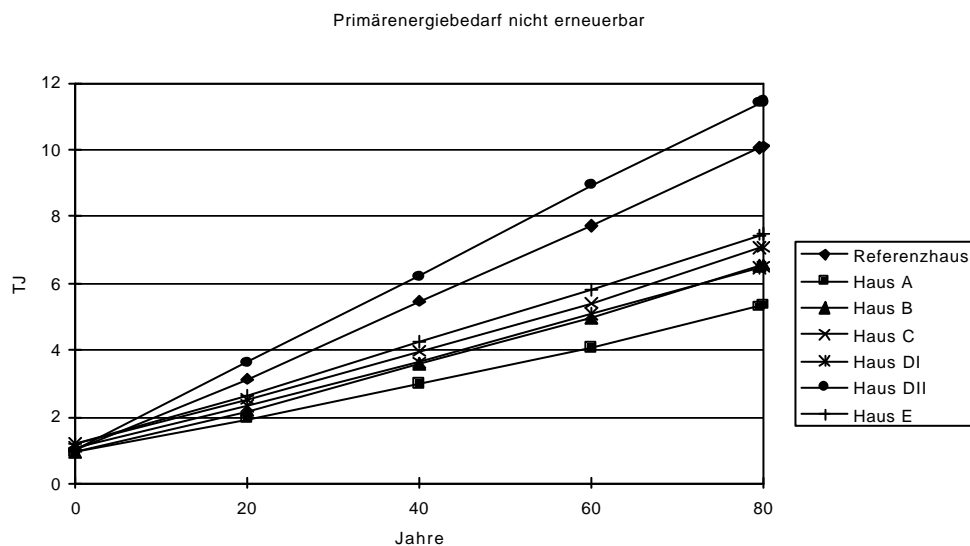


Abbildung 49 Zeitlicher Verlauf des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar.

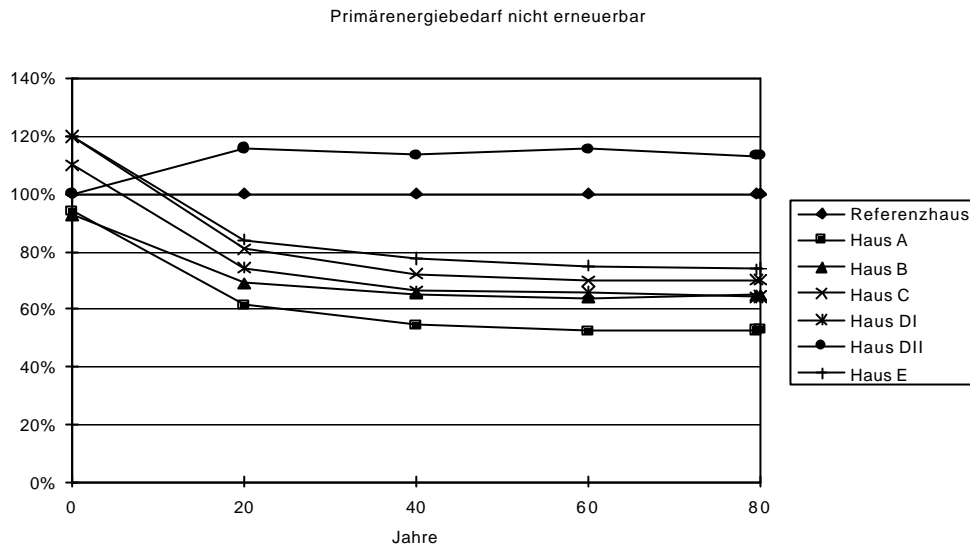


Abbildung 50 Veränderung der Relation der Varianten zum Referenzhaus über den gesamten Lebensweg für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar.

erkennbar, zeichnet sich das Endergebnis nach 40 Jahren deutlich ab, wie Abbildung 50 zeigt, Zwischen den Jahren 40 und 80 kommt es zu keiner wesentlichen Veränderung der Relationen mehr.

Für die Kriterien Ozonabbaupotenzial, Überdüngung, Wintersmog und Karzinogene Substanzen gilt die gleiche Aussage wie für den Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: Nach 40 Jahren zeichnet sich das Endergebnis eindeutig ab. In der Folge würde für diese Kriterien eine Ökobilanz mit einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren zum gleichen Ergebnis kommen wie eine Bilanz über einen Zeitraum von 80 Jahren. Die Entsorgung spielt bei keinem Kriterium eine entscheidende Rolle.

Da die Ergebnisse des Kriteriums Schwermetall ganz wesentlich durch die Belastungen der Erneuerungsphase bestimmt werden, wird im Folgenden der zeitliche Verlauf für dieses Kriterium gesondert dargestellt.

Wie man in Abbildung 51 erkennen kann, ist der Verlauf der Schwermetallbelastungen nicht linear, vielmehr zeigen sich von Zeitpunkt zu Zeitpunkt unterschiedliche Steigungen der Geraden. Grund dafür ist der Einfluss der Erneuerungszyklen. Da die Erneuerungsphase wie in Kapitel 6.1.1.10 gezeigt wurde, die wesentliche Quelle der Schwermetallbelastungen darstellt, zeigen sich die Effekte der nur unregelmäßig erfolgenden Erneuerungsmaßnahmen. Im Gegensatz dazu erfolgen die Belastungen der Nutzungsphase kontinuierlich über die Zeit.

Betrachtet man die Relation der Varianten zum Referenzhaus über die Zeit, so erkennt man den eben geschilderten Effekt noch deutlicher. Da sich zwischen 40 und 60 Jahren die relative Position von Haus C ändert ist erst nach 60 Jahren eine eindeutige Aussage möglich. Die wichtigsten Tendenzen zeichnen sich aber schon vorher ab: Haus DI zeigt

die tiefste Belastung, Haus DII die höchste. Die übrigen Varianten bewegen sich im Bereich zwischen 0 und 20 Prozent unter dem Wert des Referenzhauses. Auch für das Kriterium Schwermetall bringt demnach ein Betrachtungszeitraum von 40 Jahren das gleiche Ergebnis wie ein Zeitraum von 80 Jahren.

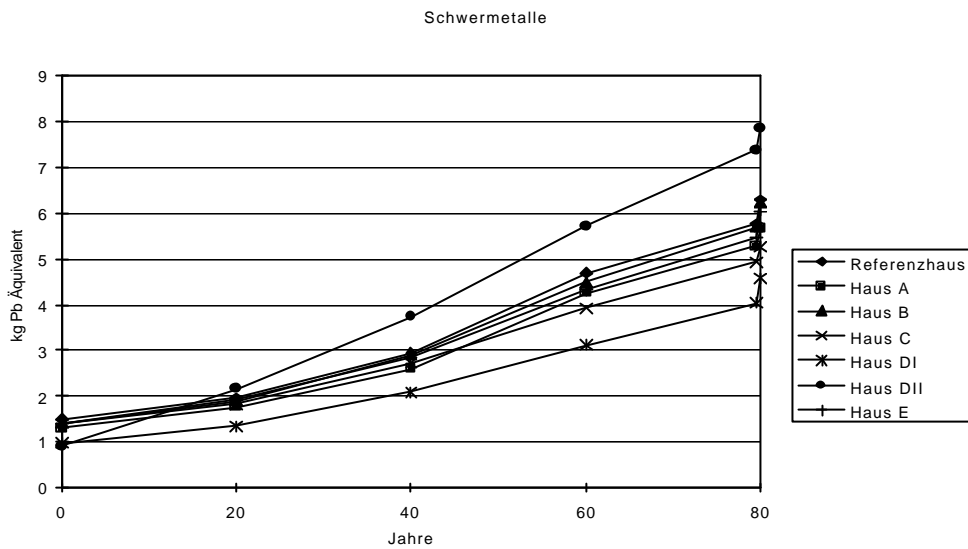


Abbildung 51 Zeitlicher Verlauf für das Kriterium Schwermetall.

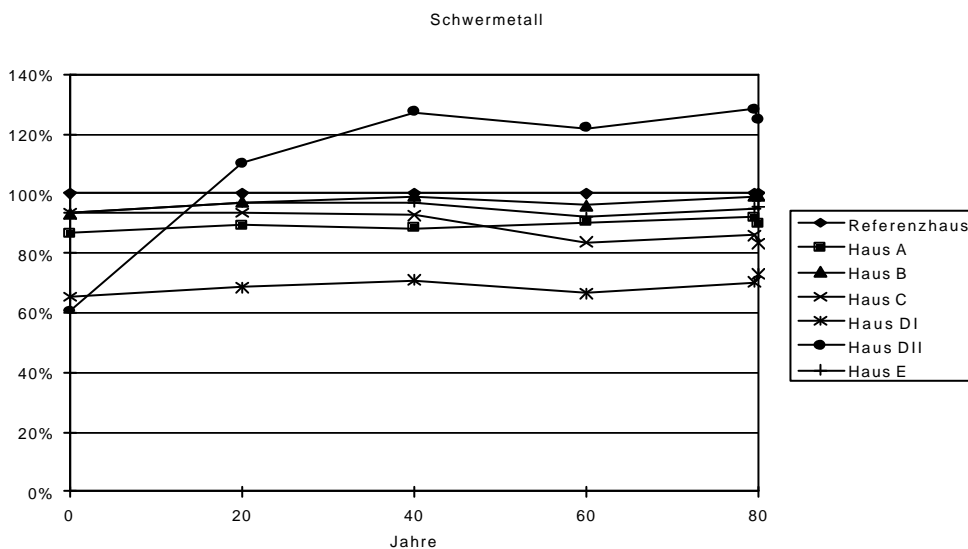


Abbildung 52 Veränderung der Relation der Varianten zum Referenzhaus über den gesamten Lebensweg für das Kriterium Schwermetall.

Für das Kriterium Treibhauspotenzial sieht die Situation etwas anders aus. Erst zum Zeitpunkt 60 Jahre würde ein Vergleich der Varianten zum gleichen Ergebnis kommen wie nach dem vollen Lebenszyklus von 80 Jahren (siehe Abbildung 53). Es fallen

einerseits das Referenzhaus und Haus DII auf, deren Neubau auf relativ niedrigem Niveau liegt, die aber im Verlauf ein deutlich stärker ansteigendes Treibhauspotenzial besitzen als die übrigen Varianten und letztendlich die höchsten Werte aufweisen. Einen dazu entgegengesetzten Verlauf zeigt Haus A, welches zum Beginn einen Wert im mittleren Bereich aufweist, infolge der geringeren Steigung aber über die Zeit schließlich den niedrigsten Endwert ergibt.

Auch hier zeigen sich keine Sprünge im Verlauf der Geraden. Ähnlich wie für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar liegt auch hier der Grund darin, dass die Hauptquelle für das Treibhauspotenzial in der Nutzungsphase liegt.

Abbildung 54 verdeutlicht noch einmal obige Aussage. Außerdem erkennt man besser, wie sich die in Abbildung 53 erkennbaren unterschiedlichen Steigungen der Geraden der einzelnen Varianten auf die Relation zum Referenzhaus auswirken. Die Effekte des Neubaus werden erst zum Zeitpunkt von 60 Jahren durch die Effekte der Nutzungsphase voll ausgeglichen. Entsprechend ändert sich während der Jahre 60 und 80 die Relation der Varianten praktisch nicht mehr. Bei einem Betrachtungszeitraum von 60 Jahren sind abgesehen von Haus DII alle Varianten eindeutig weniger belastend als das Referenzhaus.

Neben dem Treibhauspotenzial ergeben sich auch für die Kriterien Versauerungspotenzial, Sommersmog und Öko-Indikator erst nach 60 Jahren Ergebnisse, die das Endergebnis eindeutig widerspiegeln. Die Belastungen der Entsorgungsphase spielen bei keinem Kriterium eine entscheidende Rolle.

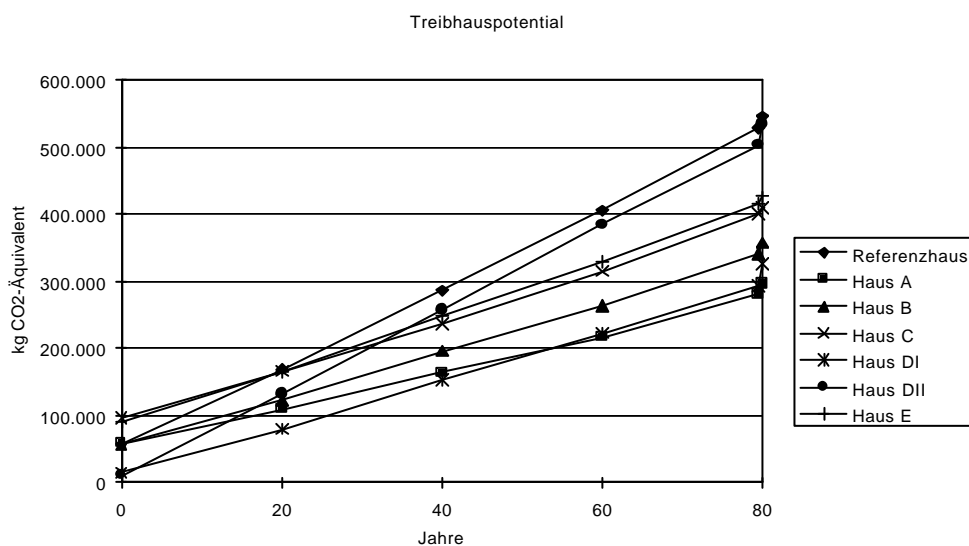


Abbildung 53 Zeitlicher Verlauf des Treibhauspotenzials.

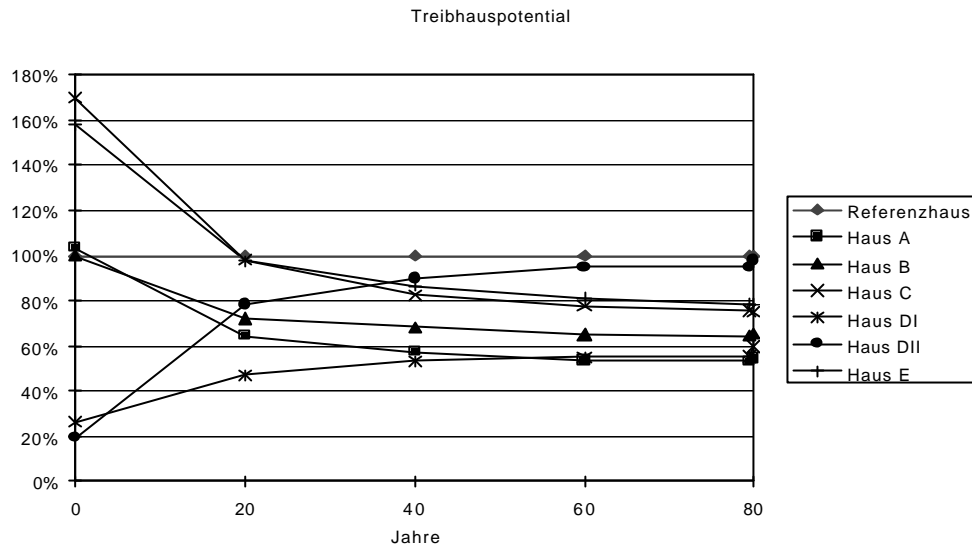


Abbildung 54 Veränderung der Relation der Varianten zum Referenzhaus über den gesamten Lebensweg für das Kriterium Treibhauspotential.

6.3.4 Lebensdauer der Elemente

Wie in Kapitel 7.1.2.2 diskutiert wird, ist die Festlegung der Lebensdauern der Elemente mit Unsicherheiten behaftet. Aus diesem Grund wurden die Lebensdauern im Rahmen von best-case-, d.h. besonders lange, und worst-case-Szenarien, d.h. besonders kurze Lebensdauern der Elemente, variiert und die unterschiedlichen Resultate verglichen.

Der Effekt auf das Endergebnis ist je nach Kriterium unterschiedlich stark. Als Indikator für den Umfang des Effektes kann der jeweilige Anteil der Erneuerungsphase bei einer mittleren Elementlebensdauer verwendet werden. Je höher die relative Belastung durch die Erneuerungsphase ist, um so größer werden die Effekte der variierten Elementlebensdauern. Abbildung 55 zeigt dies deutlich.

Zur Darstellung der Ergebnisse der best- und worst-case-Szenarien für die Elementlebensdauern wurde aus den ermittelten Kriterien eine Auswahl getroffen. Es wurden vier Klassen von Kriterien gebildet, aus denen nach Möglichkeit je ein typischer Vertreter herausgegriffen und im Folgenden näher erläutert wird (vergleiche Kapitel 6.3.3 und 7.2.3). Die Einteilung der Kriterien in Klassen erfolgte entsprechend der im Fallbeispiel bei mittlerer Lebensdauer der Elemente ermittelten Anteile an der Erneuerungsphase (siehe Tabelle 38).

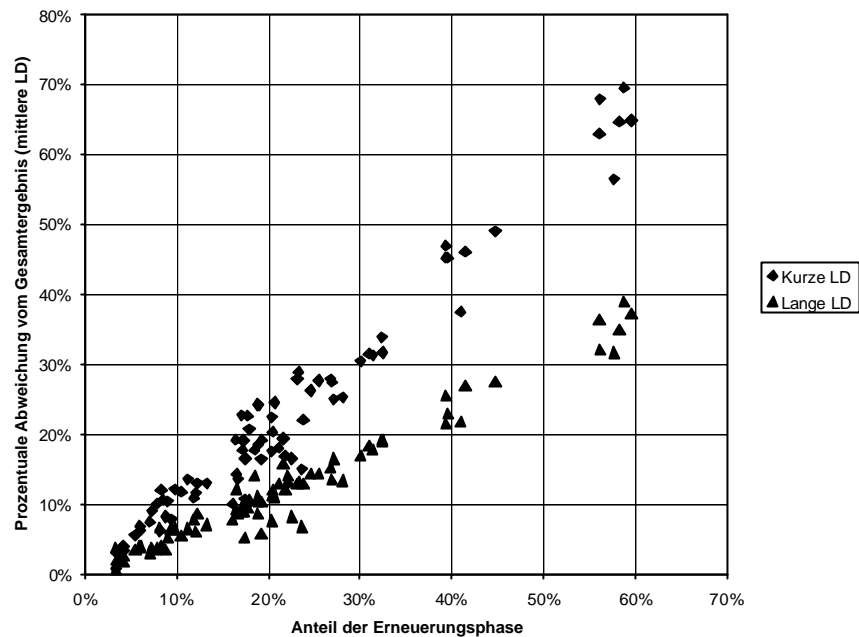


Abbildung 55 Korrelation des Anteils der Erneuerungsphase mit der Höhe der Abweichungen durch die Variation der Erneuerungsphase. Aufgetragen ist auf der X-Achse der Anteil der Erneuerungsphase; auf der Y-Achse ist die Abweichung des Gesamtergebnisses des best-case-Szenarios (lange LD) und des worst-case-Szenarios (kurze LD) vom Gesamtergebnis bei mittlerer Elementlebensdauer aufgetragen. Es sind die Ergebnisse aller Varianten sowie aller Kriterien abgesehen von den Abfallkriterien dargestellt.

Es wurde je ein Kriterium mit einem Anteil von 25 bis 50 Prozent (Ozonabbaupotenzial) und 50 bis 75 Prozent (Schwermetall) ausgewählt. Die Klasse 75 bis 100 Prozent ist unbesetzt. Aus der Klasse 0 bis 25 Prozent wurden zwei Kriterien (Primärenergiebedarf nicht erneuerbar und Versauerungspotenzial), ausgewählt, da der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar im unteren Bereich der Klasse, das Versauerungspotenzial im oberen Bereich liegt.

Der geringe Anteil der Erneuerungsphase am Gesamtbedarf nicht erneuerbarer Energie führt in allen Varianten zu nur geringfügig unterschiedlichen Gesamtergebnissen für die drei Szenarien (siehe Tabelle 39 und Abbildung 56).

Tabelle 38 Auswahl der dargestellten Kriterien nach dem jeweiligen Anteil der Erneuerungsphase an der Gesamtbelastung.

Kriterium	Streubereich der Klasse [%]	Anteil der Varianten [%]	Ausreißer (Haus DII) [%]
PEB nicht erneuerbar	0-25	6-12	4
Versauerungspotenzial	0-25	18-24	5
Öko-Indikator	25-50	39-44	19
Schwermetalle	50-75	52-58	32

Für die Variante DII führen die unterschiedlichen Lebensdauern der Elemente mit nur 0,53 TJ Unterschied zu den am wenigsten abweichenden Gesamtergebnissen. Dabei liegt das Gesamtergebnis für das worst-case-Szenario um 3 Prozent schlechter während das best-case Szenario nur 1,5 Prozent besser abschneidet. Einerseits liegt dies daran, dass DII technisch am wenigsten aufwendig ausgestattet ist, insbesondere kurzlebige Elemente wie z.B. der Heizkessel wegfallen. Daneben weist DII infolge seiner Elektroheizung aber auch den höchsten Primärenergiebedarf nicht erneuerbar von allen Varianten während der Nutzungsphase auf. Dieser Beitrag ändert sich bei Variation der Elementlebensdauern nicht.

Das Referenzhaus zeigt ebenfalls relativ geringe Abweichungen der Gesamtergebnisse. Auch hier kann die Ursache im hohen Anteil der Nutzungsphase gefunden werden.

Die Relation der Varianten zum Referenzhaus zeigt beim Vergleich der drei Szenarien nur geringe Unterschiede, die zu keiner anderen Einschätzung der Gebäude zueinander führen. Das Ergebnis von Variante DII verschlechtert sich relativ zum Referenzhaus je länger die Lebensdauer der Elemente angenommen wird. Grund hierfür ist die Zunahme des relativen Anteils der für DII ungünstigeren Nutzungsphase. Für die übrigen Varianten verhält es sich genau umgekehrt. Je länger die Lebensdauer der Elemente, desto besser schneiden die Varianten im Vergleich zum Referenzhaus ab. Auch hier liegt der Grund in der Verschiebung der relativen Bedeutung der in diesem Fall im Vergleich zum Referenzhaus günstigeren Nutzungsphase.

Die Ergebnisse für das Kriterium Versauerungspotenzial unterscheiden sich insofern von den für den Primärenergiebedarf dargestellten, als sie durch die Effekte des Stromverbrauchs während der Nutzungsphase stärker beeinflusst werden.

Tabelle 39 Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.

Hausvariante	Gesamtergebnis [TJ]			Relation zum Referenzhaus [%]		
	kurze LD	mittlere LD	lange LD	kurze LD	mittlere LD	lange LD
Referenzhaus	10,68	10,09	9,78	100	100	100
Haus A	5,95	5,34	5,04	56	53	52
Haus B	7,23	6,56	6,21	68	65	64
Haus C	7,74	7,09	6,78	72	70	69
Haus DI	6,92	6,50	6,29	65	64	64
Haus DII	11,78	11,42	11,25	110	113	115
Haus E	8,08	7,48	7,21	76	74	74

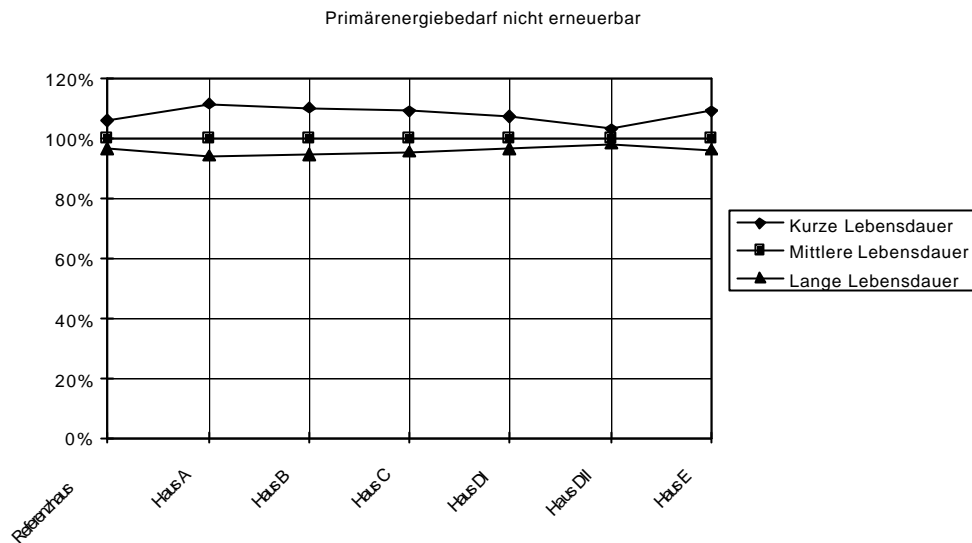


Abbildung 56 Prozentuale Veränderung des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer. Das jeweilige Gesamtergebnis bei einer mittleren Lebensdauer entspricht 100 Prozent.

Das Gesamtergebnis für das Kriterium Versauerungspotenzial und die Relation der Varianten zum Referenzhaus sind für alle drei Szenarien in Tabelle 40 dargestellt. Die Relation der Varianten zum Referenzhaus verändert sich bei Variation der Elementlebensdauer nur geringfügig. Einzig für Haus DI könnte man zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, je nachdem welche Lebensdauer man zugrunde legt. Das Szenario kurze Lebensdauer ergibt für Haus DI ein um 20,5 Prozent besseres Ergebnis als das Referenzhaus, während die Szenarien mittlere bzw. lange Lebensdauer zu nur 16 bzw. 15 Prozent besseren Ergebnissen führen. Zwar liegt DI immer günstiger als das Referenzhaus, man würde aber nur das Ergebnis basierend auf der kurzen Lebensdauer für genügend eindeutig einschätzen.

Eine kurze Lebensdauer der Elemente resultiert für das Kriterium Versauerungspotenzial, wie Abbildung 57 zeigt, abgesehen von Haus DII bei allen Varianten in einem um 20 Prozent höheren Gesamtergebnis verglichen mit der mittleren Lebensdauer. Im Gegensatz dazu führt die lange Lebensdauer zu einem etwa 10 Prozent niedrigeren Gesamtergebnis. Für Variante DII bewegt sich dieser Bereich zwischen 4 Prozent über bzw. 2 Prozent unter dem Wert für die mittlere Elementlebensdauer.

Zu einer falschen vergleichenden Bewertung würde man dann kommen, wenn man die Elemente für die einzelnen Varianten unterschiedlichen Szenarien entnehmen würde. Beispielsweise wenn für das Referenzhaus Elemente mit langer Lebensdauer verwendet würden, für Haus B hingegen solche mit einer kurzen Lebensdauer. Das

Resultat würde fälschlicherweise zeigen, dass die Variante B ein um 40 Prozent höheres Versauerungspotenzial verursacht als das Referenzhaus. Bei gleicher Lebensdauer ist das Ergebnis von Haus B hingegen nur 4 Prozent schlechter, weicht also nicht deutlich vom Referenzhaus ab.

Für das Kriterium Öko-Indikator gilt, dass der Anteil der Belastung aus der Erneuerungsphase zwischen 39 und 44 Prozent des Gesamtergebnisses ausmacht (Haus DII liegt nur bei 19 Prozent). Aus diesem Grund ist der Einfluss, den die Variation der Elementlebensdauern auf das Ergebnis der Bilanz ausübt, größer als bei den vorangehenden Kriterien.

In Abbildung 58 ist der Streubereich des Gesamtergebnisses auf der Basis der drei Lebensdauerszenarien dargestellt. Legt man die kurze Lebensdauer zugrunde, so liegen die Ergebnisse um ca. 40 Prozent höher als bei der mittleren

Tabelle 40 Versauerungspotenzial (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg SO ₂ -Äquivalent]			Relation zum Referenzhaus [%]		
	kurze LD	mittlere LD	lange LD	kurze LD	mittlere LD	lange LD
Referenzhaus	1.681	1.374	1.246	100	100	100
Haus A	1.470	1.194	1.064	87	87	85
Haus B	1.750	1.454	1.298	104	106	104
Haus CI	1.603	1.320	1.195	95	96	96
Haus CII	1.533	1.250	1.125	91	91	90
Haus DI	1.336	1.152	1.055	79	84	85
Haus DII	4.271	4.111	4.028	254	299	323
Haus E	1.844	1.571	1.449	110	114	116

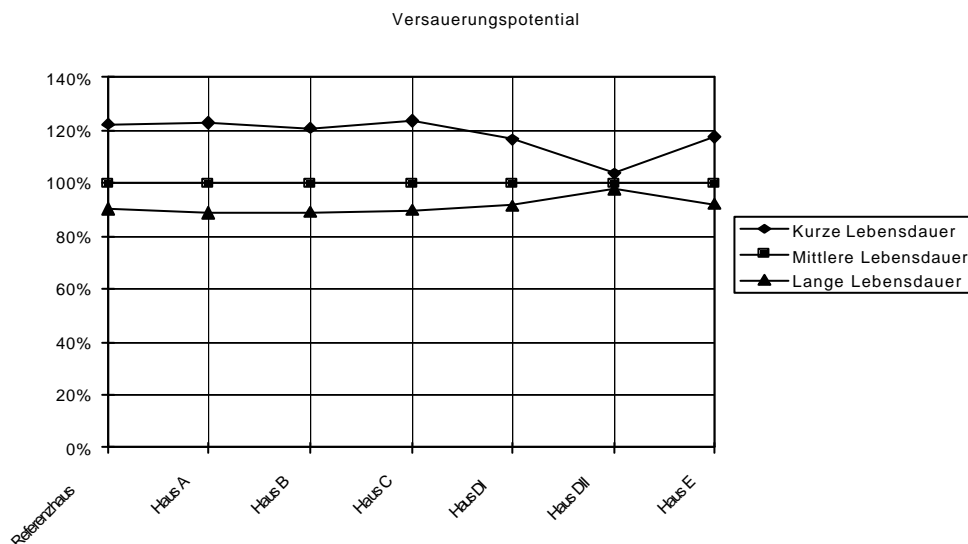


Abbildung 57 Prozentuale Veränderung des Versauerungspotenzials (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer. Das jeweilige Gesamtergebnis bei einer mittleren Lebensdauer entspricht 100 Prozent.

Lebensdauer. Verwendet man hingegen Elemente mit langer Lebensdauer, so liegen die Gesamtergebnisse etwa 20 Prozent niedriger. Haus DII zeigt aufgrund des relativ geringeren Einflusses der Erneuerungsphase nur Abweichungen von 17 Prozent nach oben bzw. 10 Prozent nach unten.

Die Gesamtergebnisse für alle drei Szenarien finden sich in Tabelle 41. Man kann erkennen, dass sich die Relation der Varianten zum Referenzhaus wie bei den vorangegangenen Kriterien nur geringfügig ändert. Vergleicht man die Varianten gleicher Lebensdauerklasse so kommt man zu keiner anderen Entscheidung, ob man die kurze, mittlere oder lange Elementlebensdauer zugrunde legt.

Die Analyse der Gesamtergebnisse für das Kriterium Schwermetall zeigt, dass hier die Abweichungen zwischen den drei Szenarien am größten sind. Die Werte

Tabelle 41 Öko-Indikator (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.

Hausvariante	Gesamtergebnis [Punkte]			Relation zum Referenzhaus [%]		
	kurze LD	mittlere LD	lange LD	kurze LD	mittlere LD	lange LD
Referenzhaus	1.433	1.005	749	100	100	100
Haus A	1.217	829	600	85	82	80
Haus B	1.345	936	682	94	93	91
Haus CI	1.183	862	665	83	86	89
Haus CII	1.173	852	655	82	85	87
Haus DI	993	730	570	69	73	76
Haus DII	1.728	1.483	1.337	121	148	178
Haus E	1.341	957	752	94	95	100

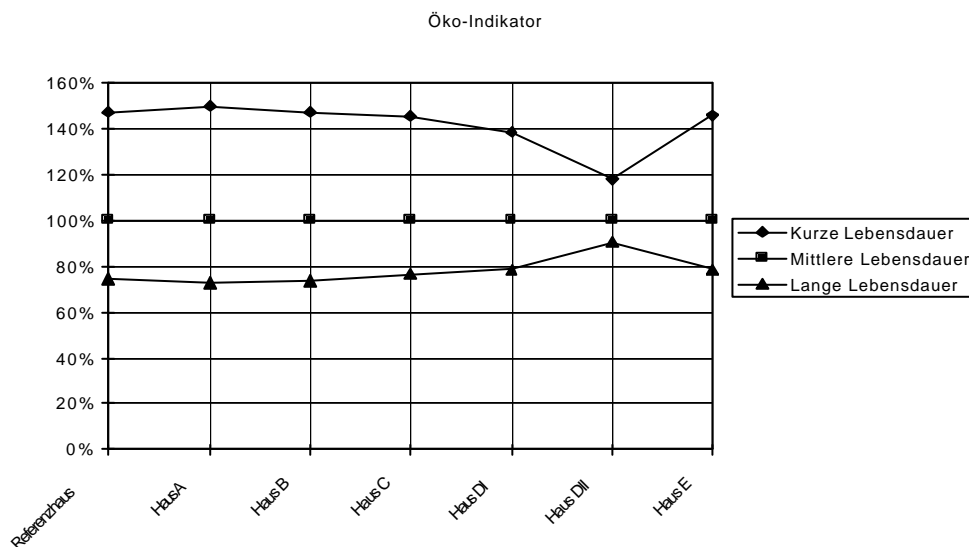


Abbildung 58 Prozentuale Veränderung des Öko-Indikators (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer. Das jeweilige Gesamtergebnis bei einer mittleren Lebensdauer entspricht 100 Prozent.

des Szenarios kurze Lebensdauer sind 1,5 (Haus DII) bis 2,6 (Referenzhaus) mal so hoch wie diejenigen des Szenarios lange Lebensdauer (siehe Abbildung 59).

Dennoch verändern sich auch hier die Relationen der Varianten zum Referenzhaus, wie Tabelle 42 darlegt, nur geringfügig, wenn man die drei Szenarien miteinander vergleicht..

Entsprechend gravierend wirkt sich aber ein Vergleich von Gebäuden aus unterschiedlichen Lebensdauer-Szenarien aus. Legt man die lange Elementlebensdauer zugrunde, so ist jede der Varianten besser als jede andere Variante auf der Basis der kurzen Elementlebensdauer. Dies zeigt noch einmal, dass der wesentliche Punkt auf den es ankommt, die Verwendung des gleichen Lebensdauer-Szenarios für alle zu vergleichenden Gebäude ist.

Tabelle 42 Schwermetall (Gesamtergebnis) der Szenarien kurze, mittlere und lange Lebensdauer für alle Varianten.

Hausvariante	Gesamtergebnis [kg Pb Äquivalent]			Relation zum Referenzhaus [%]		
	kurze LD	mittlere LD	lange LD	kurze LD	mittlere LD	lange LD
Referenzhaus	10,22	6,29	3,88	100	100	100
Haus A	9,11	5,65	3,49	89	90	90
Haus B	9,94	6,23	3,94	97	99	101
Haus C	8,01	5,25	3,48	78	83	90
Haus DI	6,97	4,58	3,14	68	73	81
Haus DII	10,09	7,88	6,49	99	125	167
Haus E	9,51	5,98	4,14	93	95	107

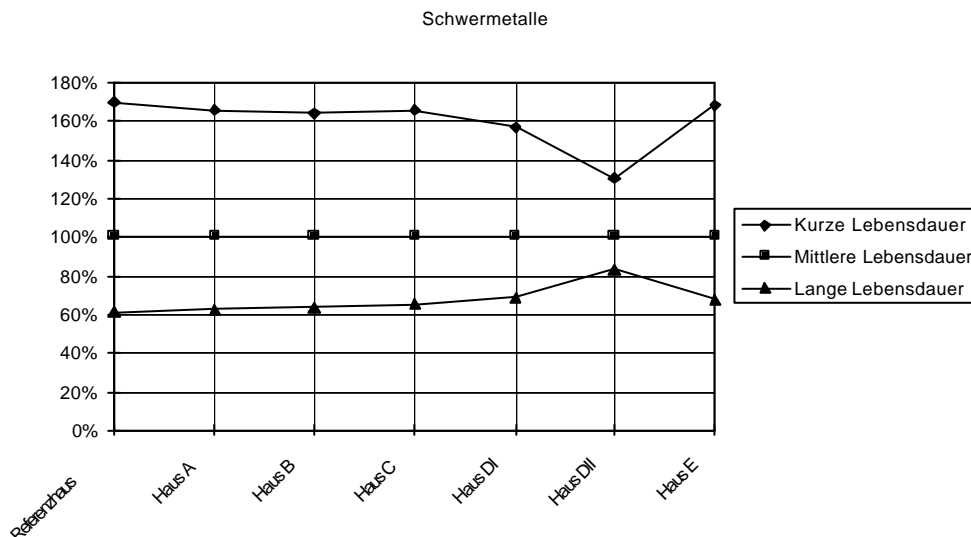


Abbildung 59 Prozentuale Veränderung der Schwermetalle (Gesamtergebnis) in Abhängigkeit von der Elementlebensdauer. Das jeweilige Gesamtergebnis bei einer mittleren Lebensdauer entspricht 100 Prozent.

6.3.5 Streubreite des Nutzerverhaltens

Infolge unterschiedlichen Verhaltens der Bewohner und Bewohnerinnen, kann es während der Nutzungsphase eines Gebäudes zu erheblich unterschiedlichen Energieverbräuchen kommen (vergleiche Kapitel 7.1.2.5). Üblicherweise verwendet man zur Berechnung der Belastungen der Nutzungsphase Simulationswerte, die den durchschnittlichen Verbrauch widerspiegeln sollen.

Im Folgenden soll nun untersucht werden, welchen Einfluss der statistisch ermittelte Streubereich von 50 bis 150 Prozent um den Simulationswert für den Heizwärmeverbrauch auf das Gesamtergebnis einer Gebäudebilanz über alle Lebenswegphasen besitzt. Des Weiteren werden die Gesamtergebnisse dargestellt, die auf den konkreten Messungen des Heizwärmeverbrauchs beruhen. Die Bezeichnung Haushälfte I und II bezieht sich auf die Messwerte während der Heizperiode 1992/93 in der jeweiligen Haushälfte. Sie zeigen beispielhaft, welchen Einfluss u.a. das Nutzerverhalten haben kann.

Als Indikator für den Einfluss des Nutzerverhaltens auf das Gesamtergebnis erwies sich der relative Anteil der Nutzungsphase am Gesamtergebnis, ermittelt auf der Basis der Simulationsdaten. Der Zusammenhang kann wie folgt dargestellt werden:

$$f(x) = 0,5x$$

x: Anteil der Nutzungsphase

f(x): relative Abweichung der Extremwerte (Minimal- und Maximalwert) vom Mittelwert
Machen die Belastungen der Nutzungsphase 50 Prozent der Gesamtbelastung aus, so liegt die Spanne zwischen Minimal- und Maximalwert zwischen 75 und 125 Prozent. Je höher ihr Anteil für ein bestimmtes Kriterium ist, desto größer ist auch die Abweichung zwischen dem Gesamtergebnis bei zugrundegelegtem minimalen bzw. maximalen Energieverbrauchswerten. Am größten sind entsprechend die Abweichungen für Haus DII (Ausnahme: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Sommersmog und karzinogene Substanzen).

Die Berechnungen wurden für alle Kriterien durchgeführt (ausgenommen Stofffluss, Abfallkategorien und Primärenergiebedarf erneuerbar). Die Daten befinden sich im Anhang 4. Die Auswahl der hier dargestellten Kriterien erfolgte nach einem ähnlichen Prinzip wie im vorigen Kapitel (siehe Tabelle 43). Die Kriterien wurden entsprechend dem Anteil der Nutzungsphase in vier Klassen eingeteilt. Es wurde je ein Kriterium mit 0-25 Prozent (Schwermetall), eines mit 25-50 Prozent (Versauerung); eines mit 50-75 Prozent (Karzinogene Substanzen) und eines mit 75-100 Prozent (Primärenergiebedarf nicht erneuerbar) Anteil Nutzungsphase ausgewählt. Diese Auswahl basiert auf den

Tabelle 43 Auswahl der dargestellten Kriterien

Kriterium	Anteil der Nutzungsphase am Gesamtergebnis [%]	Ausreißer [%]
Schwermetalle	9-12	Haus DII: 48
Versauerung	33-51	Haus DII 84
Karzinogene Substanzen	53-69	Referenzhaus: 80
PEB nicht erneuerbar	69-8	-

Ergebnissen, die in Kapitel 6.1.1.1 bis 6.1.1.10 dargestellt sind.

Die Messwerte für die Haushälften während der Heizperiode 1992/93 lagen innerhalb des angegebenen Streubereichs von 50 bis 150 Prozent um den Mittelwert; bis auf Haus A bewegten sie sich sogar sehr nahe um den Mittelwert.

Nur 9 bis 12 Prozent der Belastungen mit Schwermetall entstehen während der Nutzungsphase. Aus diesem Grund sind bei einer Variation des Energieverbrauchs keine großen Auswirkungen auf das Gesamtergebnis der einzelnen Varianten zu erwarten. Dies wird, wie Tabelle 44, zeigt durch die Ergebnisse bestätigt. In Abbildung 60 sind die relativen Abweichungen der Gesamtergebnisse einer Variante auf der Basis der verschiedenen Ansätze für die Nutzungsphase dargestellt. Der Streubereich liegt bei maximal 7 Prozent über und 7 Prozent unter dem Simulationswert.

Haus DII spielt allerdings mit 48 Prozent Anteil der Nutzungsphase am Gesamtergebnis aufgrund der hohen Belastungen aus seiner Elektroheizung eine Sonderrolle. Der Minimalwert liegt 27 Prozent unter, der Maximalwert 25 Prozent über dem auf Basis des Simulationswertes berechneten Gesamtergebnisses. Auch die Relation zum Referenzhaus schwankt entsprechend stark. So liegt der Minimalwert in der Größenordnung des Minimalwertes des Referenzhauses, der Maximalwert aber 50 Prozent über dem

Tabelle 44 Gesamtergebnis für das Kriterium Schwermetall unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.

	Gesamtergebnis [kg Pb]					Relation zum Referenzhaus [%]		
	Simulationsrechnung			Meßergebnisse		Simulationsrechnung		
	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert	Haushälfte I	Haushälfte II	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert
Referenzhaus	6,29	5,97	6,62	6,2	6,23	100	100	100
Haus A	5,65	5,36	5,95	5,79	5,67	90	90	90
Haus B	6,23	5,83	6,63	6,24	6,32	99	98	100
Haus C	5,25	4,93	5,57	5,28	5,29	83	83	84
Haus DI	4,58	4,35	4,81	4,54	-	73	73	73
Haus DII	7,88	5,78	9,88	-	7,98	125	97	149
Haus E	5,98	5,58	6,37	5,97	6	95	93	96

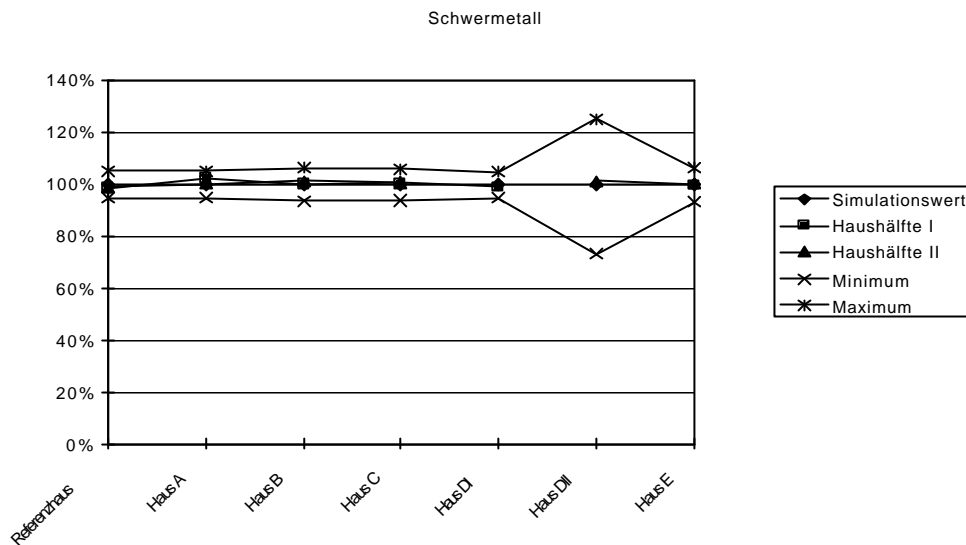


Abbildung 60 Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium Schwermetall in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase. Die auf der Basis des Simulationswertes berechneten Ergebnisse entsprechen jeweils 100 Prozent.

Maximalwert des Referenzhauses. Der Simulationswert liegt mit einem 25 Prozent höheren Wert als derjenige des Referenzhauses im mittleren Bereich.

Zwar zeigt der Streubereich der Ergebnisse von Variante DII, dass ein ungünstiges Nutzerverhalten die Belastungen mit Schwermetallen wesentlich stärker erhöht als dies bei den anderen Varianten der Fall ist. Da das Ergebnis von DII aber ohnehin schon ganz eindeutig schlechter als das der übrigen Varianten ist, stellt dies keine Zusatzinformation dar, die den Mehraufwand rechtfertigen würde.

Die Ergebnisse für das Kriterium Versauerungspotenzial sind in Tabelle 45 dargestellt. Die Abweichung des Gesamtergebnisses für den Maximalwert liegt je nach Variante bei 16 Prozent (Haus DI) bis 41 Prozent (Haus DII) über dem Simulationswert. Für den Minimalwert liegt sie zwischen 11 Prozent (Haus DI) und 44 Prozent (Haus DII). Wie schon für das Kriterium Schwermetall, zeigt Variante DII auch für das Versauerungspotenzial den größten Streubereich aller untersuchten Gebäude. Wie schon dort liegt der Grund dafür an dem wesentlich höheren Anteil als bei den anderen Varianten, den die Nutzungsphase am Gesamtergebnis hat.

Haus DI zeigt den kleinsten Streubereich, da es sowohl ein Niedrigenergiehaus ist, als auch einen geringen Stromverbrauch aufweist. Haus A hat zwar den niedrigsten Heizwärmeverbrauch aller Varianten, verbraucht aber doppelt so viel Strom wie Haus DI und das Referenzhaus.

Tabelle 45 Gesamtergebnis für das Kriterium Versauerung unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.

	Gesamtergebnis [kg Pb]					Relation zum Referenzhaus [%]		
	Simulationsrechnung			Messergebnisse		Simulationsrechnung		
	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert	Haushälfte I	Haushälfte II	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert
Referenzhaus	1.374	1.014	1.754	1.254	1.294	100	100	100
Haus A	1.194	924	1.474	1.344	1.234	87	91	84
Haus B	1.454	1.104	1.854	1.464	1.524	106	109	106
Haus C	1.250	970	1.630	1.280	1.290	91	96	93
Haus DI	1.152	952	1.342	1.122	-	84	94	77
Haus DII	4.111	2.311	5.811	-	4.211	299	228	331
Haus E	1.571	1.181	1.991	1.551	1.591	114	116	114

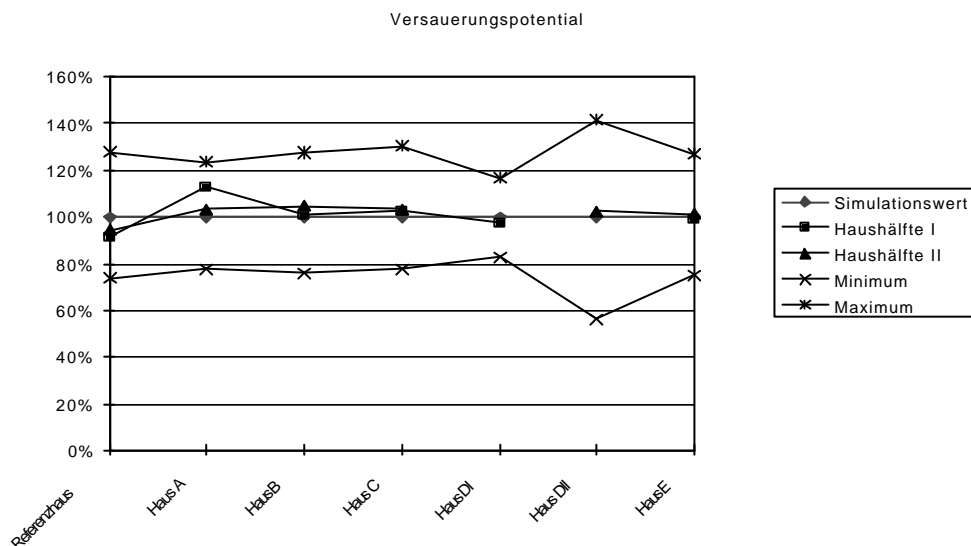


Abbildung 61 Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium Versauerungspotenzial in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase. Die auf der Basis des Simulationswertes berechneten Ergebnisse entsprechen jeweils 100 Prozent.

Die Relation der Varianten beim Vergleich ihrer Simulations- mit Minimal- und Maximalwert mit denjenigen des Referenzhauses zeigen nur geringe Veränderung. Die Schwankungen bewegen sich bei maximal \pm 10 Prozent.

Problematisch wäre auch hier nur der Vergleich zwischen Gebäuden unterschiedlicher Berechnungsweise der Nutzungsphase beispielsweise dem Maximalwert von Haus A mit dem Minimalwert des Referenzhauses zu vergleichen. Werden dagegen die gleichen Berechnungsweisen der Nutzungsphase zugrunde gelegt, ergibt sich für eine vergleichende Bewertung das gleiche Resultat.

Auch für das Kriterium Karzinogene Substanzen sieht die Situation im Prinzip genauso aus. Legt man den Simulationswert der Berechnung der Nutzungsphase zugrunde, so

zeigt sich beim Vergleich mit den Maximalwerten eine Abweichung nach oben von 26 Prozent (Haus A) bis 43 Prozent (Referenzhaus). Beim Vergleich mit den Minimalwerten wird eine Abweichung von 29 Prozent (Haus A) bis 41 Prozent (Referenzhaus) nach unten erkennbar. Dies ist in Abbildung 62 dargestellt.

Trotz dieser deutlichen Abweichungen zeigen die Relationen zum Referenzhaus nur einen Streubereich von ± 10 Prozent. Ein Vergleich der Varianten würde also jeweils zum gleichen Ergebnis kommen.

Was sich aber zeigt ist, dass die Belastungen der Varianten beim ungünstigsten Nutzerverhalten relativ zum Referenzhaus ein besseres Ergebnis aufweisen als beim günstigsten Nutzerverhalten. Der Grund dafür besteht darin, dass die Belastungen maßgeblich aus der Gasheizung resultieren und nur minimal aus dem Stromverbrauch. Die Spannweite der absoluten Werte und damit auch der Abstand zu den Maxima der anderen Varianten ist für das Referenzhaus deshalb mit Abstand am größten.

Das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar ist überwiegend durch den Energieverbrauch während der Nutzungsphase bestimmt. Entsprechend weist dieses Kriterium den größten Streubereich der Ergebnisse auf (siehe Tabelle 47 und Abbildung 63). Die Spannweite des Energieverbrauchs beträgt 50 bis 150 Prozent des Simulationswertes, die Spannweite der Gesamtergebnisse beträgt

Tabelle 46 Gesamtergebnis für das Kriterium karzinogene Substanzen unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.

	Gesamtergebnis [kg Pb]					Relation zum Referenzhaus [%]		
	Simulationsrechnung			Messergebnisse		Simulationsrechnung		
	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert	Haushälfte I	Haushälfte II	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert
Referenzhaus	0,08	0,05	0,11	0,06	0,07	100	100	100
Haus A	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	50	60	45
Haus B	0,05	0,03	0,06	0,06	0,05	63	60	55
Haus C	0,06	0,04	0,08	0,06	0,07	75	80	73
Haus DI	0,05	0,03	0,07	0,04	-	63	60	64
Haus DII	0,03	0,02	0,04	-	0,03	38	40	36
Haus E	0,05	0,03	0,07	0,05	0,05	63	60	64

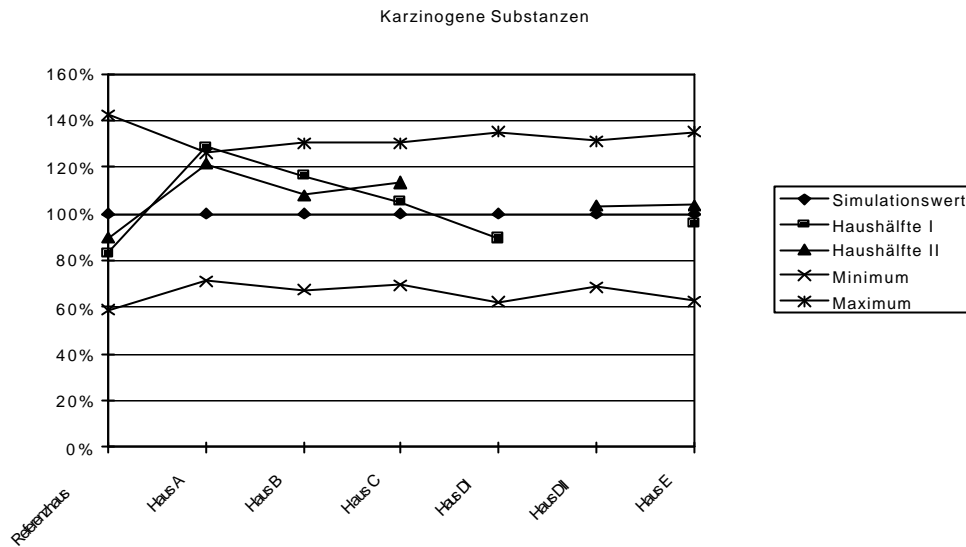


Abbildung 62 Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium karzinogene Substanzen in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase. Die auf der Basis des Simulationswertes berechneten Ergebnisse entsprechen jeweils 100 Prozent.

Tabelle 47 Gesamtergebnis für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar unter Zugrundelegen verschiedener Energieverbräuche während der Nutzungsphase: den mittleren, Minimal- und Maximalwert auf Basis der Simulationsrechnung und die Messergebnisse beider Haushälften.

	Gesamtergebnis [kg Pb]					Relation zum Referenzhaus [%]		
	Simulationsrechnung			Messergebnisse		Simulationsrechnung		
	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert	Haushälfte I	Haushälfte II	Mittlerer Wert	Minimalwert	Maximalwert
Referenzhaus	10,09	5,89	14,59	8,39	9,09	100	100	100
Haus A	5,34	3,44	7,24	7,04	6,34	53	58	50
Haus B	6,56	4,06	9,06	7,46	7,26	65	69	62
Haus C	7,09	4,39	9,69	7,49	7,99	70	75	66
Haus DI	6,5	4	8,9	5,9	-	64	68	61
Haus DII	11,42	6,52	16,42	-	12,42	113	111	113
Haus E	7,48	4,68	10,38	7,28	7,78	74	79	71

dagegen 57 und 145 Prozent. Dieses Resultat verdeutlicht nochm als die Dominanz der Nutzungsphase. Nur ein sehr kleiner Anteil wird durch die Elemente bestimmt.

Auch für dieses Kriterium gilt aber, dass sich die Relation der Varianten zum Referenzhaus nur geringfügig verändert. Ein Vergleich der Varianten würde für alle drei Berechnungen der Nutzungsphase zum gleichen Ergebnis führen. Vergleicht man hingegen Ergebnisse unterschiedlichen Ursprungs, wie es beispielsweise auch die Messergebnisse für die jeweiligen Haushälften darstellen, so kann das Ergebnis anders aussehen.

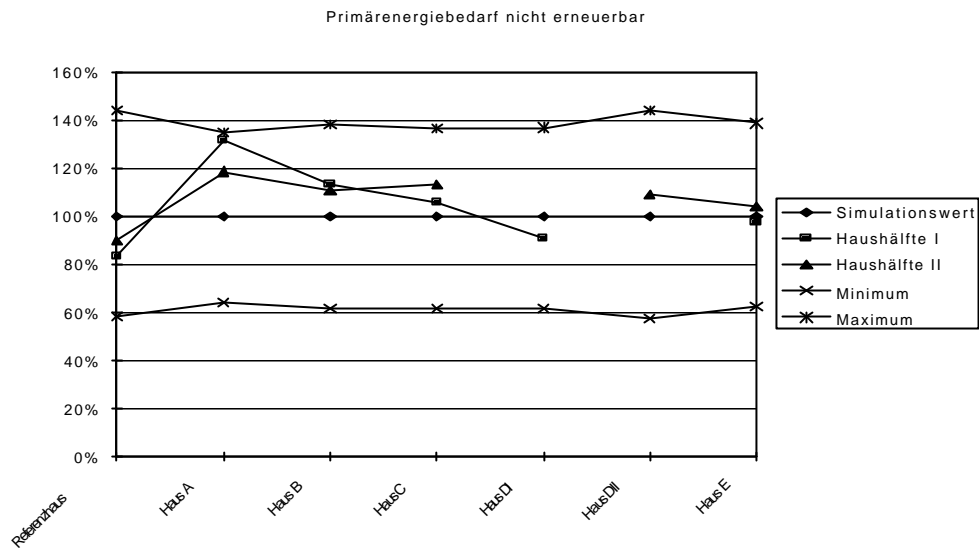


Abbildung 63 Prozentuale Veränderung der Ergebnisse für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase. Die auf der Basis des Simulationswertes berechneten Ergebnisse entsprechen jeweils 100 Prozent.

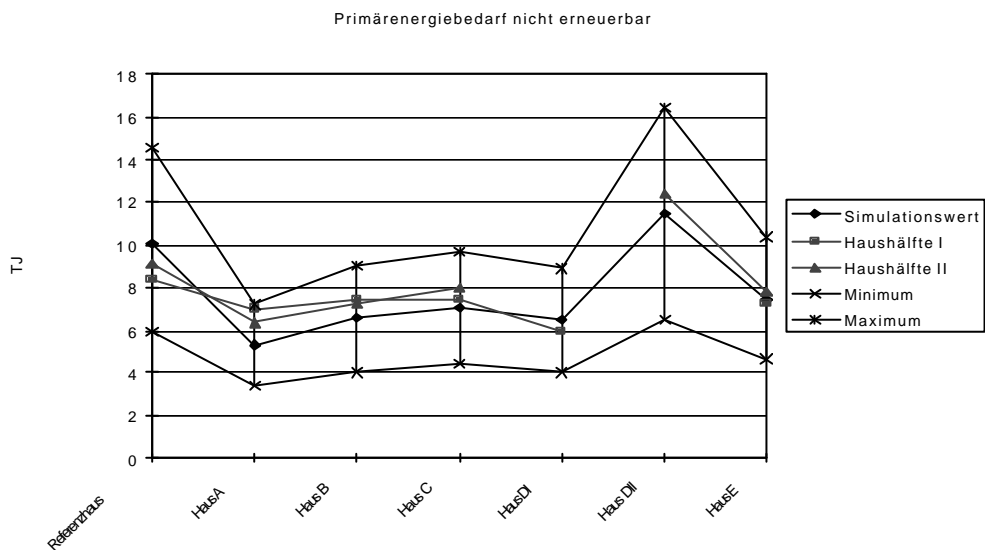


Abbildung 64 Gesamtergebnis für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar in Abhängigkeit von den zugrunde gelegten Werten für die Nutzungsphase. Die auf der Basis des Simulationswertes berechneten Ergebnisse entsprechen jeweils 100 Prozent.

6.3.6 Einfluss der Entsorgungsprozesse

Die Berechnung der maximalen Einsparpotenziale erfolgte durch die Annahme eines - in der Praxis nicht erreichbaren - 100prozentigen Recyclings. In Tabelle 48 sind die Einsparpotenziale dargestellt, ausgedrückt in Prozent der Gesamtbelastung. Die Reduzierung der Umweltbelastungen beruht auf vermiedenen Entsorgungsprozessen und damit verbundenen Transporten. Die Darstellung der Abfallkriterien erübrigt sich, da das Einsparpotenzial dort definitionsgemäß 100 Prozent beträgt und mit der Angabe des Abfallvolumens nichts über eine damit verbundene Belastung ausgesagt ist (vergleiche Kapitel 7.2.3.4).

Für das Kriterium Schwermetall ist ein Einsparpotenzial von mindestens 28 bis maximal 50 Prozent sehr deutlich erkennbar. Es lässt sich im Wesentlichen auf das Element „textiler Bodenbelag“ (M3_3_1055) zurückführen (siehe Kapitel 7.2.4.2). Der Öko-Indikator zeigt entsprechend auch relativ hohe Werte. Weitere erkennbare Einsparpotenziale zeigen sich für das Kriterium Treibhauspotenzial. Sie liegen in der Höhe von 6 bis 16 Prozent. Als Ursache hierfür können verschiedene Verbrennungsprozesse für Holz und Kunststoffe identifiziert werden, bei denen u.a. CO₂ frei wird. Abhängig von den unterschiedlichen Anteilen an Holz und Kunststoff fällt das Einsparpotenzial entsprechend hoch (Haus DI) bzw. entsprechend niedrig (Haus C) aus. Einsparpotenziale von über 5 Prozent treten noch für die Kriterien Ozonabbaupotenzial und Überdüngung auf (vergleiche zu diesen Kriterien Kapitel 7.2.1). Ansonsten ist der Effekt nur sehr gering und bleibt unter 5 Prozent.

Tabelle 48 Einsparpotenzial durch vermiedene Entsorgungsprozesse (inkl. Transporte) bei einem angenommenen 100prozentigen Recycling. Angaben in Prozent.

Prozent	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	0,68	1,37	1,13	0,97	0,92	0,52	0,92
PEB erneuerbar	1,11	1,08	0,93	1,46	0,49	0,28	1,33
Treibhauspotenzial	6,61	11,55	9,62	5,80	15,86	9,01	6,52
Ozonabbau	4,75	5,74	5,42	4,84	4,72	2,32	4,48
Versauerung	2,33	2,66	3,64	2,02	3,21	0,87	1,78
Überdüngung	4,17	5,75	5,63	4,08	6,98	3,54	4,11
Sommersmog	1,75	2,90	2,63	2,27	2,21	2,06	2,20
Wintersmog	1,19	1,07	1,71	0,87	1,16	0,28	0,77
Karzin. Substanzen	0,33	0,59	0,51	0,29	0,75	1,20	0,36
Schwermetalle	41,17	43,88	42,98	43,67	51,48	27,61	49,93
Öko-Indikator	24,68	28,86	27,94	25,06	31,60	14,42	29,31

6.3.7 Auswirkungen des Verschnitts

Bei jedem Verarbeitungsprozess fällt in bestimmtem Umfang Verschnitt an. Produktionsbedingte Verschnitte sind in den verwendeten Baustoffdatensätzen schon enthalten. Verschnitte, die darüber hinaus beispielsweise auf der Baustelle entstehen, können auf der Basis des Programms *Elementmaker* individuell variiert werden. Fällt

Verschnitt auf dieser Ebene an, so entstehen Belastungen einerseits durch die Produktion, andererseits aber auch durch die Entsorgung (inkl. Transport) des entsprechenden Materials.

Zur Untersuchung der durch den Verschnitt entstehenden Belastungen wurden alle Varianten auf der Basis eines nullprozentigen Verschnitts bilanziert. Dieser Zustand kann in der Realität sicher nicht erreicht werden, soll hier aber die maximal möglichen Einsparpotenziale aufzeigen.

Das Einsparpotenzial liegt bei durchschnittlich 5,80 Prozent und damit höher als durch ein 100prozentiges Recycling. Wie Tabelle 49 zeigt, tritt mit 9 bis 15 Prozent Einsparpotenzial der größte Effekt beim Kriterium Primärenergiebedarf ϵ neuerbar auf. Der Grund liegt in dem vergleichsweise hohen Verschnitt von 20,5 Prozent für die verschiedenen Holzbaustoffe, welche die wichtigsten Quellen des Primärenergiebedarfs darstellen. Sehr gering ist der Effekt hingegen für die Kriterien PEB n.e. und das Treibhauspotenzial. Die Potenziale bei den anderen Kriterien bewegen sich deutlich unter 10 Prozent, meist bei 5 bis 7 Prozent. Das Einsparpotenzial bei Haus DII ist abgesehen von der Kategorie karzinogene Substanzen deutlich geringer als bei den anderen Varianten. Begründet werden kann dies durch die relativ große Bedeutung der Nutzungsphase bei dieser Variante infolge der Elektroheizung.

Tabelle 49 Einsparpotenzial durch vermiedene Produktions- und Entsorgungsprozesse (inkl. Transporte) bei einem angenommenen nullprozentigen Verschnitt. Angaben in Prozent.

Kriterien	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	1,69	3,15	2,55	2,41	2,48	1,27	2,20
PEB erneuerbar	13,03	13,91	12,07	11,90	14,67	8,55	10,28
Treibhauspotenzial	1,82	3,46	2,92	2,71	1,39	0,62	2,60
Ozonabbau	6,48	7,66	6,90	6,23	7,49	3,38	6,10
Versauerung	4,81	5,70	5,29	4,85	6,59	1,50	4,78
Überdüngung	4,54	6,38	6,12	4,99	6,88	3,45	4,77
Sommersmog	3,99	6,35	5,64	4,79	5,54	4,95	4,93
Wintersmog	6,54	6,63	5,73	5,76	7,84	1,54	5,41
Karzin. Substanzen	2,48	6,75	5,84	4,12	3,87	5,78	3,83
Schwermetalle	7,44	7,53	7,27	7,88	8,52	4,54	7,43
Öko-Indikator	5,88	6,87	6,44	6,34	7,15	3,14	6,10

6.3.8 Vergleich mit Belastungen aus der Mobilität

Exemplarisch sollen an dieser Stelle die Belastungen der untersuchten Gebäude mit Belastungen aus dem Verkehrsbereich verglichen werden. Auf der Basis des durchschnittlichen PKW-gebundenen Individualverkehrs in Deutschland und der Schweiz wurden jeweils die jährlichen Belastungen verglichen. Haas et al. (1991) ermittelten für Deutschland (alten Bundesländer, 1990) pro Person eine jährliche Fahrleistung von 14.272 Kilometern mit dem PKW. Für die Schweiz (1994) handelt es

sich demgegenüber um eine jährliche Fahrleistung von nur 8432 Kilometern pro Person (Bundesamt für Statistik (Hrsg) 1995).

In Abbildung 65 sind beispielhaft die relativen Ergebnisse für fünf Wirkungskategorien und zwei der untersuchten Varianten dargestellt. Das Referenzhaus und Haus A wurden ausgewählt, da sie das Spektrum der Ergebnisse weitgehend aufzeigen. Außerdem verfügt das Referenzhaus über den Energiestandard, der laut der momentan gültigen Wärmeschutzverordnung für den Neubau eines Hauses dieses Typs vorgeschrieben ist. Entsprechend der geringeren Fahrleistung in der Schweiz sind die Umweltauswirkungen des Individualverkehrs (IV) dort durchweg um 41 Prozent geringer als diejenigen in Deutschland. Ausgehend von der individuellen Fahrleistung in Deutschland lassen sich folgende Aussagen treffen: Für das Treibhauspotenzial ist das relative Ergebnis stark davon abhängig, welchen Energiestandard das Vergleichsgebäude besitzt.

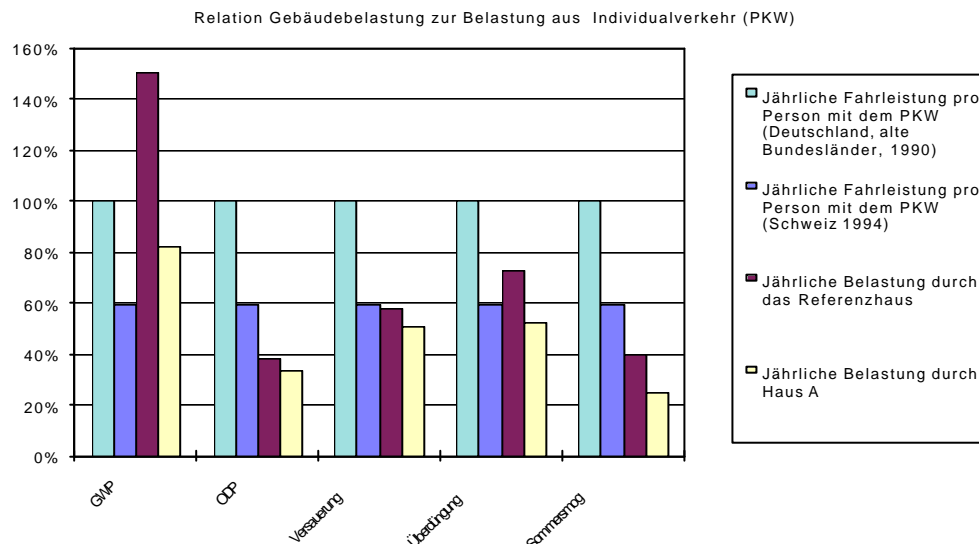


Abbildung 65 Relation der Gebäudebelastung zur Belastung aus dem Individualverkehr (PKW). Zugrundegelegt wurden die durchschnittlichen jährlichen Fahrleistungen pro Person mit dem PKW in Deutschland (alte Bundesländer, 1990) und in der Schweiz (1994). Quelle: Haas et al. (1991) und Bundesamt für Statistik (Hrsg 1995).

Das Referenzhaus schneidet deutlich schlechter, Haus A hingegen klar besser ab als der Individualverkehr. Für die Kriterien Überdüngung und Versauerung liegen die Belastungen der Gebäude tiefer als diejenigen des deutschen Individualverkehrs. Gleichzeitig liegen sie in der Größenordnung des Schweizer IV. Für die Kriterien Ozonabbau Potenzial und Sommersmog sind die Belastungen der Gebäude deutlich geringer als diejenigen aus dem Verkehr. Dies gilt sowohl für Deutschland als auch für die Schweiz.

6.4 Fehlerbetrachtung

6.4.1 Fehlerquellen

Bei der Durchführung der Gebäudebilanzen konnten folgende prinzipiellen Fehlerquellen identifiziert werden:

- Inventardaten
- Gebäude- und Elementdaten
- Wirkungsbilanz und Bewertung

6.4.1.1 Inventardaten

Die Gebäudebilanzierung wurde auf der Basis von Sachbilanzen aus der Universität Karlsruhe (TH), Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar et al. (1995) und Frischknecht et al. (1997) erstellt. Eine detaillierte Betrachtung zur Datenqualität der einzelnen Module findet sich dort. Für eine grobe Einschätzung der Qualität der Datengrundlage wird im Folgenden aus Universität Karlsruhe (TH), Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar et al. (1995) zitiert:

„Folgende Materialklassen sind für deutsche Verhältnisse einheitlich erhoben und liefern gesicherte Resultate:

- Massivbaustoffe,
- Mörtel und Putze,
- Asphalt/Bitumen,
- Steinzeug,
- Holzwolle-Leichtbauplatte.

Für folgende Materialien könnten die Daten noch verbessert werden:

- Branntkalk, Kalkhydrat, hydraulischer Kalk,
- Schotter Splitt Brechsand

Die folgenden Materialklassen (deutsch) müssen für die Beurteilung von Gesamtgebäuden neu erhoben werden:

- Fliesen/Fußbodenplatten
- Gipskartonplatten
- Sanitärporzellan.

Folgende Materialklassen sind für Schweizerische Verhältnisse einheitlich erhoben und liefern gesicherte Resultate:

- Massivbaustoffe,
- Mörtel und Putze (mit Ausnahme der Kunststoffputze),
- Holzwerkstoffe,
- Lehmkomponenten

Folgende Materialklassen müssen verbessert werden:

- Metallbaustoffe (insbesondere Aluminiumbaustoffe),
- Dichtungsbahnen

Für die Beurteilung von Gesamtgebäuden müssen folgende Materialklassen neu erhoben werden:

- Klebstoffe,
- Fugendichtungen und Kitte,
- Tapeten,
- Bodenbeläge“

Nicht für alle Baustoffmodule konnten entsprechend Daten verwendet werden, denen die in Deutschland üblichen Verhältnisse zugrundegelegt wurden, ein Teil entspricht eher Schweizer Verhältnissen. Die Datenmodule wurden allerdings immer mit dem für Deutschland gültigen UCPTE-Strom-Mix berechnet.

Neben Inventardaten ungenügender Qualität spielen auch gänzlich fehlende Datenmodule eine wesentliche Rolle. Sie führen entweder zum Weglassen eines bestimmten Elementbestandteils oder zur Verwendung eines Referenzbaustoffes als Ersatz für den eigentlich verwendeten Baustoff. Tabelle A1.6 in Anhang 1 gibt einen Überblick über die im Fallbeispiel zum Einsatz gekommenen Referenzbaustoffe. Mangelhaft repräsentiert erscheinen hier im wesentlichen die Baustoffe Fensterkitt und Kleber zu sein, die beide durch Dispersionsspachtel ersetzt werden. Ebenso sind auch im Bereich der Farben (z.B. Deckfarbe, Trockenlack) Verbesserungen notwendig.

Da die Unterschiede der Varianten des Fallbeispiels bezüglich der eingesetzten Mengen als gering eingeschätzt werden, wird kein Einfluss auf die vergleichende Bewertung der Varianten erwartet.

Aufgrund der schlechten Datenlage zu bestimmten Anlagen der Haustechnik, wie z.B. Wärmetauschern, Lüftungsanlagen, wurden diese Elemente nicht berücksichtigt. Einzig der Energieverbrauch während der Nutzungsdauer ist in der Bilanz enthalten. Hieraus ergibt sich eine tendenzielle Bevorteilung der betroffenen Niedrigenergiehäuser. Der Einfluss wird für die Gesamtbilanz aber als gering eingeschätzt.

Das Kriterium Treibhauspotenzial

Der Wert für das Treibhauspotenzial wird im wesentlichen durch Elemente beeinflusst, die folgende zwei Baustoffgruppen enthalten: Stahlbeton bzw. armierter Porenbeton und Holzwerkstoffe; Kunststoffe (Polystyrol, Polyethylen, Polyurethan etc.) spielen eine geringere Rolle.

Bei den Holzwerkstoffen ist auffällig, dass teilweise negative Gesamtergebnisse ausgewiesen werden. Zurückgeführt werden kann dieser Effekt auf die Baustoffe *Schnittholz, brett*, *Schnittholz, kant* und *Spanplatte*, die entweder direkt in den

Elementen eingesetzt werden bzw. den referenzierten Baustoff darstellen (Bsp. *Nadelschnittholz*, *Schalung*, wird berechnet auf der Basis der Werte von *Schnittholz*, *brett*-).

Der Betrag des Treibhauspotenzials für die Entsorgung liegt dabei wie Tabelle 50 zeigt, nur in der Höhe von 63 Prozent (Schnittholz) bzw. nur 34 Prozent (Spanplatte) des Wertes der Herstellung. Dies ist mit Sicherheit fehlerhaft. Die Fehlerquelle konnte allerdings nicht eindeutig identifiziert werden. Vermutlich handelt es sich um Verschnitte, die im Herstellungsschritt in Form negativer CO₂-Werte angerechnet wurden, im Entsorgungsprozess aber nicht mehr berücksichtigt werden. Dies ist nicht zu verwechseln mit einem generellen Herausnehmen des bei der Entsorgung frei werdenden CO₂s aus der Bilanz, welches eine Anerkennung des CO₂-Speichereffektes von Holz darstellen würde.

Generell sind folgende Elemente betroffen:

- Holzverkleidung, Fassade (Haus D hat keine Holzverkleidung)
- Holzjalousien
- Außentüre, Holz
- Kehlbalkendecke OG (Referenzhaus, Haus A und B)
- Geschosstreppe Holz (Referenzhaus, Haus A, B und D)
- Dachkonstruktion Holz (Referenzhaus, Haus A und D). Haus B hat deutlich mehr Mineralwollendämmung, das hebt den „Holz-Effekt“ wieder auf.
- Die Holzbalkendecken und z.T. die Außen- und Innenwände der Häuser DI und DII.

Die Einschätzung des Gesamtfehlers ist sehr schwierig. Es kann aber mit Sicherheit gesagt werden, dass die Werte für das Treibhauspotenzial bei den verschiedenen Varianten in unterschiedlichem Ausmaß unterschätzt werden. Entsprechend dem hohen Anteil an Elementen mit Holzwerkstoffen

Tabelle 50 Treibhauspotenzial verschiedener Holzbaustoffe.

Baustoff	Dichte	Treibhauspotenzial [kg CO ₂ -Äquivalent/kg Baustoff]		
	[kg/m ³]	Herstellung	Entsorgung	Summe
Schnittholz brett-	470	-2,31	1,46	-0,85
Schnittholz kant-	470	-2,31	1,46	-0,85
Spanplatte	700	-4,34	1,46	-2,88

(insbesondere Spanplatten) sind die Ergebnisse der Häuser DI und DII beispielsweise sehr viel stärker unterschätzt als diejenigen der Häuser C und E. Letztere enthalten infolge ihrer Porenbetonkonstruktion kaum Holz.

Aufgrund der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zum Einfluss des Wegfalls der Entsorgungsprozesse auf das Gesamtergebnis (vergleiche Kapitel 6.3.4), kann

geschlossen werden, dass die anderen Kriterien nur in unbedeutendem Maße von diesem Fehler betroffen sind.

6.4.1.2 Gebäude- und Elementdaten

Die Angaben zum Energieverbrauch wurden dem Abschlussbericht entnommen (Reiß und Erhorn 1994), in diesem Bereich sind dementsprechend keine Fehler zu erwarten. Wie die folgenden Ausführungen zeigen, ist der Fehler, der die Elementdaten betrifft nur sehr gering. Insbesondere folgende Unterpunkte sind dabei von Bedeutung:

- Fehler bei der Maßnahme an den Plänen: Aufgrund des sorgfältigen Arbeitens und der mehrmaligen Kontrolle der Daten wird dieser Fehler als klein eingeschätzt. Relativ wenig Bedeutung wird ihm auch insofern zugemessen, als der Einfluss von geringfügig zu kleinen oder zu großen Elementflächen - z.B. die Berechnung von 1 m² zuviel Außenwandfläche - auf das Gesamtergebnis nur gering ist.
- Falsche Annahmen zu Verschnitten: Dieser Aspekt betrifft die Festlegungen zu den einzelnen Elementen innerhalb des Programms *Elementmaker*. Auf der Basis der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse (siehe Kapitel 6.3.5) kann festgestellt werden, dass falsche Annahmen zu Verschnitten nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis der Bilanzierung haben, zumal ein Verschnitt von 0% in der Praxis nicht zu realisieren ist.
- Falsche Angaben in den Plänen und Änderungen im Verlaufe des Bauprozesses: Diese Fehler können grundsätzlich nicht berücksichtigt werden. Ihr Einfluss wird aber als gering eingeschätzt, da die grundsätzliche Konzeption der Gebäude feststeht und höchstens geringfügige Änderungen zu erwarten sind. Außerdem erfolgte die Bilanzierung auf der Basis des angegebenen Elementkatalogs, es ist also problemlos möglich, sich ein Bild zu machen, welche Baustoffe in welchen Mengen eingesetzt wurden. Die Häuser wurden auf der Basis der vorliegenden Elementkataloge bilanziert.

6.4.1.3 Wirkungsbilanz und Auswertung

Die Entwicklung geeigneter Charakterisierungsmethoden ist, wie in Kapitel 4.5.2 dargelegt wurde, noch nicht an einem befriedigenden Endpunkt angelangt. So enthalten auch die im Fallbeispiel verwendeten Faktoren zur Berechnung der Wirkungsbilanz mit Sicherheit noch sachliche Fehler. Ein Einfluss auf die vergleichende Bewertung der Varianten wird allerdings nicht erwartet, da alle Ergebnisse auf den gleichen Faktoren und Verfahren beruhen.

Die Daten zur pro-Kopf-Emission in Europa, auf der die Normalisierung basiert, weisen je nach Kriterium unterschiedliche Unsicherheiten auf. Dadurch wird die nachfolgende Gewichtung ebenfalls unsicherheitsbehaftet. Da im vorliegenden Fallbeispiel vorwiegend mit den Ergebnissen der Einzelkriterien gearbeitet wurde, und weniger mit dem

aggregierten Öko-Indikator, werden vergleichende Aussagen zwischen den Varianten davon nicht beeinflusst. Die Normalisierungsfaktoren sind für alle Varianten die gleichen. Die Reduktionsfaktoren, auf deren Basis die Gewichtung erfolgt, können nicht im eigentlichen Sinn falsch sein. Sie können höchstens ungenügenden gesellschaftlichen Zielsetzungen entspringen. Im Fallbeispiel wurde die Bewertung mit zwei unterschiedlichen Gewichtungen durchgeführt. Ein Vergleich der Ergebnisse ergab aber keinen Unterschied für den Vergleich der Varianten.

6.4.2 Einschätzung der Fehlerrelevanz

Die Fehler in den Inventardaten werden für die vergleichende Bewertung im Rahmen des Fallbeispiels nicht als problematisch angesehen.

Als wesentlich schwerwiegender erweist sich hingegen der Fehler in den Inventardaten für Holzwerkstoffe bezüglich des Kriteriums Treibhauspotenzial, da die Belastungen der einzelnen Varianten für die Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung in unterschiedlichem Ausmaß unterschätzt werden. Eine vergleichende Bewertung ist somit nicht möglich bzw. nur zwischen Varianten möglich, die einen ähnlichen Anteil Holzwerkstoffe enthalten. Insbesondere können auch die vergleichsweise niedrigen Resultate der Varianten DI und DII nicht wirklich ernst genommen werden. Aus den eben dargelegten Gründen wird das Kriterium Treibhauspotenzial aus der abschließenden vergleichenden Bewertung der Varianten ausgeschlossen.

7. Diskussion

7.1 Diskussion methodischer Fragen

7.1.1 Unikatcharakter von Gebäuden

7.1.1.1 Definition der funktionalen Einheit

Die Definition der Funktion des zu untersuchenden Systems und die Wahl einer geeigneten funktionalen Einheit sind entscheidende Elemente einer Ökobilanz (siehe Kapitel 4.2.3.1). Beide hängen wesentlich mit der Fragestellung einer Untersuchung zusammen. Die Definition der funktionalen Einheit bei der Bilanzierung von Gebäuden ist insofern schwierig als ein und dieselbe Funktion von einer vergleichsweise großen Vielfalt individueller Gebäude erfüllt werden kann. Dabei spielt sowohl die Variation der Konstruktion und der Materialien eine Rolle, als auch die Variation der Gebäudekonzeption selbst. Die entscheidende Frage ist dann, welche dieser verschiedenen Lösungen noch die gleiche funktionale Einheit darstellen.

Im konkreten Fall steht man häufig vor folgenden Problemen:

- Welche funktionale Einheit eignet sich zum Vergleich von Gebäuden mit unterschiedlicher Nutzfläche (z.B. Wohnfläche) oder/und einer unterschiedlichen Anzahl von Nutzeneinheiten (z.B. Mehrfamilien- versus Einfamilienhaus)?
- Welche Einheit eignet sich zum Vergleich von Gebäuden mit unterschiedlichen Komponenten (z.B. mit/ohne Wintergarten, Tiefgarage) oder/und unterschiedlichen Standards (z.B. Energie)?

ZU FRAGE 1:

Der übliche Umgang beim Vergleich von Gebäuden unterschiedlicher Nutzflächen ist der Bezug der Belastungen auf jeweils einen Quadratmeter Nutzfläche (z.B. (Kohler et al. 1994). Damit wird eine Vergleichsbasis geschaffen und ein im Baubereich üblicher Bezug gewählt. Problematisch bei diesem Vorgehen ist, dass kleine Wohnungen gegenüber großen Wohnungen, die infolge gleicher Anzahl von Räumen die gleiche Anzahl NutzerInnen aufnehmen können, benachteiligt werden. Große Wohnungen werden dagegen „gut gerechnet“ (vergleiche auch Haus C im Fallbeispiel).

Alternativ dazu besteht die Möglichkeit, ein ganzes Gebäude als funktionale Einheit zu definieren. Dies ist allerdings nur begründbar und sinnvoll, wenn die untersuchten Varianten in Konzeption und Dimensionierung sehr ähnlich sind. Unterschiede in den Nutzflächen also nicht gravierend ausfallen und vor allem nicht für eine zusätzliche Funktion stehen. Mit diesem Ansatz ist es beispielsweise nicht möglich, Ein- und Mehrfamilienhäuser miteinander zu vergleichen. Der Bezug auf Nutzeneinheiten, d.h. im Falle von Wohngebäuden die Anzahl der NutzerInnen, wäre letztendlich die

Bezugsgröße der Wahl. Allerdings lassen sich keine wirklich zuverlässigen Aussagen darüber treffen, wie viele Personen ein Gebäude über seine Lebensdauer tatsächlich nutzen.

ZU FRAGE ZWEI:

Für den Fall, dass sich die Ausstattung der Varianten unterscheidet, beispielsweise nur in einem Teil der untersuchten Varianten eine Tiefgarage vorhanden ist, gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten: Zum einen können alle Varianten mit der Maximalausstattung berechnet werden. Den Varianten ohne das entsprechende Element, wird es künstlich hinzugefügt. Alternativ kann die Minimalausstattung gewählt werden und entsprechend ein Element künstlich subtrahiert werden. Welche dieser beiden Möglichkeiten realisiert wird, hängt von der Definition der Funktion und der funktionalen Einheit ab.

Als Alternative bietet sich die Analyse ganzer Gebäudebestände an. Vorteil dabei ist, dass das vereinfachende Arbeiten mit Haustypen möglich wird, da sich Fehler (Größenannahmen, Materialien, Konstruktionen) herausmitteln (siehe unter Nutzungsdauern von Bauelementen). Da Ökobilanzen aber im allgemeinen einzelne Produkte oder Dienstleistungen vergleichen sollen, eignet sich ein Gebäudebestand nicht als funktionale Einheit für Ökobilanzen sondern eher für Stoffstromanalysen (siehe auch Kapitel 2.4.1.1).

7.1.1.2 Umgang mit grundlegenden Veränderungen am Gebäude

Im Laufe der Lebensdauer eines Gebäudes können neben den Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten auch Maßnahmen stattfinden, die die Gebäudesubstanz grundsätzlich verändern. Dies umfasst Anbauten, Umbauten und Umnutzungen. Es besteht keine Möglichkeit, diese sehr individuellen Veränderungen und ihre Auswirkungen auf die Ökobilanz zuverlässig zu prognostizieren.

Aus diesem Grund wird in Gebäudeökobilanzen dieser Aspekt nicht berücksichtigt, so auch im Fallbeispiel. Theoretisch wäre die Erstellung von Szenarien möglich.

7.1.2 Langlebigkeit

Im Vergleich zu den meisten anderen Produkten ist die Lebens- und Nutzungsdauer von Gebäuden sehr groß. In der Literatur werden für ein durchschnittliches Wohnhaus ca. 80 bis 100 Jahren angegeben (Ross et al., 1989, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994). Im untersuchten Fallbeispiel, welches in Kapitel 5 beschrieben ist und auf das in den folgenden Abschnitten verschiedentlich Bezug genommen wird, werden 80 Jahre zugrunde gelegt.

Die lange Lebensdauer von Gebäuden bedingt zum einen, dass Voraussagen über ihren Lebensweg mit Unsicherheiten behaftet sind. Besonders betroffen sind Aufwendungen, die erst spät auf dem Lebensweg auftreten (siehe Abbildung 66). So wird

es beispielsweise nicht möglich sein, die Art und Weise des Abbruchs sowie die Art und den Umfang des Recyclings am Ende des Lebensweges vorherzusehen. Niemand kann eine zuverlässige Aussage über die in 80 Jahren üblichen Recycling- und Entsorgungsprozesse machen. Ähnliches gilt für die Produktionsprozesse, die zur Bereitstellung der Materialien für Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten in mehreren Jahrzehnten nötig werden.

Die lange Lebensdauer bedingt zum anderen aber auch, dass die Bedeutung der Nutzungsphase und etwaiger NutzerInneneneinflüsse groß sind.

Insgesamt gilt es deshalb folgende Fragen zu klären:

- Welcher Betrachtungszeitraum ist sinnvoll? Soll über die volle Lebensdauer, z.B. 80 Jahre, gerechnet werden oder über einen kürzeren Zeitraum, der beispielsweise auch die nicht zuverlässig prognostizierbare Rückbauphase ausspart?
- Wie geht man mit der Veränderung des Stands der Technik über den gewählten Betrachtungszeitraum um? Verwendet man heute aktuelle Daten über den gesamten Zeitraum oder versucht man die Veränderungen der Produktionsprozesse und/oder Materialien zu berücksichtigen? Lassen sich dabei auch Recycling- und Entsorgungsprozesse einbinden?
- Wie wird mit Unsicherheiten bezüglich Elementlebensdauern und Umfang von Erneuerungsarbeiten umgegangen?
- Rechtfertigt die lange Lebensdauer einzelner Bauelemente aus nachwachsenden pflanzlichen Rohstoffen wegen ihrer CO₂-Speicherwirkung die Berücksichtigung eines negativen Treibhauseffektes?

Zeitlicher Verlauf des Stoffflusses, des Treibhauspotentials und der Abfallentstehung am Beispiel einer Variante des Fallbeispiels

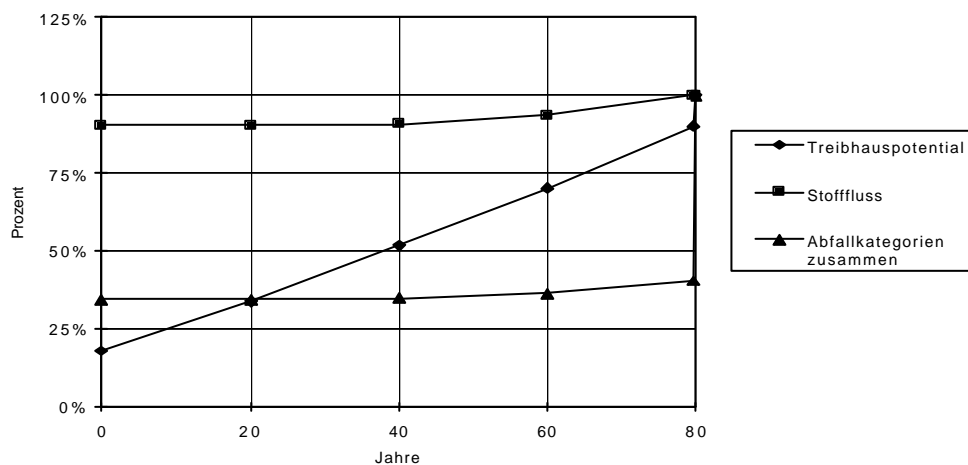


Abbildung 66 Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Stoffflusses (Input), des Treibhauspotenzials und der Abfallentstehung (alle Abfallkategorien zusammen) über den Lebensweg eines Gebäudes am Beispiel der Variante Haus B des Fallbeispiels. Die Aufwendungen sind jeweils kumuliert.

◦ Was gilt es bei der vergleichsweise langen und bedeutenden Nutzungsphase zu beachten? Muss z.B. der Einfluss der NutzerInnen gesondert berücksichtigt werden?

Im Folgenden wird auf diese Fragen eingegangen. Z.T. werden vorgeschlagene Lösungen im Fallbeispiel überprüft.

7.1.2.1 Berechnungszeitraum

Welcher Betrachtungszeitraum ist sinnvoll?

Grundsätzlich lassen sich dabei zwei Vorgehensweisen unterscheiden:

1. Die Berechnungen werden über die gesamte Lebensdauer, d.h. im Fallbeispiel über 80 Jahre, durchgeführt. Damit wird der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes erfasst - mit allen Unsicherheiten allerdings, die sich aus langfristigen Prognosen ergeben. Dies entspricht dem Vorgehen zur Erstellung einer Ökobilanz gemäß DIN EN ISO und SETAC (siehe Kapitel 4). Beispiel: (Kohler et al., 1994, Falk 1995).
2. Die Berechnungen werden über einen kürzeren Zeitraum durchgeführt. Die Entscheidung für einen bestimmten Zeitraum würde danach fallen, inwieweit man noch zuverlässig Vorhersagen über zukünftige Veränderungen machen kann. Dabei wird in Kauf genommen, dass bestimmte Lebenswegphasen, wie die Entsorgung und Teile der Erneuerung, nicht in der Bilanz und einer vergleichenden Bewertung enthalten sind. Als Beispiel kann hier das Stoffstrommodell des Öko-Instituts (1998) gelten, in welchem 25 Jahre als Betrachtungszeitraum festgelegt werden. Nach der Meinung von Buchert (1998, mündliche Mitteilung) stellt dies das oberste Limit einer solchen Untersuchung dar.

Im Fallbeispiel wird - wegen der Konformität mit der Ökobilanzmethodik - über einen Zeitraum von 80 Jahren gerechnet.

Zusätzlich wird für ausgewählte Kriterien der zeitliche Verlauf der Belastungen dargestellt und so überprüft, ob ein etwaiger kürzerer Zeithorizont zu einer anderen vergleichenden Bewertung führen würde.

7.1.2.1 Veränderungen des Stands der Technik über die Zeit

Unabhängig vom gewählten Betrachtungszeitraum verändert sich der Stand der Technik über diesen Zeitraum. Dies betrifft sowohl Produktionsverfahren als auch die Zusammensetzung der Bauelemente durch die Entwicklung neuer Bauprodukte. Außerdem ist anzunehmen, dass in späteren Erneuerungszyklen höher gedämmte Bauelemente eingesetzt werden, beispielsweise Fenster mit niedrigeren kWerten, so dass sich der Heizwärmebedarf des gesamten Gebäudes verringert.

Damit ändern sich entsprechend die Umweltauswirkungen, die mit diesen Bauelementen bzw. gesamten Gebäude verknüpft sind. Es stellt sich nun die Frage, wie man mit dieser dynamischen Entwicklung umgehen soll. Es gibt im wesentlichen zwei Vorschläge:

1. **STATISCHES MODELL:** Der heutige Stand der Technik bezüglich Produktion und Elementeigenschaften wird für die gesamte Nutzungsdauer und alle Erneuerungszyklen angenommen. Diesem Vorgehen liegt implizit die Annahme zugrunde, dass die Veränderungen für alle Varianten im gleichen Ausmaß erfolgen, sich die relative Einschätzung der Varianten also nicht verändert. Dies ist der allgemeine Stand der Ökobilanz-Studien. Allerdings muss daran erinnert werden (siehe oben), dass die betrachteten Zeiträume üblicherweise kürzer sind.
2. **DYNAMISCHES MODELL:** In die Berechnungen werden Veränderungen der Produktionstechnik, der Materialien und der Zusammensetzung von Bauelementen einbezogen. Es wird also mit Szenarien über die zukünftige Entwicklung des Standes der Technik gerechnet. Dies bezieht beispielsweise Veränderungen der Produktionstechnik, der Materialeigenschaften aber auch der energetischen Standards verwendeter Bauelemente während der Erneuerung ein. Dazu gehört unter Umständen aber auch die Entwicklung der Wohnflächenansprüche pro Person etc. Der Vorteil dieses Vorgehens besteht darin, dass sich die möglicherweise unterschiedlichen Entwicklungen bei den zu vergleichenden Varianten abbilden lassen und zu einer besseren vergleichenden Bewertung führen. Im Beispiel des Stoffstrommodell des Öko-Instituts (1998) wird mit Szenarien gerechnet, die verschiedene Entwicklungen über einen Zeitraum von 25 Jahren abbilden (s.o.).

Als dritter Vorschlag wird ein Vorgehen erwähnt, das in der Ökonomie üblich ist. Es handelt sich um die Diskontierung, d.h. die Abwertung, zukünftiger Aufwendungen bzw. übertragen auf die Ökobilanz entsprechend zukünftiger Umweltauswirkungen. Für die Bewertung von Umweltauswirkungen anhand externer Kosten wird dieses Vorgehen diskutiert (siehe Kapitel 4.1.3.3).

3. **DISKONTIERUNG:** Der heutige Stand der Technik wird über die gesamte Zeit verwendet, aber die Sachbilanzdaten bzw. entsprechend die Wirkungsbilanzdaten werden diskontiert. Heute oder in naher Zukunft auftretende Umweltauswirkungen werden als schwerwiegender empfunden und bewertet als solche Auswirkungen, die erst in späterer Zukunft auftreten. Es verschiebt sich also die Gewichtung der gegenwärtigen gegenüber den zukünftigen Belastungen. Außerdem ist anzunehmen, dass sich der Stand der Technik verbessern wird bzw. daraus abgeleitet sich die Auswirkungen zukünftig verringern werden. Etwaige kompensierende Entwicklungen wie die Vergrößerung der beheizten Wohnfläche pro Person heben diesen Effekt - so

wird angenommen - nicht vollständig auf. Dieses Vorgehen ist in dieser Form nicht üblich.

Im Fallbeispiel wird mit statischen Annahmen gerechnet. Dies geschieht aufgrund des gewählten Betrachtungszeitraums von 80 Jahren, der keine zuverlässigen Szenarien ermöglicht.

7.1.2.2 Voraussagen über die Nutzungsdauer von Bauelementen und ihren Bestandteilen

Voraussagen über Nutzungsdauern sind zwangsläufig unsicher. Es gibt zwar eine Reihe von Literaturdaten und Herstellerangaben zu den gängigsten Bauelementen (siehe u.a. Bundesamt für Konjunkturfragen 1994, S. 98; SIA 1995, Seite A-1), doch werden zum einen teilweise nur mehr oder weniger große Zeitspannen angegeben. Zum anderen handelt es sich oftmals um die Zusammenstellung ökonomisch sinnvoller Ersatzdaten von Bauelementen, die nicht unbedingt der tatsächlichen Baupraxis entsprechen. So zeigte der Vergleich von Daten zur Baustoffproduktion in Deutschland mit Hochrechnungen eingesetzter Baustoffmengen im deutschen Gebäudebestand auf der Basis von Literaturdaten zu Lebensdauern von Elementen deutliche Widersprüche (Buchert 1998, mündliche Mitteilung). Es wurde deshalb gefolgert, dass die Erneuerungszyklen verschiedener Elemente in der Praxis wesentlich länger sind als sie in der Literatur angegeben werden. Es handelte sich dabei insbesondere um die Elemente Innenputz, Estrich und den Anstrich von Holzfenstern.

Entscheidend ist dabei die Frage, wie groß der Einfluss von eventuell falschen Annahmen zu Lebensdauern von Elementen auf eine vergleichende Bewertung verschiedener Varianten ist. Erfahrungsgemäß kann dieser Aspekt bei Ökobilanzen eine wichtige Rolle spielen, da die Definition der Funktion des untersuchten Systems oft mit einem bestimmten Zeitrahmen gekoppelt ist. Beispielsweise ist dies im Fallbeispiel die „Bereitstellung von beheiztem Wohnraum über 80 Jahre“. Ist nun die Nutzungsdauer eines Bauproduktes nur 40 statt der angenommenen 80 Jahre, so verdoppelt sich der Beitrag dieses Bauproduktes zur gesamten Umweltlast des Gebäudes. Ebenso kann dies auch umgekehrt sein, statt wie erwartet 20, bleibt ein Produkt 40 Jahre intakt, entsprechend halbiert sich sein Beitrag.

Grundsätzlich sollten die verwendeten Elementlebensdauern kritisch überprüft werden. Dabei lassen sich falsche Annahmen natürlich nicht gänzlich ausschließen. Abhängig von der Aufgabenstellung lassen sich folgende Ansätze durchführen:

- Handelt es sich um Einzelgebäude, die untersucht werden, scheint es geboten, die Relevanz der Lebensdauerannahmen besonders kritisch zu überprüfen und eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen. Die Auswahl der verwendeten Bauelemente ist

unter Umständen nur gering und eine Fehleinschätzung kann sich entsprechend stark auf das Ergebnis auswirken.

- Bei der Untersuchung von vielen Gebäuden oder von Gebäudebeständen (z.B. Kohler et al., 1994), die mit einer großen Menge verschiedener Bauelemente einhergehen, scheint es dagegen gerechtfertigt, anzunehmen, dass sich etwaige Fehleinschätzungen zu Elementlebensdauern bzw. der sich daraus ergebenden Umweltbelastungen herausmitteln. Auch hier muss die kritische Überprüfung der Lebensdauern der verwendeten Elemente erfolgen.

Im Fallbeispiel wird eine Sensitivitätsanalyse zur Lebensdauer der verwendeten Bauelemente durchgeführt. Verglichen wird dabei ein worst-case-Szenario, d.h. verhältnismäßig kurze Lebensdauern, mit einem best-case-Szenario, d.h. verhältnismäßig lange Lebensdauern, und der jeweilige Einfluss auf das Gesamtergebnis.

7.1.2.3 Beurteilung des Recyclingpotenzials

Die im Fallbeispiel untersuchten Häuser wurden 1990 gebaut und werden gemäß der angenommenen Lebensdauer von 80 Jahren im Jahr 2070 abgerissen. Eine Prognose über die dann übliche Recyclingpraxis ist nicht möglich. Selbst die Abfälle aus der Erneuerung fallen, wie Abbildung 66 zeigt, verteilt über die gesamte Lebensdauer an. Wie kann man aber nun die Entsorgung von Abfällen generell und das Recycling im Speziellen auf der Outputseite trotz der langen Lebensdauer berücksichtigen?

Prinzipiell gibt es sowohl auf der Input- als auch auf der Outputseite die Möglichkeit des Recyclings. Auf der Inputseite handelt es sich um den Einsatz von Recyclingmaterial im Gebäude, z.B. einem Dämmstoff aus Altpapier oder Altglas. Auf der Outputseite geht es um die Verwertung der anfallenden Abfälle aus dem Gebäude. Ein ökologisch und technisch sinnvolles Recycling vorausgesetzt, sind die Umweltauswirkungen eines Produktes, welches aus Recyclingmaterial hergestellt wird, geringer als bei seiner Produktion aus Primärmaterial.

Welches Produkt profitiert aber von diesem positiven Effekt? Dasjenige, dessen Abfall verwertet wurde, oder dasjenige, welches den Abfall sinnvoll einsetzen kann? Oder soll der positive Effekt anteilig auf beide Produkte verteilt werden?

Diese Fragen sind grundsätzlich erst einmal unabhängig vom betrachteten Produkt, auch unabhängig von der Lebensdauer. Es existieren verschiedene Vorschläge, mit welchen Rechenoperationen ein Recycling quantitativ zugerechnet werden kann.

Bei Gebäuden kommt erschwerend das Problem der Lebensdauer hinzu. Eine quantitative Berücksichtigung des Recyclings erscheint aufgrund der unsicheren Prognosen nicht sinnvoll, da konkrete Zahlenwerte eine unrealistische Genauigkeit vorspiegeln.

Grundsätzlich denkbar sind folgende Ansätze:

- Berücksichtigung des Recyclings auf der Inputseite. Auf der Outputseite wird voll umfänglich die Entsorgung berechnet. Damit werden Produktvarianten gleichgestellt, die ein Recycling ermöglichen mit solchen, bei denen dies nicht möglich ist.
- Cut-Off-Verfahren: Berücksichtigung des Recyclings auf der Inputseite nach dem heutigen Stand der Praxis. Ebenso nach dem heutigen Stand der Praxis wird das Recyclingpotenzial auf der Outputseite insofern einberechnet, als die Aufwendungen für die Entsorgung der recycelten Bestandteile entfallen. Für das Recycling auf der Outputseite werden aber keine Gutschriften vergeben. Beispiel: ECOPRO, allgemein ist das eine relativ übliche Vorgehensweise.
- Berücksichtigung des Recyclings auf der Inputseite. Erteilung von Gutschriften (eingespartes Material, Emissionen etc.) für ein Recycling auf der Outputseite, ansonsten Einberechnung der Entsorgung. Bei derartig langen Lebensdauern wie Gebäuden sind Gutschriften nicht zu rechtfertigen. Es bleibt letztendlich unklar, was nach 80 Jahren tatsächlich passiert und es erscheint auch nicht sinnvoll etwaige positive Effekte durch ein Recycling in 80 Jahren schon heute gutzuschreiben. Bei kurzlebigen Produkten wie z.B. Getränkedosen kann dies möglicherweise berechtigt sein.

7.1.2.4 Negativer Treibhauseffekt für nachwachsende Rohstoffen?

Rechtfertigt eine Standzeit von 30 bis 80 Jahren für Bauelemente mit nachwachsenden Rohstoffen (im folgenden sind nur pflanzliche Rohstoffe gemeint) eine Berücksichtigung des Speichereffektes für CO₂? Diese Frage steht im Zentrum der nachfolgenden Überlegungen.

Abgesicherte Zahlenangaben zu einem CO₂-Speicher in Holzerzeugnissen liegen nicht vor. Die Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft geht von einem bundesweiten Kohlenstoff-Speicher in der Größenordnung von 325 Mio. Tonnen, gebunden in Holzerzeugnissen aus. Dieser Wert entspricht einer Menge von gut einer Milliarde Tonnen CO₂, was der Größenordnung der CO₂-Emission der BRD von 1987 entspricht (zitiert nach: Bundesministerium für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg) 1994, Seite 150). Davon ist ein wesentlicher Anteil im Gebäudebereich gespeichert.

Bislang ist es Stand der Praxis, nachwachsenden Rohstoffen, wie beispielsweise Holz, in einer Ökobilanz CO₂-Neutralität zuzuordnen. Dem liegt die Tatsache zugrunde, dass ein Baum im Laufe seines Wachstums durch die Photosynthese der Atmosphäre CO₂ entzieht. Verrottet er später, so wird genau dieselbe Menge an CO₂ wieder frei. Entsprechendes gilt für Bauelemente aus Holz. Bei ihrer Verrottung oder Verbrennung wird die gleiche Menge CO₂ frei, die während des Wachstums der Atmosphäre entzogen worden war.

Die alleinige Berücksichtigung des am Ende des Lebensweges frei werdenden CO₂s stellt deshalb ein schlechtes Modell der Wirklichkeit dar. Die zentrale Frage ist dagegen, inwieweit es zulässig ist, das am Ende des Lebensweges frei werdende CO₂ zu vernachlässigen, weil man dem Holz einen Speichereffekt beimisst, der den Treibhauseffekt innerhalb des betrachteten Zeithorizonts verringert.

Für die Beantwortung dieser Frage ist neben der Lebensdauer der eingesetzten Bauelemente, die im Einzelfall deutlich unter 80 Jahre liegen kann, entscheidend, ob der Anbau der nachwachsenden Rohstoffe nachhaltig erfolgt. Eine nachhaltige Forstwirtschaft (siehe auch Kapitel 2.1.1) ermöglicht eine gleichmäßig hohe Biomasseproduktion des Waldes. Die regelmäßig erfolgende Holzernte ist der Fähigkeit des Waldes angepasst, sich zu regenerieren. Für die obige Fragestellung bedeutet das, dass Bauelemente aus Holz mit langen Lebensdauern quasi als „toter Wald“ in Form beispielsweise eines Dachstuhls über Jahrzehnte erhalten bleiben, ohne den lebenden Wald zu beeinträchtigen. Handelt es sich dagegen um Produkte aus nicht nachhaltiger Forstwirtschaft, so bedeutet die Entnahme von Holz für den Bau eines Dachstuhls, dass der Wald sich nicht mehr richtig regenerieren kann und im Extremfall überhaupt nicht mehr nachwächst. In diesem Fall kann man nicht von einem CO₂-Speichereffekt sprechen. Es handelt sich aber dennoch um CO₂-Neutralität.

In Fachkreisen wird in den allermeisten Fällen mit CO₂-Neutralität gerechnet (siehe nachfolgende Auflistung). Dies liegt nicht zuletzt auch daran, dass maßgebliche Studien aus dem Bereich der Energiebereitstellung kommen, wo sich die Frage des Speichereffektes gar nicht stellt.

Abschließend sind drei Möglichkeiten zusammengefasst, den Treibhauseffekt bzw. den Beitrag des CO₂ zum Treibhauseffekt bei Bauelementen aus nachwachsenden Rohstoffen zu berücksichtigen:

- Der Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre während des Wachstums der Pflanzen wird vernachlässigt. Die Freisetzung von CO₂ während des Verarbeitungsprozesses, der Entsorgung und anderer Vorgänge wird berücksichtigt. Dieses Vorgehen ist nicht mehr üblich, wird aber der Vollständigkeit halber erwähnt. Beispiel: (Dinkel et al. 1993)
- CO₂-Neutralität: Annahme, dass nachwachsende Rohstoffe CO₂-neutral sind, d.h. dass beim Wachstum der Pflanzen genau so viel CO₂ fixiert wird wie bei der Verbrennung bzw. Verrottung der entsprechenden Bauelemente am Ende des Lebensweges wieder frei wird. Vernachlässigung der Speicherwirkung. Verarbeitungsprozesse und andere Vorgänge, die CO₂ freisetzen, werden berücksichtigt.

Beispiele:

ENERGIEBEREITSTELLUNG: Die Lebensdauer Brennholz beispielsweise ist praktisch Null, da sich nach der Holzernte relativ bald die Verbrennung anschließt, d.h. es erfolgt keine Speicherung. Z.B. Frischknecht et al. (1995), Teil IX; Fritsche et al. (1994).

BAUPRODUKTE: In den meisten Studien wird davon ausgegangen, dass Bauprodukte trotz ihrer langen Lebensdauer keinen CO₂-Speichereffekt haben. U.a. Richter und Sell (1992), S. 16; BUWAL (1992), S. 16; SIA (1995), S. C-3; Künninger und Richter (1998), S.155.

- **Negativer Treibhauseffekt:** Annahme, dass nachwachsende Rohstoffe infolge der langen Nutzungsdauern von Bauelementen eine Speicherwirkung für CO₂ besitzen, d.h. dass sie den Treibhauseffekt vermindern. Die Lebensdauer der Bauelemente liegt in der gleichen Größenordnung wie der Zeithorizont für die Berechnung des Treibhauseffektes. Diese Annahme rechtfertigt die Vernachlässigung des am Ende des Lebensweges wieder freigesetzten CO₂s. Verarbeitungsprozesse oder andere Vorgänge, bei denen CO₂ frei wird, werden berücksichtigt. Es können negative GWP-Werte auftreten. Weibel und Stritz (1995) rechnen nur scheinbar mit negativen CO₂-Werten. Es handelt sich um eine cradle-to-gate Untersuchung, d.h. die Entsorgungsphase ist nicht enthalten.

Im Fallbeispiel wird aufgrund der verfügbaren Datenbasis mit CO₂-Neutralität gerechnet wie unter Punkt zwei beschrieben (Näheres siehe Kapitel 5).

7.1.2.5 Einbezug des Nutzerverhaltens

Baugleiche Wohnungen können einen Heizenergieverbrauch aufweisen, der stark vom mittleren Verbrauch abweicht. Die übliche Streubreite des Energieverbrauchs wird für Niedrigenergiehäuser in grober Näherung mit zwischen 50 und 150 Prozent um den Mittelwert (100 Prozent, Humm (1991), Seite 113) angegeben.

In verschiedenen Felduntersuchungen wurden aber auch größere Schwankungen festgestellt, insbesondere nach oben. So ermittelten z.B. Feist et al. (1997) anhand mehrerer Literaturquellen zu Felduntersuchungen eine Streubreite zwischen 175 Prozent bzw. 65 Prozent des Mittelwertes (100 Prozent).

In Abbildung 67 ist dargestellt, wie das Umweltbundesamt die Verteilung des Heizwärmeverbrauchs in Mietwohnungen nach Anteilen der Mieter einschätzt. Auch hier sind deutliche Abweichungen vom mittleren Verbrauch zu erkennen. Man sieht aber auch, dass die meisten Verbrauchsdaten (66 Prozent) relativ nahe um den Mittelwert gruppiert sind (ca. 20 Prozent).

Wesentliche Einflussfaktoren der Nutzer auf den Heizwärmeverbrauch liegen

- in der eingestellten mittleren Raumtemperatur und
- der Luftwechselrate.

Ausgehend von einer mittleren Zimmertemperatur von 20 bis 21 °C können nach Einschätzungen des Umweltbundesamts (Hrsg., 1994, Seite 54) für jedes Grad weniger 6 % der Heizkosten bzw. entsprechend Heizenergie gespart werden. Feist et al. (1997, Seite 166) sprechen für Wohnungsbauten nach Baustandard Wärmeschutzverordnung bzw. Niedrigenergiehäusern sogar von einer Einsparung der Heizenergie von 8 bzw. 10 Prozent bei einer Absenkung der Raumtemperatur von 20 auf 19 °C. Bei einem Passivhaus liegt die Einsparungsmöglichkeit sogar bei 15 Prozent. Dies zeigt trotz der abweichenden Angaben beider Quellen die Tendenz an,

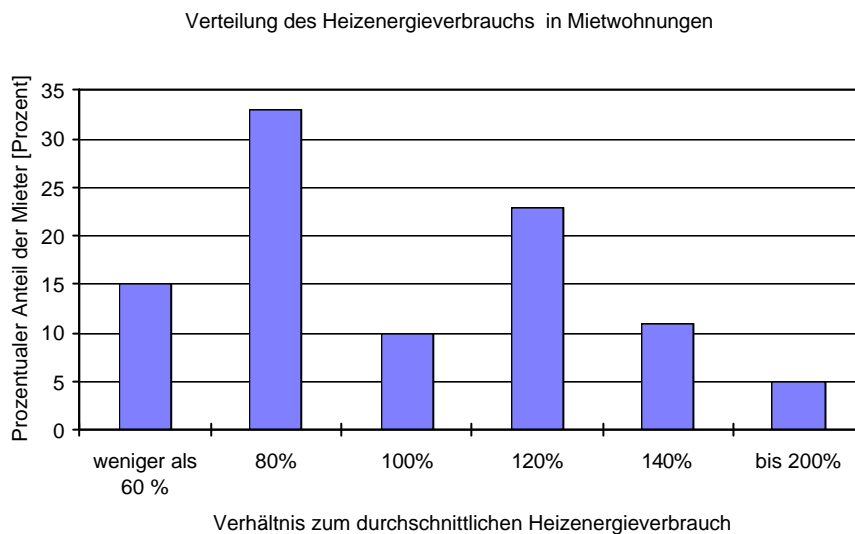


Abbildung 67 Heizwärmeverbrauch in Mietwohnungen, dargestellt anhand der Anteile der Mietwohnungen mit einer Abweichungen zum mittleren Verbrauch zwischen unter 60 und bis 200 Prozent. Quelle: Umweltbundesamt (Hrsg., 1994), Seite 52

dass bei steigendem Energiestandard die Wahl der Raumtemperatur relativ zum jeweiligen mittleren Verbrauch einen immer stärkeren Einfluss gewinnt.

In einer Untersuchung von Deilmann und Gruhler (1996) wurde mittels einer Simulationsrechnung gezeigt, dass die Vergrößerung der Luftwechselrate von 0,4 auf 0,8h⁻¹ im konkreten Beispiel zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs von 80 Prozent führte.

Nun muss sich an dieser Stelle sicherlich die Frage anschließen, was dies für Konsequenzen für die Erstellung einer Ökobilanz für Wohngebäude hat. Genügt es, die Ökobilanz für ein Wohnhaus anhand der ermittelten Durchschnittswerte bzw. Simulationswerte zum Energieverbrauch zu berechnen oder sollte die Streubreite des Energieverbrauchs wegen des unterschiedlichen Nutzerverhaltens berücksichtigt werden?

Für eine Berücksichtigung der Streubreite spricht, dass der absolute Energieverbrauch in einem Gebäude mit einem guten Energiestandard weniger stark streut als in einem Gebäude mit einem schlechten Energiestandard, auch wenn man die gleichen

prozentualen Schwankungen annimmt. Bei einem schlechten Standard sind die Auswirkungen durch verschwenderische Nutzer absolut gesehen also größer. Dies führt dementsprechend zu einem wesentlich höheren Maximalwert. Innerhalb einer Ökobilanz wäre die Information über Streubreiten aufgrund des Nutzer-verhaltens folglich für einen Vergleich diesbezüglich unterschiedlicher Varianten sinnvoll. Es würde eine zusätzliche positive Bewertung für Gebäude mit einem guten Energiestandard bedeuten.

Dagegen spricht, dass sich dadurch die Komplexität einer Ökobilanz erhöht, ohne dass eine wesentlich neue Information dazugekommen wäre. Ein Niedrigenergie-haus beispielsweise wird ohnehin schon deutlich besser bewertet als ein Gebäude mit dem durchschnittlichen Energiestandard des heutigen Bestandes.

Es stellt sich auch die Frage, wie die Streubreite überhaupt berücksichtigt werden könnte. Es lässt sich weder die alleinige Angabe des Minimal- noch des Maximalwertes rechtfertigen. Wenn Berücksichtigung, dann als Schwankungsbereich und dies bedeutet, dass die Ergebnisse als Wertebereiche angegeben werden müssten (Beispiel: Variante 1: 1250 bis 1300 Ökoindikatorpunkte'95). Der Schwankungsbereich muss anhand des Gesamtgebäudes für den gesamten Lebensweg ermittelt werden, um etwaige Effekte durch vermehrte Aufwendungen in den anderen Phasen zu berücksichtigen.

Da die Angabe von Schwankungsbereichen für eine Ökobilanz aber nicht durchgehend praktikabel ist, bleibt die Berücksichtigung als Zusatzinformation. Insbesondere wenn eine vergleichende Ökobilanz keine eindeutige Entscheidung ermöglicht, kann diese Zusatzinformation möglicherweise helfen.

Im Fallbeispiel wird diese Zusatzinformation vorerst anhand der als üblich angegebenen Streubreite von 50 Prozent nach oben und unten um den mittleren Energieverbrauch für ausgewählte Kriterien und die jährliche Belastung durch die Gesamtgebäude ermittelt und in die Bewertung eingebunden. Verfeinerungen der Streubreite anhand von Felduntersuchungen könnten später notwendig werden.

Es wird im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse analysiert, wie sich diese Schwankungen auf das Gesamtergebnis über alle Lebenswegphasen auswirken. Anschließend werden die anhand der Messdaten aus der Heizperiode 1992/93 ermittelten Gesamtergebnisse des Fallbeispiels berechnet und damit verglichen.

7.1.3 Standortbezug

7.1.3.1 Lokalisierbare Umweltauswirkungen

Eine Besonderheit von Gebäuden im Vergleich zu den meisten anderen Produkten ist ihre Gebundenheit an einen Standort. Angefangen von der Erstellung eines Gebäudes - die Baustelle befindet sich auf einem spezifischen Baugrundstück - bis hin zum Abbruch - auch hier ist Ausgangspunkt der Umweltauswirkungen das Gebäude auf dem

Grundstück - ist das Gebäude bzw. das Grundstück letztlich der Ausgangspunkt eines bestimmten Anteils der Umweltauswirkungen.

Unterscheiden lassen sich zum einen die Einwirkungen auf das Grundstück, die mit Veränderungen der Fläche verbunden sind. Dabei ist das Anlegen eines Gartens sicher nicht so negativ zu bewerten wie die vollständige Versiegelung durch die Überbauung oder das Anlegen entsprechender Wege.

Zum zweiten sind die Umweltauswirkungen zu differenzieren, die vom Gebäude selbst ausgehen. Darunter fallen die Emissionen der Heizungsanlage während der Nutzungsphase, falls es sich nicht um eine Fernwärme- oder Elektroheizung handelt. Von den Baustellen für Neubau, Erneuerungsarbeiten und Abbruch gehen ebenfalls spezifische Auswirkungen aus und sie sind gleichzeitig Ausgangspunkt für Abfälle.

Nicht eindeutig lokalisieren lassen sich dagegen die Vorketten z.B. zur Baustoffproduktion oder zur Energiebereitstellung. Es bestünde auch kaum die Möglichkeit, ihnen eine (Werks-)spezifische Datengrundlage zuzuordnen, wenn man von einer gesonderten Datenerhebung einmal absieht.

Wie sinnvoll ist aber die methodische Trennung lokalisierbarer Umweltauswirkungen von nicht lokalisierbaren? Eine generelle Diskussion dieses Aspekts findet sich in Potting und Blok (1994), sowie Pujol und Boidot Forget (1994).

Letztlich hängt die Berücksichtigung der lokalen und regionalen Auswirkungen von der Fragestellung einer Ökobilanzstudie ab, die sich in ihrer Zieldefinition darstellt. Hier werden die Systemgrenzen festgelegt, die eben auch räumliche Grenzen beinhalten und es wird die funktionelle Einheit definiert, die einen Standortbezug enthalten kann.

Handelt es sich um die Analyse einzelner Gebäude, so erscheint der Standortbezug sinnvoller als bei der Untersuchung großer Gebäudebestände, wo sich lokale Besonderheiten verwischen. Es stellt sich aber die Frage, ob die Hintergrundbelastungen und die Empfindlichkeiten der Standorte innerhalb Deutschlands so unterschiedlich sind, dass sich eine unterschiedliche Bewertung rechtfertigen ließe.

Entsprechend der Fragestellung dieser Arbeit (siehe Kapitel 3) soll im Folgenden aufgezeigt werden, inwieweit sich die Standorttreue als besondere Produkteigenschaft von Gebäuden auf die Anwendung der Ökobilanz auswirkt bzw. ob sie sich sinnvoll innerhalb dieser Methode berücksichtigen lässt.

Grundsätzlich lassen sich die lokalen Umweltauswirkungen, die bezogen auf den Standort identifiziert werden können, folgendermaßen unterscheiden:

I. EINWIRKUNGEN AUF DAS GRUNDSTÜCK infolge eines Bauvorhabens: Entfernung von Pflanzen- und Bodendecke, Verdichtung, Versiegelung.

Für die Beurteilung eines Grundstückes hinsichtlich der Auswirkungen eines Bauvorhabens auf seine Qualität ist die Ökobilanz mangels einer geeigneten, genügend feinen Methode momentan nicht einsetzbar. Es befinden sich aktuell mehrere Ansätze in

der Entwicklung, die in Zukunft eine Berücksichtigung möglich erscheinen lassen (Bretz 1999). Zum jetzigen Zeitpunkt ist für diesen Zweck die Methode der UVP (siehe Kapitel 2.3.2.2) allerdings besser geeignet als die Ökobilanz, die Umweltbelastungen infolge einer Bebauung zu bewerten.

II. VOM GRUNDSTÜCK BZW. DEM GEBÄUDE SELBST AUSGEHENDE UMWELTAUSWIRKUNGEN wie Emissionen durch Baumaschinen und Bauprozesse (z.B. Lärm, Staub, Abgase), sowie Emissionen aus der Heizung und der Warmwasserbereitung während der Nutzungsphase. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, diese zu berücksichtigen:

- Abgesehen von der Berechnung des Heizwärmebedarfes, der u.a. von der Klimaregion abhängt, wird der Standort eines Gebäudes vernachlässigt. Emissionen bzw. generell Umweltauswirkungen werden nach nationalen oder internationalen Kriterien bewertet. Dies ist die übliche Vorgehensweise in Ökobilanzen.
- Separierung des lokalisierbaren Anteils der Umweltauswirkungen von den nicht lokalisierbaren. Bewertung der Wirkungen anhand lokaler Umweltqualitätsziele, Reduktionsziele o.ä.. Die Aggregation zu einem Gesamtergebnis der lokalen und nicht lokalen Bewertungen muss allerdings gegeben sein.

7.1.3.2 Auswirkungen auf Infrastruktur und Verkehr

Ein Gebäude ist an die dem Grundstück zugehörige Infrastruktur gebunden (Trinkwasser- und Abwasserleitungen, Gasleitungen, Fernwärme etc.). Einschränkend kann sich die Infrastruktur insofern auswirken, als die Nutzung z.B. von Fernwärme oder Gas - sieht man von einem separaten Gastank einmal ab - nur möglich ist, wenn die erforderlichen Leitungen angelegt sind. Andersherum müsste man einem Gebäude anteilig den Bau und Unterhalt der Infrastruktur zurechnen, die der Versorgung des Gebäudes dient. Macht man dies pauschal über nationale Durchschnittswerte, so ergibt sich daraus kein Erkenntnisgewinn für den Vergleich verschiedener Varianten, da jeder Variante die gleich Pauschale zugerechnet würde. Berücksichtigt man aber die individuellen Unterschiede der Standorte, so können sich Unterschiede zeigen. Dazu müsste die jeweilige Infrastruktur separat erfasst werden. Abweichungen zwischen den untersuchten Varianten ergeben sich dann durch die Qualität und - abhängig von der Verdichtung - durch die jeweils zuzurechnende Menge der Infrastruktur.

Ähnlich verhält es sich mit der Mobilität während der Nutzungsphase eines Gebäudes. Sie ist einerseits sehr individuell je nach Standort und persönlicher Präferenz der NutzerInnen (Entfernung zum Arbeitsplatz, Einkaufs- und Freizeitgewohnheiten etc.) und müsste deshalb separat erfasst werden. Andererseits kann man diesen Aspekt pauschal berücksichtigen, indem man nationale Durchschnittswerte zugrunde legt, was wiederum keinen Erkenntnisgewinn bringt.

Letztlich ist die Fragestellung der Ökobilanz und daraus abgeleitet die Zieldefinition dafür entscheidend, ob die individuellen Unterschiede in der Infrastruktur und Mobilität erfasst werden müssen oder nicht.

Im Fallbeispiel ist der Aspekt Infrastruktur ausgeklammert, da eine pauschale Zurechnung von Durchschnittswerten den Vergleich zwischen den Varianten nicht verbessert und eine individuelle Erfassung in der Fragestellung nicht enthalten ist.

Der Verkehr ist im Fallbeispiel insofern berücksichtigt als den ermittelten Gebäudedaten die Auswirkungen der durchschnittlichen Mobilität pro Person (mit PKW) als Vergleichsgröße gegenübergestellt werden. Dies hat entsprechend keine Auswirkung auf die vergleichende Bewertung der untersuchten Gebäude.

7.1.4 Anwendungsspezifische Bewertungsverfahren

Wie in der Aufgabenstellung beschrieben ist, war innerhalb dieser Arbeit überlegt worden, ein gebäudespezifisches Bewertungsverfahren zu entwickeln. Deshalb galt es in einem ersten Schritt, zu überprüfen, inwieweit schon an bestimmte Produkte angepasste Verfahren entwickelt und angewendet worden sind bzw. angewendet werden. Dabei wurde der Focus auf bauspezifische Studien gelegt. Die im Folgenden vorgestellten Verfahren bewegen sich alle auf der Ebene Baustoff bzw. Bauelement.

7.1.4.1 Vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen

1992 wurde in der Schweiz eine Studie zur vergleichenden ökologischen Bewertung von Anstrichstoffen im Baubereich veröffentlicht (Darstellung der Methode in BUWAL (1992); Band 2 enthält Daten: BUWAL (1995)). Ziel der Studie war es, eine Methode zu entwickeln, die es Herstellern (Rohstoff- und Anstrichstoffhersteller) und Anwendern (Architekten, Handwerker) ermöglicht, in ihrem jeweiligen Bereich ökologische Optimierungen vorzunehmen. Die Optimierung umfasst dementsprechend die Produktentwicklung respektive die Produktauswahl. In der Praxis wird dieses Verfahren in Form von bewerteten Produktlisten verwendet, die als Arbeitshilfe z.B. für Malerbetriebe dienen (Konferenz der Bauorgane des Bundes 1997).

Außerdem sollten methodisch interessierte Kreise angesprochen werden. Berücksichtigt werden die Herstellung der Rohstoffe, die Anstrichstoffherstellung und die Entfernung alter Anstriche.

Innerhalb dieses Bewertungsverfahrens werden Daten der in den Anstrichstoffen - dem Produkt - enthaltenen Rohstoffe zu den kritischen Volumina kombiniert (siehe Kapitel 4.2.6.1) mit Daten zu anderen, größtenteils toxischen Wirkungskategorien. Die Auswahl der Wirkungskategorien und die Ausarbeitung ihrer Bewertung erfolgte bezogen auf die Anwendung. Im einzelnen werden Daten zu folgenden Kategorien einbezogen:

- **ÖKOPROFIL:** Daten zu den kritischen Volumina in den Unterkategorien Energie, kritisches Luftvolumen, kritisches Wasservolumen, Abfallvolumen.
- **CO₂-EMISSION:** Sie dient hier als Maß für den Verbrauch nicht erneuerbarer Rohstoffe. Nicht erneuerbaren Rohstoffen mit organischen Anteilen wird das bei einer Mineralisation entstehende CO₂ zugerechnet.
- **TOXIZITÄT DES PRODUKTES (TOX):** Die Toxikologie-Kennzahl eines Produkts (TOX_P) berechnet sich als Summe der nach Massenanteil gewichteten Toxikologie-Kennzahlen der eingesetzten Rohstoffe (TOX_R) und ergibt als Resultat eine Punktzahl. Die Toxikologie-Kennzahlen wurden anhand bestehender toxikologischer Einstufungssysteme ermittelt (MAK-Werte, LD₅₀-Werte etc.). Ausgenommen wurden Säuren und Laugen, die zur PH-Korrektur eingesetzt wurden, da sie im Endprodukt keine Reizwirkung mehr aufweisen.
- **ALLERGENES POTENZIAL (AP):** Das allergene Potenzial eines Produkts wird anhand der Anzahl und dem Gehalt an allergenen Stoffen mit einer Punktzahl bewertet.
- **LUFTBELASTUNG BEI DER APPLIKATION:** Diese Kategorie bewertet den Gehalt an flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) im Produkt in Form einer Punktzahl, die ihrem prozentualen Anteil entspricht. Sie werden bei der Verarbeitung vollständig frei. Der prozentuale Anteil halogener VOCs wird mit dem Faktor 10 multipliziert.
- **ÖKOTOXIZITÄT:** Die Ökotoxizität des Produkts wird anhand des prozentualen Anteils an Rohstoffen, die ein bedeutendes Gefährdungspotenzial aufweisen, in Form einer Punktzahl bewertet. Als Kriterien gelten: Gewässertoxizität, Akkumulierbarkeit, biologische Abbaubarkeit und Schwermetallgehalt des Produkts. Der Gewichtsanteil elementaren Metalls wird mit dem Faktor 10 multipliziert.

Die Produktdaten werden mit anwendungsspezifischen Korrekturfaktoren gewichtet, die die Gebrauchstauglichkeit und das Anwendungsverhalten eines Produktes wiedergeben. Die Gesamtbeurteilung eines Anstrichstoffes findet im Anschluss daran statt (Tabelle 51 und 52).

Für den Vergleich verschiedener Anstrichstoffe sind die ermittelten Daten anhand von Vergleichssubstanzen eingestuft worden. Das Prinzip beruht darauf, dass dem theoretisch tiefstmöglichen Wert einer Kategorie die Belastungszahl Null zugeordnet wird. Dem Wert einer Kategorie, der eine zwar starke, aber gerade noch tolerable Belastung beschreibt, wird die Belastungszahl 5 zugeordnet. Vereinfachend wird angenommen, dass zwischen diesen Extremwerten eine lineare Beziehung verläuft (siehe Tabelle 52). Die Belastungszahlen aller Kategorien können zu einer Punktzahl aufaddiert werden. Es handelt sich also um eine Vollaggregation, bei der die unterschiedlichen Kategorien die gleiche Priorität besitzen.

Was zeichnet dieses Bewertungsverfahren nun speziell aus? Sieht man von den anwendungsspezifischen Korrekturfaktoren einmal ab, die sich durch eine entspre-

chende Wahl der funktionellen Einheit erübrigen, so kann man das Verfahren verkürzend als die Kombination eines nicht produktspezifischen Verfahrens - den kritischen Volumina - mit einem Verfahren zur Bewertung der produkt- und anwendungsspezifischen toxischen Eigenschaften beschreiben (die Kategorie CO₂ fällt allerdings aus diesem vereinfachenden Rahmen heraus). Dies bringt zum

Tabelle 51 Ökologische Kenndaten eines Anstrichstoffes nach BUWAL (1992, S. 30).

Σ Ökopprofile				CO ₂	TOX	Allergen. Potenzial	Luftbelastung	Ökotoxizität
Energie	Luft	Wasser	Abfall	Menge	TOX _p			
Σ MJ	Σ m ³ x 1000	Σ l	Σ cm ³	Σ g	Σ TOX _R	Punkte	Σ Prozent VOC	Σ Prozent Stoffe

Tabelle 52 Bewertungstabelle für die Beziehung zwischen den Kenndaten der Anstrichstoffe und der Belastungszahl nach BUWAL (1992), S. 30). Zeile zwei zeigt den Minimal- und Zeile drei den Maximalwert innerhalb einer Kategorie. Dem Minimalwert wird Null, dem Maximalwert 5 zugeordnet. Auf der Basis dieser Werte wird die Belastungszahl für dazwischen liegende Werte berechnet. Die Werte beziehen sich jeweils auf ein Kilogramm Anstrichstoff.

Bewertung	Energie [MJ/kg]	Luft [m ³ x 1000/kg]	Wasser [l]	Abfall [cm ³ /kg]	CO ₂ [g/kg]	TOX TOX _p /kg	AP	Luftbel. %VOC	Ökotox. %ÖT
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	45	400	90	350	2000	5	10	15 %	25 %

Ausdruck, dass die toxischen Eigenschaften im nicht produktspezifischen Verfahren ungenügend bzw. dem betrachteten Produkt nicht adäquat angepasst repräsentiert sind und einer expliziten Ergänzung bedürfen.

Mit den produkt- und anwendungsspezifischen Eigenschaften ist

- die Kenntnis typischer Bestandteile von Anstrichstoffen und der mit ihnen zusammenhängenden besonderen Problematik (z.B. halogenierte VOC, Schwermetalle, allergene Stoffe) und
- die Kenntnis über die übliche Verarbeitung von Anstrichstoffen (inklusive der Entfernung von altem Anstrich), d.h. über die potentielle Gefährdung von Personen und der Umwelt bei der Anwendung (z.B. Einbezug der VOC als Luftbelastung)

gemeint.

Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass konkret Bezug genommen wird auf produkt- und anwendungsspezifische Besonderheiten von Anstrichsystemen. Damit erhält die Zielgruppe ein Instrument in die Hand, das auf sie zugeschnitten ist und dementsprechend diejenigen Stoffe und Wirkungskategorien berücksichtigt, die für sie besonders relevant sind.

Das Verfahren hat aber auch mehrere Nachteile. Zum einen können die Ergebnisse aufgrund des speziellen, ansonsten nicht verwendeten Verfahrens nicht in anderen

Studien, z.B. als Modul für Gebäudeökobilanzen, verwendet werden. Zum anderen gilt es sich zu vergegenwärtigen, dass alle Kriterien gleichwertig sind. Ein kritisches Volumen Wasser beispielsweise, welches mit 3 Punkten bewertet wird, hat den gleichen Anteil am Gesamtergebnis wie ein mit 3 Punkten bewertetes Allergiepotezial. Dies stellt eine implizite Bewertung dar, die nicht wissenschaftlich begründet wird. Vier von neun Kategorien sind spezifisch. Sie stehen dem Ökopprofil und der CO₂-Emission gegenüber. Es ist nicht klar, inwieweit die spezifischen Kategorien korreliert sind und einzelne Substanzen das Gesamtergebnis unverhältnismäßig stark beeinflussen können.

Aufgrund der noch vorhandenen methodischen Schwächen der Bewertung toxischer Wirkungen in Ökobilanzen (siehe Kapitel 4.2.5.2) erscheint das Verfahren dennoch sinnvoll, wenn es für den Vergleich von gleichermaßen bewerteten Produkten verwendet wird.

7.1.4.2 Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten

1995 wurde von SIA (1995) ein Bauelementekatalog erarbeitet, der neben einem quantitativen Index mit Wirkungsbilanzdaten zu Energieverbrauch, Treibhauseffekt und Versauerung auch ein weitgehend qualitatives Profil mit bautechnischen und gesundheitsrelevanten Angaben beinhaltet. Zielsetzung des Projekts war die Übertragung von Ökobilanz-Wissen in der Kombination mit ökologisch relevanten baupraktischen Erfahrungen in die Baupraxis. Gedacht ist der Bauelementekatalog für Architekten, Bauherren, Verwaltungen und generell die interessierte Öffentlichkeit.

Die Elemente sind entsprechend der Elementkostengliederung der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) erstellt und in sieben Elementkategorien gruppiert (Fundament/Kellerböden, Decken/Böden, Dächer, Außenwände unter Terrain, Außenwände über Terrain, Innenwände (Rohbau), Trennwände).

Die Elemente werden nach folgenden Kriterien bewertet:

INDEX-KRITERIEN:

1. Angaben jeweils für die einzelnen Bestandteile bzw. Schichten eines Bauelementes:
 - CO₂-Äquivalente getrennt nach Herstellung bzw. Herstellung und Entsorgung,
 - SO₂-Äquivalente getrennt nach Herstellung bzw. Herstellung und Entsorgung,
 - Nutzungszeit,
 - Hinweise zur Entsorgung mit und ohne Verwertung.
2. Summe über das gesamte Element und die Phasen Herstellung und Erneuerung
 - CO₂-Äquivalente,
 - SO₂-Äquivalente,
 - Primärenergieinhalt erneuerbar,
 - Primärenergieinhalt nicht erneuerbar.

Die Index-Kriterien werden als Zahlenwerte angegeben. Eine Ausnahme stellen die Hinweise zur Entsorgung dar sowie die CO₂-Äquivalente und SO₂-Äquivalente aufsummiert über das ganze Bauelement. Letztere werden auf einer Skala markiert, auf der das Spektrum aller Elemente in der gleichen Bauelementkategorie grau hinterlegt ist, so dass man die relative Position des ausgewählten Bauelementes einschätzen kann.

PROFIL-KRITERIEN:

1. Verarbeitung auf der Baustelle

- Emissionen entsprechend SIA (1992): Arbeitshygienische Risiken und Lösemittelemissionen
- Bauprozess: Mustertext zu Anzahl Arbeitsgängen, Aufwand für Transporte auf der Baustelle, Aufwand Abdeckerarbeiten etc.

2. Nutzung

- Ökologisch bzw. toxikologisch relevante Bestandteile entsprechend SIA (1992): Beeinflussung der Innenraumluftqualität, Angaben zu Massenprozentanteilen,
- Instandhaltung / Instandsetzung: Unterhaltsarbeiten (t ✪ 10 Jahre), Einschätzung der Reparaturmöglichkeiten (einfach, kompliziert),
- Ersatz und Erneuerung: Beurteilung der Schadensanfälligkeit und der Trennbarkeit von Tragschichten.

3. Entsorgung

- Mit Verwertung: Beurteilung der Trennbarkeit der Schichten, der Verwertbarkeit der einzelnen Schichten, des Massenanteils an verwertbaren Stoffen sowie den Aufwand für den Rückbau,
- Ohne Verwertung: Erwähnung der Schichten, die auf einer Reaktordeponie¹⁰ entsorgt werden müssen bzw. nicht unschädlich vernichtet werden können. Beurteilung des Aufwands für den Rückbau.

Jedes Profil-Kriterium wird aufgrund des Kommentars im Vergleich zu den übrigen Konstruktionen innerhalb der Bauteilkategorie bewertet. Dabei wird eine Skala von günstig (6) bis ungünstig (1) verwendet. Das Spektrum der Ergebnisse einer Bauteilkategorie wird angezeigt, so dass eine Beurteilung der relativen Position eines bestimmten Bauelements im Vergleich zu alternativen Elementen möglich ist. Beurteilt wird jeweils die Gesamtkonstruktion bzw. das gesamte Element. Die wichtigsten Vor- und Nachteile eines Elements werden schließlich auf der Basis von Mustertexten kurz zusammengefasst. Die Darstellung sämtlicher Angaben zu einem Bauteil umfaßt zwei DIN-A4-Seiten.

¹⁰ Reaktordeponie: Deponietyp in der Schweiz, in der aufgrund des vorhandenen organischen Materials mikrobielle Abbauprozesse stattfinden, welche zu Gasen und belasteten Sickerwässern führen, die nachbehandelt werden müssen (SIA 1995).

Es handelt sich insofern um kein Bewertungsverfahren im eigentlichen Sinn, als keine Vollaggregation erfolgt. Es handelt sich vielmehr um eine speziell geordnete und angeordnete Darstellung bewerteter Einzelkriterien, die dem Anwender durch leichte optische Erfassbarkeit eine Aggregation ermöglicht und nahe legt (vergleiche die Darstellung in Kapitel 5.2.2). Die einzelnen Kriterien werden aber nicht gegeneinander gewichtet.

Das eben geschilderte Verfahren hat den Vorteil, dass es neben den vermeintlich harten Fakten zu Energieverbrauch, Treibhauseffekt etc. von Bauelementen auch baupraktische Aspekte wie Schadensanfälligkeit oder Trennbarkeit von Komponenten enthält. Angaben zu diesen Aspekten lassen sich zwar meistens nicht in Zahlen fassen, dennoch geben sie Aufschluss über die Umweltauswirkungen.

Für die Einzelauswahl von Elementen ist der Katalog sehr hilfreich. Allerdings ist aufgrund der fehlenden Vollaggregation nicht zu erwarten, dass die Auswahl unabhängig von der Person des Auswählenden erfolgt. Vielmehr werden subjektive Prioritäten eine Rolle spielen, die die Auswahl zwar nicht beliebig so doch subjektiv werden lassen. Bei einem fest vorgegebenen Bewertungsschlüssel, der zu einer Vollaggregation führt wäre das nicht der Fall.

7.1.4.3 Deklarationsraster für Baustoffgruppen

Handelte es sich bei den beiden eben geschilderten Verfahren um eine Kombination aus einem Ökobilanz- und einem produktspezifischen Bewertungsteil, so ist dies für die vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) entwickelte Bauproduktendeklaration nicht der Fall. Nach dem Verständnis der SIA dient die Ökobilanz als zusätzliche Ergänzung für die Deklarationsraster der insgesamt 11 verschiedenen Baustoffgruppen (SIA 1992, SIA 1997a; SIA 1997b).

Zielsetzung des Projektes war die Schaffung einer ökologischen Norm zur besseren Verständigung zwischen Herstellern und Anwendern. Zielgruppe der SIA (1997b) sind Fachleute mit bauökologischen Kenntnissen. Nach eigener Einschätzung der Autoren muss die Information aus den Deklarationen für die Mehrheit der Architekten und Planer aufbereitet und interpretiert werden.

Bei der SIA-Bauproduktendeklaration handelt es sich um die strukturierte Darstellung einer Auswahl von ökologischen Merkmale eines bestimmten Produkts mit dem Ziel, eine vergleichbare Gesamtbeurteilung zu schaffen. Sie beschränkt sich nach Angaben der SIA auf die nach heutigem Wissen wesentlichen Merkmale. Die Raster beschränken sich in ihrem Inhalt auf objektiv beschreibbare ökologische und toxikologische Merkmale und orientieren sich an den geltenden gesetzlichen Normen und Richtlinien wie der Stoffverordnung, der Luftreinhalteverordnung, der Abfallverordnung und den Gefahrenkennzeichnungen nach Schweizer und EG-Recht.

Der Umfang eines jeden Rasters beträgt dabei in der Regel zwei DIN A4 Seiten. Es wird auf den gesamten Lebensweg eines Produktes Bezug genommen (Herstellung, Verarbeitung, Nutzung, Entsorgung). Für die verschiedenen Produktgruppen (z.B. Holzwerkstoffe; Wärmedämmstoffe; Beton, Mauersteine und andere Massivbaustoffe) wurden jeweils angepasste Raster entwickelt, die auf die umweltrelevanten Besonderheiten eingehen. Daneben gibt es Bestandteile, die im Raster jeder Produktgruppe enthalten sind (z.B. graue Energie). Prinzipiell handelt es sich um die nachfolgend aufgelisteten Kriterien:

1. ANGABEN ZUR PRODUKTIDENTIFIKATION

- Allgemeine Angaben
- Festlegung des Deklarationsbereichs
- Produktzugehörigkeit
- Physikalische Merkmale

2. HERSTELLUNG

- Zusammensetzung
- Lösemittlemissionen
- Graue Energie¹¹

3. VERARBEITUNG

- Arbeitshygienische Risiken
- Lösemittlemissionen

4. NUTZUNG

- Ökologisch und toxikologisch relevante Bestandteile
- Emittierbare Schadstoffe

5. ENTSORGUNG

- Verwertung
- Verbrennung
- Ablagerung auf Deponien
- Entsorgung der Verarbeitungsrestmassen und Gebinde

Eine vergleichende Bewertung kann nur auf der Basis der richtigen Bezugsgröße geschehen. Einerseits muss beim Vergleich von Produkten darauf geachtet werden, dass die gleiche Lebensdauer vorliegt. Andererseits muss eine leistungs- und funktionsnormierte Bezugsgröße gewählt werden (z.B. Quadratmeter, laufender Meter). Zur Gesamtbeurteilung der Kriterien werden drei Vorschläge gemacht:

¹¹ Der Begriff Graue Energie bezeichnet den kumulierten Bedarf an Primärenergie und energetisch nutzbarer Rohstoffe über alle Herstellungs-, Transport- und Verarbeitungsprozesse vom Rohstoffabbau bis zum fertigen Produkt SIA (1995), S. 16).

AUSSCHLUSSMETHODE: Bestimmte Merkmale eines Produktes führen zu seinem Ausschluss (z.B. Lösemittlemissionen, arbeitshygienische Risiken).

MERKMALKOMBINATIONSMETHODE: Vorgabe einer bestimmten Kombination an Merkmalen, die bei Nichterfüllung zum Ausschluss führen.

GEWICHTUNGSMETHODE: Zusammenfassung der Kriterien Lösemittlemissionen, Grauer Energie und z.T. Entsorgung. Die Werte der drei Kriterien werden umgerechnet in Äquivalente aus der Energiebereitstellung. Ein Gramm Lösemittlemission beispielsweise wird gleichgesetzt mit der Luftbelastung aus der Bereitstellung von 0,5 MJ. Es handelt sich somit um eine Teilaggregation.

Das Öko-Zentrum NRW arbeitete die SIA-Raster auf deutsches und EU-Recht um und erweiterte den abgefragten Punktekatalog um die durchschnittliche Lebensdauer sowie den Gesamt-CO₂-Ausstoß bei Herstellung, Transport und Entsorgung. Es wurden außerdem zwei weitere Raster zu Beschichtungen und Fensterrahmen ergänzt (Schwed und Löfflad 1995).

Problematisch bei diesem Verfahren erscheint die Vielzahl an unterschiedlichen Kriterien, die vom Anwender in Betracht gezogen und gegeneinander abgewogen werden müssen. Dies wird zwar dadurch abgeschwächt, dass sich die Vergleiche auf verschiedene Produkte innerhalb einer Produktgruppe beschränken, sich also die Anzahl der verschiedenen bewerteten Kriterien eher verringert. Vorteilhaft dagegen ist, dass umweltrelevante Informationen zu konkreten, auf dem Markt befindlichen Produkten gegeben werden. Damit unterstützt dieses Verfahren den Baupraktiker in einer für ihn typischen Entscheidungssituation.

Die vorgeschlagenen Ausschluss- und Merkmalskombinationsverfahren zu einer Gesamtbeurteilung machen nur grobe Vorgaben zum Verfahren. Der einzelne Anwender muss somit individuell urteilen, welche Kriterien für ihn sinnvollerweise Ausschlusskriterien sein sollten bzw. in einer Merkmalskombination erfüllt sein müssen. Verschiedene Anwender können dementsprechend unter den gleichen Vorgaben je nach persönlichen Prioritäten und persönlichen Kenntnissen unterschiedliche Urteile fällen.

Das vorgeschlagene Gewichtungsverfahren stellt eine sehr grobe Näherung dar, die zudem nur drei Kriterien aggregiert. Der Anwender steht vor dem Problem, diese quantitative Teilaggregation gegen die anderen, mehrheitlich qualitativen Kriterien gewichten zu müssen.

7.1.4.4 Das Umweltzeichen Blauer Engel

Das Umweltzeichen „Blauer Engel“ wurde 1977 von den für Umweltschutz zuständigen Ministern des Bundes und der Länder geschaffen (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. 1995). Es können solche Produkte gekennzeichnet werden, die im Vergleich zu anderen Produkten mit demselben Gebrauchszweck als besonders

umweltfreundlich bezeichnet werden können. Das Umweltzeichen wird nach detailliert festgelegten Kriterien vom Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung (RAL) unter Beteiligung des Umweltbundesamtes und des Bundeslandes, in dem der Hersteller seinen Sitz hat, vergeben. Dies geschieht auf der Basis von Vergabegrundlagen, die in einem transparenten Verfahren unter Beteiligung von Fachleuten von einer neutralen „Jury Umweltzeichen“ festgelegt werden.

Die Anforderungen des Umweltzeichens sind so hoch angelegt, dass nur wenige Produkte auf dem Markt sie erfüllen können. Sie beziehen sich immer auf die Hauptumweltbelastungen, die vom jeweiligen Produkt ausgehen. Bei der Bewertung der Umweltbelastungen ist der gesamte Lebensweg eines Produktes - von der Produktion über den Gebrauch bis zur Entsorgung - einzubeziehen. Es wird eine Anforderung an die Produkte formuliert, die von den Zeichenanwendern erfüllt werden muss.

Das Umweltzeichen soll eine Einkaufshilfe für den Verbraucher sein. Das Umweltzeichen will aber auch die Hersteller motivieren, umweltfreundliche Produkte zu entwickeln und anzubieten.

Bisher wurden 13 Produktgruppen aus dem Baubereich berücksichtigt, darunter

- Schadstoffarme Lacke (Umweltzeichen, weil schadstoffarm)
- Baustoffe überwiegend aus Altpapier (Umweltzeichen, weil überwiegend aus Altpapier)
- Baustoffe überwiegend aus Altglas (Umweltzeichen, weil überwiegend aus Altglas)
- Formaldehydarme Produkte aus Holz/Holzwerkstoffen (Umweltzeichen, weil arm an Formaldehyd)
- Hochwärmedämmendes Mehrscheiben-Isolierglas (Umweltzeichen, weil hochwärmedämmendes Isolierglas)

Auf dem Produkt selbst wird nur das Umweltzeichen mit einem Hinweis darüber angebracht, aufgrund welcher Eigenschaft es erteilt wurde. Es gibt keine Information dazu, wie ein bestimmtes Produkt im Vergleich zu anderen Produkten in der gleichen Produktgruppe abschneidet. Der Anwender kann somit nur entscheiden, ob er ein Produkt mit oder ohne Umweltzeichen verwenden möchte. Eine weitere Differenzierung kann nur anhand der branchenüblichen Beschreibung auf dem Produkt selbst erfolgen.

Es handelt sich also quasi um eine eindimensionale Bewertung, die sich auf dasjenige Kriterium beschränkt, das nach Ansicht der Jury Umweltzeichen den größten Anteil an den Umweltbelastungen einer Produktgruppe hat. Damit wird die Bewertung einfacher. Ein Vergleich verschiedener Produktgruppen untereinander allerdings wird schwieriger bis unmöglich. Ist es beispielsweise umweltverträglicher, Dämmstoffe aus Altpapier oder aus Altglas einzusetzen? Handelt es sich um funktional äquivalente Produkte, die zudem beide aus Recyclingmaterial hergestellt sind, also auch die gleiche umweltbezogene Zielsetzung haben, kann der Blaue Engel keine Entscheidungshilfe

bieten. In der Praxis handelt es sich allerdings bisher meist nicht um funktional gleichwertige Produkte, insofern tritt dieses Problem gar nicht auf.

7.1.4.5 Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V.

In der Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. (AUB) haben sich Hersteller und Vertriebsfirmen von Bauprodukten zusammengeschlossen. Sie möchte die Herstellung und Anwendung umweltverträglicher Bauprodukte fördern und ihr vorrangiges Anliegen ist es, auf verständliche Weise auf umweltverträgliche Bauprodukte aufmerksam zu machen. Mit der Übergabe der Urkunde erhält der Hersteller das Recht, während der Geltungsdauer (i.d.R. drei Jahre) Urkunde und Zeichen in Verbindung mit dem bewerteten Produkt zu nutzen. Die produktrelevanten Informationen sind auf zwei bis vier DIN A4 Seiten dargestellt.

Auch dieses Verfahren basiert nicht auf der Ökobilanz. Allerdings wird eine lebenswegübergreifende Beurteilung vollzogen.

Zu diesem Zweck werden folgende Informationen zu den zertifizierten Bauprodukten aufgelistet (Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. o.J.):

- Bauproduktbeschreibung,
- Grundstoffe,
- Verarbeitung zum Bauprodukt,
- Bauproduktanwendung,
- Nutzungszustand,
- Störfall,
- Bauproduktbeseitigung,
- Bewertung.

Die Bewertung des Bauproduktes basiert auf der ausführlichen Beschreibung des Bauproduktes, dessen Verhaltens in den verschiedenen Lebenswegphasen und insbesondere auf der Offenlegung der Inhaltsstoffe. Bei Verwendung kritischer Stoffe, deren Gehalt oder deren Emissionen durch Richtwerte begrenzt sind, ist die Einhaltung gestellter Anforderungen durch Zeugnisse staatlich anerkannter Prüfstellen nachzuweisen. Mindestanforderungen sind durch nationale und internationale Richtlinien vorgegeben. Die Arbeitsgemeinschaft ist bestrebt, soweit es begründet erscheint, höhere Anforderungen zu stellen. Die Bewertung erfolgt durch den Bewertungsausschuss der Arbeitsgemeinschaft.

Es erfolgt keine Offenlegung der Voraussetzungen für die Verleihung des Labels „Umweltverträgliches Bauprodukt“.

7.1.4.6 Baustoffbewertung bei ÖKO+

In der Fachhandels AG ÖKO+ haben sich 45 Baustoff-Fachhändler zusammengeschlossen, die die Aspekte Ökologie und Bautechnik bei ihrer Produktauswahl berücksichtigen wollen (öko+ Fachhandelsverband für Ökologie + Bautechnik GbR mbH 1996). Zu diesem Zweck hat sich eine Arbeitsgruppe gebildet, die ein entsprechendes Bewertungsverfahren ausarbeiten soll. Dieses Bewertungsverfahren basiert nicht auf der Methode der Ökobilanz, wenngleich eine lebenswegübergreifende Betrachtung angestrebt wird.

Der 1996 veröffentlichte Vorschlag sieht folgende Schritte vor (Anonym 1996): Im ersten Schritt werden je nach Produktgruppe etwa 25 Auswahlkriterien nach den oben aufgeführten Kategorien zusammengestellt. Danach werden die Einzelkriterien in eine, der jeweiligen Produktgruppe angepasste, der Priorität des Kriteriums entsprechende Reihenfolge gebracht. Erste Priorität bei der Bewertung von Bauprodukten hat die humanbiologische Eignung mit den Faktoren: Toxizität, Gasabspaltung und Feinstaub. Damit rangiert die gesundheitliche Vorsorge für Anwender und Nutzer noch vor den Aspekten „technische Eignung“ und „Wirtschaftlichkeit“, die erst an dritter Stelle folgen. An zweiter Stelle der Prioritätenliste stehen die Regenerierbarkeit der Ausgangsstoffe sowie die Wiedereingliederung in das Ökosystem. Als letzte Aspekte werden die Ausgangsstoffe, die Zurichtung, sowie technische Eignung, Konstruktion, Kosten/Nutzen, Anregung der Sinne und Technischer Wert berücksichtigt. Wiederverwendung und Abbaubarkeit fallen ebenfalls unter Priorität drei.

1. Priorität

- Humanbiologische Eigenschaften: Toxizität, Gasabspaltung, Feinstaub;

2. Priorität

- Regenerierbarkeit der Ausgangsstoffe und
- Wiedereingliederung ins Ökosystem;

3. Priorität

- Ausgangsstoffe: mineralisch, pflanzlich, tierisch;
- Zurichtung: Energieverbrauch, Umweltbelastung, Hilfsstoffe, Emissionen, Regenerierbarkeit;
- Technische Eignung: Wärmedämmung, Schalldämmung, Feinstaub, Feuchteausgleich, Brandverhalten, Statik, Raumklimaregulierung, Lieferform, Transport, Verpackung;
- Konstruktion: Einsatzgebiet, Verarbeitung, Verschnitt, Zeitaufwand;
- Kosten/Nutzen: Materialpreis, Einbaukosten, Nutzungsdauer, Haltbarkeit, Schadens-toleranz;
- Anregung der Sinne: Klang, Geruch, Oberflächentextur, Farbe;

- Technischer Wert: Rohgewicht, Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherzahl, Feuchtverhalten, Wärmeeindringkoeffizient;
- Wiederverwendung: ohne Aufbereitung und mit Aufbereitung;
- Abbaubarkeit: Kompostierung, Zersetzung, Verbrennung, Sondermüll.

Jedes Produkt wird anhand der ausgewählten Kriterien mit Hilfe einer Punkteskala bewertet. Die Einzelpunktzahlen können am Ende zu einem Gesamtergebnis addiert werden. Als bestes Ergebnis können 700 Punkte erreicht werden.

Es handelt sich um eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Kriterien, die berücksichtigt und gegeneinander gewichtet werden müssen. Wie in Kapitel 4.2.6 erwähnt, wird der Vorgang der Bewertung umso komplizierter, je mehr Kriterien in einem bestimmten Zeitraum zu bewerten sind. Der dazugehörige Vorgang wird nicht näher beschrieben, ist also dem Endverbraucher nicht transparent. Er enthält mit hoher Wahrscheinlichkeit subjektive Elemente und implizite Bewertungen. Der Personenkreis, der diese Bewertung vornehmen soll, wird ebenfalls nicht näher beschrieben.

Als kritisch zu betrachten ist die absolute Priorität der humanbiologischen Eigenschaften eines Produktes. Dagegen haben z.B. die technischen Eigenschaften die letzte Priorität. Da aber die möglichst optimale Erfüllung der gewünschten Funktion, welche durch die technischen Eigenschaften wesentlich mitbestimmt wird, eine wichtige Voraussetzung für die Umweltverträglichkeit eines Produktes ist, erscheint dieses Vorgehen einer ökologischen Optimierung nicht förderlich zu sein. Ein nur schlecht oder gar nicht funktionierendes Produkt ist auch ökologisch negativ zu beurteilen, denn es erfordert den Einsatz eines weiteren funktionstüchtigen - eigentlich unnötigen - Produktes, stellt also schlicht eine Material- und Energieverschwendung dar, vergrößert den Abfallfluss etc.. Zum anderen hängt die humanbiologische Relevanz auch von der konkreten Einbausituation ab, lässt sich also nicht nur anhand der reinen Stoffeigenschaften bestimmen.

Dieses Verfahren ist aufgrund der Vielzahl sehr unterschiedlicher Kriterien, die sich außerdem von Produktgruppe zu Produktgruppe unterscheiden, sehr komplex und schwer durchschaubar.

7.1.4.7 Abschließende Einschätzung der Verfahren

Produktspezifische Verfahren zeichnen sich dadurch aus, dass sie an die spezifischen Eigenschaften und den typischen Einsatzbereich ganz bestimmter Produkte angepasst sind. Sie beziehen produktspezifische Umweltbelastungen oder auch Probleme bei der Anwendung ein, die für andere Produkte u.U. nur eine geringe Relevanz besitzen. Im Gegenzug können dafür andere Aspekte vernachlässigt werden, die zwar generell von Bedeutung sind, im konkreten Fall aber keine Relevanz haben. Aus dem gleichen Grund kann sich auch die Gewichtung verschiedener Wirkungs-kriterien je nach Produkt verschieben.

In Tabelle 53 sind die wichtigsten Charakteristika der betrachteten produktspezifischen Bewertungsverfahren zusammengefasst. Gemeinsam ist allen Verfahren, dass die Betrachtung des gesamten Lebensweges angestrebt wird. Die Verfahren stimmen auch insofern überein, dass sie eine Kombination aus einem allgemeinem Teil (sei es nun Ökobilanz oder andere quantitativen Verfahren) und einem produktspezifischen Teil darstellen, der häufig qualitativ ist. Eine Ausnahme, zumindest zum jetzigen Zeitpunkt, stellt die Methode von öko+ dar, die rein qualitativ ist.

Zusätzlich dazu gleichen sich die Verfahren insofern, als sie relativ viele und z.T. sehr verschiedene Kriterien einbeziehen. Dies ist bekanntermaßen problematisch und überfordert den Anwender oftmals. Hinzukommt, dass zumeist kein festes Verfahren vorgegeben wird, so dass die Anwender das Problem der Gewichtung individuell bewältigen müssen. Dies resultiert in entsprechend subjektiven Ergebnissen. Explizit Vollaggregierende Verfahren sind die *vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen* und das *Umweltzeichen öko+*. Eine implizite Vollaggregation in Form einer ja/nein- Entscheidung findet innerhalb der Verfahren für das Umweltzeichen *Blauer Engel* und *Umweltverträgliches Bauprodukt* statt.

Auf der Ökobilanz basierende Verfahren sind eher selten. Nur die *vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen* und die *Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten* gründen ihre Bewertungen auf dieser Methode.

Lässt sich eines der zuvor vorgestellten Verfahren direkt auf gesamte Gebäude übertragen? Diese Frage muss klar mit nein beantwortet werden. Keines der Verfahren kann der Komplexität von Gebäuden gerecht werden. Gebäude bestehen zudem aus einer Vielzahl verschiedener Bauprodukte, die sich in ihrer Umweltrelevanz z.T. stark unterscheiden. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, Kriterien auf ein Gesamtgebäude zu übertragen, die beispielsweise nur für Anstrichstoffe erarbeitet wurden. Die Alternative wäre eine Kombination produktspezifischer Verfahren für alle im Gebäude verwendeten Bauprodukte. Zum einen fehlen für die meisten Produktgruppen spezifische Bewertungsverfahren. Zum anderen wäre eine solche Kombination infolge der zahlreichen zu berücksichtigenden Kriterien auch wenig transparent und eher fehleranfällig.

Als Alternative bleibt die Entwicklung eines neuen gebäudespezifischen Verfahrens. Aus den vorgestellten Verfahren wurde deutlich, dass die Methode der Ökobilanz allein vor allem in Bezug auf toxikologische Kriterien unbefriedigend ist. Weder können damit Arbeitsplatzbelastungen noch Beeinträchtigungen des Innenraumklimas erfasst werden. Die Erarbeitung eines Verfahrens zur Bewertung toxikologischer Aspekte in Gebäuden kann im Rahmen dieser Arbeit aber nicht geleistet werden. Zum einen ist die Methodenentwicklung in Bezug auf die Bewertung toxischer Wirkungen noch nicht abgeschlossen (vergleiche Kapitel 4.5.3). Zum anderen stehen innerhalb des Fall-

beispiels keine Sachbilanzdaten zur Verfügung. Es besteht also keine Möglichkeit, substanzspezifische Aussagen zu treffen.

Die Analyse des Fallbeispiels wird sich deshalb auf eine - nicht produktspezifisch bewertete - Ökobilanz beschränken.

Tabelle 53 Überblick über die wichtigsten Charakteristika der in den vorigen Abschnitten vorgestellten produktspezifischen Bewertungsverfahren.

Bezeichnung/Quelle	Bewertete Produkte	Anwendungszeitpunkt nach Zielsetzung der Studie	Grundlagen des Verfahrens	Anzahl Kriterien	Vollaggregation	Transparenz/Nachvollziehbarkeit
BUWAL (1992); BUWAL (1995).	Anstrichstoffe und deren Rohstoffe	Produktentwicklung, Ausführungsplanung	Ökobilanz und toxikologische Zusatzkriterien	9	ja	+
SIA (1995)	diverse Bauelemente aus dem Hochbau	Projektierung und Ausführungsplanung	Ökobilanz und baupraktische Kriterien	15 (zusätzlich noch bauphysikalische Angaben)	nein	+
Deklarationsraster SIA (1997a); SIA (1997b)	Bauprodukte	Ausführungsplanung	Graue Energie	14 (zusätzlich noch Angaben zur Produktidentifikation)	nein	+
Umweltzeichen Blauer Engel ¹²	diverse Produkte	Ausführungsplanung, Endverbraucher	je nach Produktgruppe	je nach Produktgruppe	ja/nein-Entscheidung	+-
Umweltzeichen umweltverträgliches Bauprodukte ¹³	Bauprodukte	Ausführungsplanung		8	ja/nein-Entscheidung	-
Umweltzeichen öko+ ¹⁴	Bauprodukte	Ausführungsplanung, Endverbraucher		> 25	ja	--

Einschätzung von Transparenz und Nachvollziehbarkeit: ++ sehr gut, + gut, +- mittelmäßig, - schlecht, -- sehr schlecht.

¹² Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (1995)

¹³ Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. (o.J.).

¹⁴ öko+ Fachhandelsverband für Ökologie + Bautechnik GbR mbH (1996)

7.1.5 Zusammenfassung der Schlussfolgerungen für das Fallbeispiel

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt, haben die besonderen Eigenschaften von Gebäuden Konsequenzen für die Anwendung der Ökobilanz. Für das innerhalb dieser Arbeit durchgeführte konkrete Fallbeispiel lassen sie sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Unikatcharakter von Gebäuden:
 - Funktionelle Einheit: Ein Gesamtgebäude bzw. eine Doppelhaushälfte.
 - Grundlegende Veränderungen am Gebäude: Werden nicht berücksichtigt.
- Langlebigkeit:
 - Veränderung des Stands der Technik: Wird nicht berücksichtigt.
 - Betrachtungszeitraum: Die Bilanzierung wird für einen Zeitraum von 80 Jahren erstellt. Daneben wird der zeitliche Verlauf der Belastungen über 80 Jahre berechnet, um aufzuzeigen, welchen Einfluss die Wahl eines kürzeren Zeitraumes auf einen Vergleich der untersuchten Gebäude hat.
 - Lebensdauer von Bauelementen: Die Bilanzierung wird auf der Basis einer mittleren Lebensdauer der Bauelemente (entsprechend Literatur) durchgeführt. Außerdem wird eine Sensitivitätsanalyse erstellt, die den Einfluss einer jeweils sehr kurzen (worst case) mit der einer sehr langen Lebensdauer (best case) auf das Gesamtergebnis ermittelt.
 - Nutzerverhalten: Die Bilanzierung wird auf der Basis des simulierten Heizwärmebedarfs berechnet. Daneben wird der Einfluss des durchschnittlichen Nutzerverhaltens auf das Gesamtergebnis der Bilanzierung anhand der Streubreite des Heizwärmeverbrauchs untersucht. Die Gesamtergebnisse basierend auf den Messdaten aus dem Fallbeispiel (eine Heizperiode) werden damit verglichen.
- Standortbezug:
 - Anteil lokalisierbarer Umweltauswirkungen: Wird nicht berücksichtigt.
 - Infrastruktur und Mobilität: Werden nicht berücksichtigt. Allerdings wird die Größenordnung der Belastungen aus der Mobilität anhand eines fiktiven Beispiels aufgezeigt und den Belastungen der Gebäude gegenübergestellt.
- Spezifisches Bewertungsverfahren für Gebäude:
 - Die Entwicklung eines speziell an die Eigenschaften von Gebäuden angepasstes Bewertungsverfahrens erwies sich als nicht sinnvoll. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Materialien, aus denen Gebäude zusammengesetzt sind, erscheint zum momentanen Zeitpunkt die Anwendung eines allgemeinen Bewertungsverfahrens (Öko-Indikator) zum Variantenvergleich besser geeignet.

7.2 Diskussion der Ergebnisse des Fallbeispiels

7.2.1 Einschätzung der Relevanz der untersuchten Kriterien

Zur Einschätzung der Relevanz der untersuchten Kriterien wurden die ermittelten Belastungen durch die untersuchten Varianten (pro Jahr) in Relation gesetzt zu den jährlichen pro-Kopf-Belastungen in Europa. Es ergab sich folgendes Bild:

- Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten kann sowohl das Kriterium „Überdüngungspotenzial“ als auch das Kriterium „Ozonabbaupotenzial“ aus den weiteren Analysen ausgeklammert werden. Die Werte beider Kriterien liegen unter einem Prozent der jeweiligen europäischen pro-Kopf-Emissionen (maximale Abweichungen eingeschlossen).
- Da die Unsicherheit für das Kriterium karzinogene Substanzen hoch ist und der Vergleich mit den europäischen pro-Kopf-Emissionen nur einen Anteil von 3 bis 9 Prozent zeigt, lassen sich hierfür keine Aussagen bezüglich der Relevanz treffen.
- Für das Kriterium „Schwermetalle“ zeigen sich die analysierten Gebäude als bedeutende Belastungsquelle. Auch bei Berücksichtigung der angegebenen Unsicherheit der Emissionsdaten ergibt sich noch ein Anteil von - je nach Variante - mindestens 53 bis 91 Prozent der europäischen pro Kopf Emission. Damit ist die Entwicklung von Optimierungsmaßnahmen gerade für dieses Kriterium wichtig.
- Ebenfalls von großer Bedeutung sind die untersuchten Gebäude hinsichtlich des Treibhauspotenzials. Die Werte auf der Basis europäischer bzw. deutscher Emissionsdaten unterscheiden sich dabei nur geringfügig.
- Für die übrigen Kriterien, an der Spitze die Versauerung, gefolgt von Wintersmog und Sommersmog, zeigt sich, dass die untersuchten Gebäude jeweils eine nennenswerte Emissionsquelle darstellen. Die Durchführung einer Schwachstellenanalyse sowie die Entwicklung von Optimierungsmaßnahmen ist deshalb auch in diesen Fällen sinnvoll.

Da es sich bei den untersuchten Gebäuden um eine relativ kleine Stichprobe von Wohngebäuden handelt, lassen sich diese Schlussfolgerungen nicht unmittelbar auf andere Wohngebäude oder den gesamten Bereich Wohnbau übertragen. Dieser würde sich über eine größere Vielfalt z.B. an eingesetzten Materialien erstrecken. Eine Übertragung auf ähnliche Gebäude ist hingegen möglich.

7.2.2 Korrelation der verschiedenen Kriterien

Neben der Einschätzung der allgemeinen Relevanz der untersuchten Kriterien, ist es außerdem wichtig zu wissen, inwiefern die Kriterien miteinander korreliert sind. Ob also ein hoher Wert für Kriterium A immer einhergeht mit einem hohen respektive niedrigen Wert von Kriterium B.

Aus den im Rahmen des Fallbeispiels ermittelten Korrelationskoeffizienten lässt sich schlussfolgern, dass für die Betrachtung der Nutzungsphase allein sehr wenige Kriterien ausreichend sind, konkret der Öko-Indikator, Sommersmog und karzinogene Substanzen. Ergänzend daneben allenfalls PEB n.e. und das Treibhauspotenzial. Betrachtet man hingegen die übrigen Phasen oder das Gesamtergebnis über alle Phasen, so lässt sich die Auswahl der Kriterien wesentlich weniger stark einschränken. Am ehesten können Öko-Indikator und Treibhauspotenzial entfallen, der Ozonabbau ist, wie im vorigen Kapitel begründet wurde, sowieso nur von geringer Relevanz. Diese Schlussfolgerungen lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Gebäude übertragen. Je nach involvierten Prozessen können unterschiedliche Korrelationen auftreten.

7.2.3 Bedeutung der Lebenswegphasen

Eine weitere Begrenzung des Analyseaufwandes auf relevante Belastungen der untersuchten Gebäude findet auf der Basis der Lebenswegphasen statt. Dabei sollen diejenigen Phasen identifiziert werden, die für die einzelnen Kriterien erhebliche Belastungsquellen darstellen.

Für jede Variante wird der relative Anteil der Belastung eines Kriteriums während einer Phase in Bezug auf die Gesamtbelastung der jeweiligen Variante berechnet:

$$\text{Rel. Anteil Belastung}_{\text{Phase X Kriterium Y}} = \frac{\text{Belastung}_{\text{Phase X Kriterium Y}}}{\text{Gesamtbelastung}_{\text{Kriterium Y}}}$$

In Tabelle 54 sind die Kriterien entsprechend ihrem Anteil den einzelnen Lebenswegphasen zugeordnet. Diese Einordnung basiert auf den Durchschnittswerten aller Varianten. Für die einzelnen Kriterien ergeben sich dabei sehr unterschiedliche Profile, die eine gezielte Suche nach Ursachen und Optimierungsmaßnahmen ermöglichen. Auf die Kriterien Überdüngung und Ozonabbaupotenzial wird im Folgenden nicht mehr näher eingegangen (vergleiche dazu Kapitel 7.2.1).

Tabelle 54 Überblick über die Anteile der einzelnen Kriterien an den Lebenswegphasen. Zugrunde gelegt wurde der durchschnittliche Anteil aller Varianten.

Anteil am Gesamtergebnis	Neubau	Erneuerung	Nutzung*	Entsorgung
über 60 %	-	-	PEB n.e. Treibhauspotenzial karzin. Substanzen	-
50 bis 60 %	PEB e.	Schwermetalle	Versauerung	Abfälle in Inertstoffdep. Abfälle in MVA
40 bis 50	Abfälle in Inertstoffdep.	-	Überdüngung Sommermog Wintersmog	-
30 bis 40 %	Ozonabbaupotenzial Versauerung Überdüngung Wintersmog	Öko-Indikator	PEB e. Ozonabbaupotenzial Öko-Indikator	-
20 bis 30 %	Sommermog Schwermetalle Öko-Indikator	Ozonabbaupotenzial Sommermog Abfälle in MVA	-	-
10 bis 20 %	PEB n.e. Treibhauspotenzial karzin. Substanzen Abfälle in MVA	PEB e. Versauerung Überdüngung Wintersmog karzin. Substanzen	Schwermetalle	-
Unter 10 %	-	PEB n.e. Treibhauspotenzial Abfälle in Inertstoffdep.	-	alle Kriterien außer Abfallkategorien

* für die Abfallkategorien stehen keine Daten zur Verfügung, sie wurden deshalb weggelassen.

7.2.3.1 Neubau

Wie die Ergebnisse in Kapitel 6 gezeigt haben, und in Tabelle 54 noch einmal zusammenfassend dargestellt ist, sind die Beiträge der Neubauphase zum Gesamtergebnis je nach Kriterium von sehr unterschiedlichem Umfang, von minimal 2 Prozent (Treibhauspotenzial Haus DII) bis maximal 79 Prozent (Primärenergiebedarf e., Haus DI).

Die Kriterien mit den geringsten Beiträgen sind: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Treibhauspotenzial und karzinogene Substanzen. Für die beiden zuerst genannten Kriterien liegen vergleichbare Untersuchungen mit gleichen Resultaten vor (z.B. Kohler et al. 1994).

Die häufig geübte Praxis, den Primärenergiebedarf (n.e.) der Neubauphase als Entscheidungsgrundlage für die Materialauswahl zu verwenden (z.B. Zapke und Gerken 1993), erscheint vor diesem Hintergrund wenig sinnvoll. Hingegen müssen geeignete Maßnahmen für die Neubauphase entwickelt werden, die den Primärenergiebedarf

während der Nutzung senken und gleichzeitig die Kriterien, die zu einer hohen Belastung während des Neubaus führen, positiv beeinflussen.

Die gleiche Argumentation gilt auch für das Kriterium Treibhauspotenzial. Im Falle der karzinogenen Substanzen kommt es zu gegenläufigen Effekten (siehe unten). Eine Dreischeiben-Verglasung führt einerseits zu einer Verringerung des Heizwärmeverbrauchs, was die Belastung vermindert, andererseits aber auch zu einer merklich höheren Belastung mit karzinogenen Substanzen aufgrund des vermehrten Einsatzes von Aluminium.

Der größte Teil der Kriterien liegt mit 20 bis 40 Prozent Anteil der Neubauphase am Gesamtergebnis im Mittelfeld und eignet sich besser als Entscheidungshilfe als die eben genannten Kriterien.

Den höchsten Anteil des Neubaus weisen die Kriterien Abfälle in hertstoffdeponie und Primärenergiebedarf erneuerbar auf. Als Quelle von inerten Abfällen kann zu 80 Prozent der Baugrubenaushub identifiziert werden, der direkt mit der Größe der Baugrube bzw. der Gebäudegrundmaße korreliert ist. Es handelt sich dabei um unbelasteten Mutterboden, der zum Erstellungszeitpunkt der Gebäude (1990/91) - unnötig - Deponieraum verbrauchte. Da Erdaushub entsprechend des Zielwertes der Bundesregierung für das Jahr 1995 zu 100 Prozent verwertet werden soll, erfolgen zukünftig außer Transportbelastungen keine weiteren Auswirkungen auf die Umwelt.

Die Ursache für den Bedarf erneuerbarer Primärenergie während des Neubaus liegt überwiegend in den Anteilen an nachwachsenden Rohstoffen, konkret Holz, der einzelnen Gebäude. Die beteiligten Elemente sind Fensterrahmen, Holzdecken, Dachkonstruktionen sowie Holzverkleidungen der Außenwand. Daneben spielen aber auch Schalungsbretter (Stahlbetondecken, Fundamente etc.) eine Rolle.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Varianten verglichen. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller Varianten relativ zum Referenzhaus ist in Tabelle 55 dargestellt. Die signifikanten Unterschiede der Varianten zum Referenzhaus beschränken sich für die Phase Neubau auf 7 der dargestellten 13 Kriterien. Bezüglich der Belastungen des Neubaus lassen sich die Varianten in drei Gruppen einteilen:

GRUPPE 1: Das Referenzhaus, Haus A und Haus B:

Es handelt sich um Massivbaukonstruktionen mit Ziegel-, Kalksandstein- bzw. Bimsbetonmauerwerk: Abgesehen vom Kriterium „karzinogene Substanzen“, weisen die Ergebnisse dieser drei Varianten keine deutlichen Unterschiede auf.

GRUPPE 2: Haus C und Haus E:

Porenbetonkonstruktionen: Im Vergleich zu Gruppe eins fallen diese beiden

Varianten dadurch auf, dass sie relativ niedrige Werte für den Bedarf erneuerbarer Energie und das Kriterium Schwermetall erreichen, hohe Werte hingegen für das Kriterium Wintersmog. Der Anteil der Kriterien Treibhauspotenzial und karzinogene

Substanzen ist jeweils im Vergleich zu den anderen Varianten hoch, im Gesamtkontext aber unbedeutend.

GRUPPE 3: Haus DI und DII:

Holzkonstruktionen: Im Gegensatz zu Gruppe zwei ist der Bedarf erneuerbarer Energie dieser beiden Gebäude hoch, der Wert für das Treibhauspotenzial niedrig. Ebenso auch die Schwermetallbelastung.

Welches sind nun die „kritischen“ Eigenschaften, die zu einem signifikant höheren oder niedrigeren Ergebnis führen? Hängen sie direkt mit den auffälligen Unterschieden der Konstruktionen zusammen oder handelt es sich eher um vermeintliche Nebensächlichkeiten?

Eindeutig konstruktionsbedingt sind die Ergebnisse der Kriterien Primärenergiebedarf erneuerbar und Treibhauspotenzial. Sie werden durch den Anteil nachwachsender Rohstoffe, d.h. Holz, maßgeblich bestimmt. Die Häuser C und E zeigen vergleichsweise niedrige Werte für den PEB e., dagegen hohe Werte für das Treibhauspotenzial. Bei den Varianten DI und DII verhält es sich genau umgekehrt. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass Holz beim Einbau vermindert auf den CO₂-Wert wirkt; wenn es entsorgt wird, gleicht sich dieser Effekt wieder aus (vergleiche Kapitel 6.1.1.2 und 7.1.2.4). Ebenso lassen sich die hohen Wintersmogwerte der Varianten C und E auf die Porenbetonbauweise zurückführen.

Tabelle 55 Relation der Ergebnisse der Neubauphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.

Kriterien	Referenz - haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	94	93	120	107	101	113
PEB erneuerbar	100	97	84	49	197	195	49
Treibhauspotenzial	100	103	101	167	27	20	155
Ozonabbau	100	100	81	122	104	98	119
Versauerung	100	96	115	108	118	105	113
Überdüngung	100	102	101	116	121	116	109
Sommersmog	100	101	89	113	121	115	110
Wintersmog	100	124	116	154	123	108	159
Karzinogene Substanzen	100	143	146	154	103	98	113
Schwermetalle	100	89	95	75	66	62	76
Öko-Indikator	100	96	101	96	82	75	96
Abfälle in Inertstoffdeponie	100	105	106	120	110	109	106
Abfälle in Müllverbrennung	100	97	105	29	100	87	50

Die Ergebnisse des Kriteriums „karzinogene Substanzen“ korrelieren hingegen direkt mit dem unterschiedlichen Anteil an Aluminium in den Gebäuden. Den größten Einfluss hat dasjenige Aluminium, welches als Abstandshalter für die Glasscheiben in den Fenstern enthalten ist. Entsprechend ist der Wert bei Varianten mit Dreischeibenfenstern (Häuser A und B) relativ hoch. Er ist aber auch abhängig von der installierten Fensterfläche, was sich im relativ hohen Wert von Haus C widerspiegelt. Zusätzlich dazu enthält der auf dem Dach von Haus C installierte Solarkollektor ebenfalls Aluminium. Andere Elemente mit Aluminiumbestandteilen sind die Innentüren sowie Teile der Haustechnik. Diese unterscheiden sich aber nur unerheblich zwischen den Varianten. Die Art der Konstruktion des Hauses selbst spielt für die Belastung mit karzinogenen Substanzen keine Rolle. Zur Erinnerung sei an dieser Stelle nochmals darauf verwiesen, dass es sich jeweils nur um Belastungen aus den verschiedenen Produktions- und Entsorgungsprozessen handelt. Belastungen aus den Materialien während der Nutzungsphase (Ausgasungen, Auswaschungen) werden nicht berücksichtigt. Gleichfalls konstruktionsunabhängig sind die Elemente, welche die maßgeblichen Quellen der Schwermetallbelastung darstellen: die Regenrinnen und Regenwasserabläufe. Das Konzept der Häuser DI und DII, welches sowohl eine geringe Fensterfläche (karzinogene Substanzen, s.o.) als auch eine sehr klein konzipierte Dachentwässerung (Schwermetalle, s.o.) vorsieht, erweist sich hier als vorteilhaft.

Man würde erwarten, dass die Belastungen des Neubaus bedingt durch größere Aufwendungen für die Dämmung um so höher sind, je niedriger die Energiekennzahl, d.h. je geringer der Heizwärmebedarf eines Gebäudes ist. Dies konnte für die untersuchten Gebäuden nicht gezeigt werden. Es konnte für keines der Kriterien eine Korrelation zwischen niedriger Energiekennzahl und hoher Belastung gefunden werden (siehe Abbildung 68a und 68b, beispielhaft sind die Kriterien Primärenergiebedarf n.e. und Versauerungspotenzial dargestellt). Da die Aufwendungen für Lüftungsanlagen, Wärmepumpen und Wärmetauscher in der Untersuchung nicht berücksichtigt sind, kann sich dieses Bild allerdings noch geringfügig zugunsten des Referenzhauses verschieben.

Möglicherweise liegt dies an der relativ kleinen Stichprobe oder auch daran, dass die Unterschiede zwischen den Energiekennzahlen der einzelnen Varianten im Vergleich zum insgesamt vorhandenen Spektrum zu gering sind. Es handelt sich außerdem nicht wie in anderen Untersuchungen (z.B. (Falk 1995) um ein einzelnes Gebäude, dessen Energiestandard durch Hinzufügen von Dämmmaterial variiert wird, sondern um - auch hinsichtlich der Konstruktion - verschiedene Gebäude, die jedoch vergleichbare Einheiten darstellen.

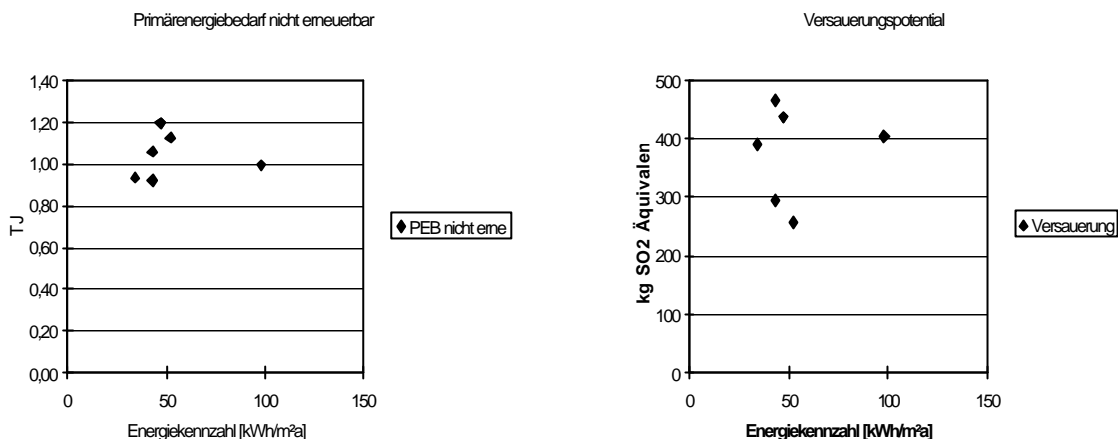


Abbildung 68a

Abbildung 68b

Abbildung 68a und 68b: Auftragung des Primärenergiebedarfs nicht erneuerbar (Abb. 68a) und des Versauerungspotenzials (Abb. 68b) entsprechend der Energiekennzahl der Varianten für das Referenzhaus (98 kWh/m²a), Haus A (34 kWh/m²a), Haus B (43 kWh/m²a), Haus C (47 kWh/m²a), Haus DI (52 kWh/m²a), Haus DII (43 kWh/m²a) und Haus E (51 kWh/m²a).

7.2.3.2 Erneuerung

Die Bedeutung der Erneuerungsphase für die Gesamtbelastung lässt sich am Anteil der einzelnen Kriterien ablesen. Im Vergleich zum Neubau ist das Bild deutlich verändert (vergleiche Tabelle 54): Die Kriterien Schwermetalle und Abfälle in die Müllverbrennung haben klar an Bedeutung gewonnen, während der Anteil aller anderen Kriterien abgenommen hat. Abgesehen von den eben genannten Ausnahmen ist die Erneuerung insgesamt also weniger bedeutend als der Neubau.

Die Belastung der Erneuerungsphase setzt sich zusammen aus entsorgungsbedingten Anteilen (Entsorgung ersetzter Elemente oder Elementkomponenten) und produktionsbedingten Anteilen (Produktion der neu eingebauten Elemente oder Elementkomponenten).

Vergleicht man die Ergebnisse der untersuchten Varianten miteinander, in Tabelle 56 sind die Relationen dargestellt, so fällt als Erstes auf, dass Haus DII durchgehend die niedrigsten Resultate aufweist. Für die praktisch gleiche Konstruktion von Haus DI gilt dies nicht in gleichem Maße. Dieser Unterschied kann durch den niedrigeren Erneuerungsaufwand der vergleichsweise wenig umfangreichen Haustechnik von Haus DII erklärt werden. Die Ergebnisse der anderen Varianten bewegen sich mit den unten aufgeführten Ausnahmen in der Größenordnung derjenigen des Referenzhauses.

Die für den Neubau vorgenommene Gruppierung der Varianten lässt sich für die Erneuerung nicht fortführen, da die Unterschiede zwischen den Varianten z.T.

Tabelle 56 Relation der Ergebnisse der Erneuerungsphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.

Kriterien	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	102	107	102	84	69	98
PEB erneuerbar	100	117	128	114	70	68	91
Treibhauspotenzial	100	100	106	103	88	67	109
Ozonabbau	100	105	110	95	90	79	108
Versauerung	100	104	113	100	113	74	139
Überdüngung	100	104	104	96	83	74	100
Sommersmog	100	100	103	90	84	79	102
Wintersmog	100	105	105	105	116	63	137
Karzinogene Substanzen	100	142	142	203	89	75	97
Schwermetalle	100	94	97	81	72	67	89
Öko-Indikator	100	95	100	85	77	67	95
Abfälle in Inertstoffdeponie	100	134	105	112	63	61	99
Abfälle in Müllverbrennung	100	110	120	128	346	72	458

auf anderen Eigenschaften der Gebäude beruhen.

Für das Kriterium Schwermetalle entfallen die meisten Belastungen auf die Erneuerungsphase. Die Quellen der Belastungen sind, wie schon in den Kapiteln 6.1.1.9 und 7.2.3.1 dargelegt, im Wesentlichen der textile Bodenbelag (entsorgungsbedingt: „Kunststoffe in Müllverbrennung“) und die Dachentwässerung (produktionsbedingt). Optimierungsmaßnahmen sind hier also relativ leicht und ohne die Beeinträchtigung anderer Kriterien oder den Einbezug der verschiedenen Konstruktionen möglich (näheres dazu siehe Kapitel 7.2.4.2). Der Öko-Indikator wird, wie Kapitel 6.2.1.2 erläutert, maßgeblich durch das Kriterium Schwermetalle bestimmt und verhält sich entsprechend sehr ähnlich wie dieses. Die in Tabelle 56 erkenntlichen weiteren Abweichungen vom Referenzhaus können folgendermaßen begründet werden:

- PEB ERNEUERBAR: Haus B: relativ großflächige Holzverkleidung
Haus DI und DII: relativ keine Holzverkleidung, relativ kleine Fensterfläche
- KARZ. SUBSTANZEN: Haus A und B Dreischeibenfenster
Haus C relativ große Fensterfläche, Solarkollektor
Haus D relativ kleine Fensterfläche
Unterschied DI und DII: Haustechnik
- VERSAUERUNG: Haus E und DI Fußbodenheizung
- WINTERSMOG: Haus E und DI Fußbodenheizung
- ABFÄLLE IN INERT. Haus A: Erneuer. Außendämmung mit Außenputz
- ABFÄLLE IN MVA: Haus DI und E: Fußbodenheizung
Haus C Solarkollektor mit Polyurethan

Durch die Konstruktionsweise bedingt ist einzig der erhöhte Wert für inerte Abfälle von Haus A (Außenwände Kalksandstein mit Mineralwolle-Außendämmung). Die Elemente, die die anderen Unterschiede verursachen, sind dagegen im Prinzip zwischen den Varianten austauschbar (Dreischeibenfenster, Fußbodenheizung, Solarkollektor etc.). Auf den Einfluss der Dimensionierung von Elementen und Elementflächen wird in Kapitel 7.2.4 eingegangen.

Bestimmt werden die Auswirkungen der Erneuerung durch diejenigen Elemente und Teilelemente, die eine Lebensdauer von weniger als 80 Jahren aufweisen. Dies erklärt, weshalb die für die Konstruktion der einzelnen Varianten charakteristischen Elemente in dieser Phase wenig in Erscheinung treten: Außenwände, Innenwände, Decken, Dachkonstruktionen etc. haben eine Lebensdauer von 80 Jahren, werden also im Betrachtungszeitraum nicht erneuert. Hingegen sind von der Konstruktion an sich relativ unabhängige Elemente wie Dachdeckung, Dachentwässerung, Fenster, Bodenbeläge, Wandbeläge (innen und außen) deutlich kurzlebiger. Entsprechend stark beeinflussen sie das Ergebnis. Weitere Erläuterungen dazu finden sich in Kapitel 7.2.5.2.

7.2.3.3 Nutzung

Für die meisten der berücksichtigten Kriterien erweist sich die Nutzungsphase als die bedeutendste Phase (siehe Tabelle 54). Für sieben der Kriterien liegt der Anteil bei über 40 Prozent, für weitere drei immerhin bei über 30 Prozent. Dies erstaunt auf den ersten Blick, handelt es sich doch bei allen Varianten um Gebäude mit einem guten (Referenzhaus) bis sehr guten Energiestandard (Niedrigenergiehäuser A bis E). Dieses Ergebnis stimmt jedoch mit den Resultaten vergleichbarer Untersuchungen überein (z.B. Kohler et al. 1994, Falk, 1995).

Auch für Niedrigenergiehäuser sind die Belastungen der Energiebereitstellung während der Nutzungsphase also von maßgeblicher Bedeutung für die Gesamtbelastung. Relativ unbedeutend sind in diesem Zusammenhang die Schwermetalle. Die Abfälle der Energiebereitstellung wurden nicht erfasst.

Ein Blick auf die Relation der Varianten zum Referenzhaus (siehe Tabelle 57) zeigt ebenfalls ein deutlich anderes Bild als für die anderen Phasen: Nicht nur der absolute Anteil der Nutzungsphase ist in fast allen Kriterien am größten (s.o.), auch die Abweichung zwischen den Varianten ist wesentlich deutlicher. So schneidet Haus DII infolge seiner Elektroheizung klar am schlechtesten ab, wenngleich die Ergebnisse für Sommersmog und karzinogene Substanzen besser als diejenigen des Referenzhauses sind. Die Auswirkungen eines relativ ho-

Tabelle 57 Relation der Ergebnisse der Nutzungsphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.

Kriterien*	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CI	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	45	59	62	62	58	118	67
PEB erneuerbar	100	80	107	87	87	87	500	113
Treibhaus-potenzial	100	43	57	61	61	57	107	66
Ozonabbau	100	63	86	76	76	63	333	92
Versauerung	100	76	97	88	78	54	486	108
Überdüngung	100	48	51	64	48	38	156	71
Sommersmog	100	39	51	58	56	54	65	59
Wintersmog	100	108	149	110	110	74	821	146
Karzinogene Substanzen	100	37	48	55	55	55	28	57
Schwermetalle	100	89	123	98	98	71	631	125
Öko-Indikator	100	61	79	76	73	58	303	88

* für die Abfallkategorien stehen keine Daten zur Verfügung, sie wurden deshalb weggelassen.

hen Stromverbrauchs sind auch bei den Häusern B und E für die Kriterien Wintersmog und Schwermetalle erkennbar. Wie Tabelle 57 erkennen lässt, sind die meisten Werte der anderen Varianten dagegen deutlich niedriger als diejenigen des Referenzhauses.

Die Umweltauswirkungen der Nutzungsphase werden durch drei Parameter wesentlich bestimmt:

- den Heizwärmebedarf (inkl. Warmwasserbereitstellung),
- die Art des Heizungssystems und
- den Stromverbrauch (für Pumpen, Ventilatoren etc.).

Die Höhe des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes wird durch folgende Faktoren beeinflusst: die Wärmeverluste des Gebäudes über Wände, Dächer, Böden, Fenster etc. abhängig von deren Dämmstandard; die Wärmegewinne des betreffenden Gebäudes (interne und externe Quellen) und seine Energiebezugsfläche. Diese Eigenschaften resultieren in einer charakteristischen Energiekennzahl, die in Kilowattstunden pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr angegeben wird. Die Energiekennzahlen der untersuchten Häuser variieren zwischen 34 (Haus A) und 98 kWh/m²a (Referenzhaus), unterscheiden sich also sehr deutlich.

Der Faktor Energiebezugsfläche hat im vorliegenden Fallbeispiel nur einen geringen Einfluss auf den relativen Heizwärmebedarf über 80 Jahre. Am größten ist er für Variante C, die eine um 12 Prozent größere Energiebezugsfläche als das Referenzhaus aufweist. Die Flächen der anderen Varianten weichen nur um -1 bis +4 Prozent von derjenigen des Referenzhauses ab, entsprechend gering ist der Einfluss auf das Ergebnis.

Im Rahmen des Fallbeispiels wurden vier verschiedene Heizungssysteme bilanziert: für das Referenzhaus sowie die Häuser A, CI und E eine konventionelle

Gasheizung; für die Häuser B und CII eine Gasheizung mit Brennwertkessel, für das Haus DI eine Gasheizung mit Gebläsebrenner; Haus DII verfügt über Elektroeinzelöfen.

Die verschiedenen Gasheizungen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Versauerungs- und Überdüngungspotenzials. Die konventionelle Gasheizung verursacht jeweils eine über 24 bis 39 Prozent höhere Belastung als die anderen Systeme. Wichtig scheint in diesem Zusammenhang allerdings nur das Versauerungspotenzial, da das Überdüngungspotenzial im Gesamtkontext unbedeutend ist (vergleiche Kapitel 7.2.1). Da der Anteil der Versauerung während der Nutzungsphase zwischen 50 und 60 Prozent der Gesamtbelastung ausmacht, liegt hier ein Optimierungspotenzial von 12,5 bis 15 Prozent bezogen auf das Gesamtergebnis. Die Umstellung der konventionellen Gasheizung auf eine Heizung mit Brennwertkessel ist also für die entsprechenden Häuser eine sinnvolle Maßnahme.

Der Stromverbrauch verursacht für alle Kriterien höhere Umweltauswirkungen als eine Gasheizung bezogen auf die Bereitstellung von einem Terajoule Endenergie; das Kriterium karzinogene Substanzen stellt in dieser Beziehung die einzige Ausnahme dar (zu den Faktoren vergleiche Kapitel 5.1.3.1).

Da sich die untersuchten Gebäudevarianten sowohl hinsichtlich Heizwärmebedarf als auch hinsichtlich Stromverbrauch unterscheiden, kommt es zu Überlappungseffekten beider Parameter. Die Unterschiede der Niedrigenergiehäuser zum Referenzhaus sind niedriger als aufgrund der Energiekennzahlen zu erwarten, da außer dem Haus DI alle einen höheren Stromverbrauch aufweisen als das Referenzhaus. Die Niedrigenergiehäuser mit dem höchsten Stromverbrauch für die Haustechnik, d.h. die Häuser B und E, zeigen für die Kriterien Wintersmog (Faktor 28,84) und Schwermetalle (Faktor 19,29) sogar deutlich schlechtere Ergebnisse als das Referenzhaus. Für das Kriterium karzinogene Substanzen (Faktor 0,58) wirkt sich hingegen die relativ geringe Belastung sogar so günstig aus, dass Haus DII für dieses Kriterium das beste Ergebnis aller Varianten erzielt.

Das Nutzerverhalten kann als weitere Einflussgröße genannt werden. Sie wird in den Kapiteln 7.1.2.5 und 7.2.5.3 ausführlich diskutiert.

7.2.3.4 Entsorgung

Die Entsorgungsphase beinhaltet die Entsorgungsprozesse, die am Ende des Lebensweges der Gebäude, d.h. während des Rückbaus, stattfinden. Diejenigen Entsorgungsprozesse, die während Neubau und Erneuerung ablaufen, werden unter die entsprechenden Phasen gefasst.

Wie die Ergebnisse der Untersuchung gezeigt haben und in Tabelle 54 dargestellt ist, sind die Belastungen der Entsorgung gegenüber den Belastungen der anderen Phasen sehr gering.

Bei den Kriterien „Abfälle in Inertstoffdeponie“ und „Abfälle in MVA“, die relativ hohe Anteile aufweisen, werden nur die Volumina der jeweiligen Abfallmengen zusammengefasst. Der mengenmäßig wichtigste Prozess während der Entsorgung ist „Abfälle in Inertstoffdeponie“ (vergleiche Kapitel 6.1.1.11). Von den Auswirkungen her sind allerdings die verschiedenen Prozesse der Müllverbrennung wichtiger. Insbesondere die Auswirkungen der Kunststoffverbrennung fallen dabei stark ins Gewicht.

Für die Kategorie „Abfälle in MVA“ ist eine direkte Korrelation der Abfallmengen mit der Umweltbelastung und damit ein Vergleich der Varianten auf der Ebene der Volumina nicht möglich, da die verschiedenen Verbrennungsprozesse unterschiedliche Auswirkungen haben. Beispielsweise ist der Prozess „Holz unbehandelt in MVA“ wesentlich weniger belastend als der Prozess „Kunststoffe in MVA“.

Da es sich bei dem Kriterium Schwermetall sowohl um ein im Gesamtkontext gesehen „relevantes“ Kriterium (Vgl. Kapitel 7.2.1) handelt, als auch um dasjenige umweltbezogene Kriterium mit dem höchsten Beitrag (zwischen 5 und 10 Prozent des Gesamtwertes), wird an dieser Stelle kurz auf die Resultate eingegangen.

Die Schwermetallemissionen der einzelnen Entsorgungsprozesse unterscheiden sich sehr stark. Von der Kategorie „Abfälle in Inertstoffdeponie“ fallen zwar größere Volumina an, dennoch stellen Abfälle, die in die Müllverbrennung gelangen,

Tabelle 58 Relation der Ergebnisse der Entsorgungsphase der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent.

Kriterien	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	159	163	115	95	94	108
PEB erneuerbar	100	205	197	135	87	87	126
Treibhauspotenzial	100	94	100	54	204	196	66
Ozonabbau	100	151	151	113	91	91	106
Versauerung	100	112	193	79	157	153	83
Überdüngung	100	110	114	75	160	156	78
Sommersmog	100	144	144	105	106	105	101
Wintersmog	100	129	246	96	122	119	99
Karzinogene Substanzen	100	101	101	60	199	194	65
Schwermetalle	100	102	146	85	124	110	151
Öko-Indikator	100	101	145	83	132	119	141

eine wesentlich größere Belastung dar. Insbesondere die Verbrennung von Kunststoffen erweist sich dabei als kritisch. Besonders ins Gewicht fällt der Prozess „Kunststoffe in MVA“. Über das Element Teppichboden Wohnen (Polypropylen) sind alle Varianten in sehr ähnlichem Umfang davon betroffen.

Haus E weist darüber hinaus noch mit Polyurethan gedämmte Decken auf, deren Kunststoffanteil ebenfalls über diesen Prozess entsorgt wird. Zusammen mit der Fußbodenheizung (Polyethylen und Polystyrol) resultiert dies im höchsten Ergebnis aller Varianten. Ansonsten spielen die unterschiedlichen Polystyrol-anteile (Haus A und vor allem Haus B) und Polyethylenfolien (vor allem in den Häusern DI und DII) eine entscheidende Rolle.

Das Problem der Sonderabfälle kann mit der in der Arbeit verwendeten Methode nicht adäquat abgebildet werden. Es tritt vornehmlich auf der Baustelle auf, wenn beispielsweise Reste von Betonzusatzstoffen oder unausgehärteten Farben und Klebstoffen entsorgt werden müssen. Ist der Betonzusatzstoff einmal im Beton oder die Farbe ausgehärtet, handelt es sich nicht mehr um Sonderabfälle.

7.2.4 Einfluss der Elementgruppen und Elemente

Neben der im vorigen Kapitel geschilderten Identifikation von Belastungsschwerpunkten hinsichtlich der Lebenswegphasen ist es für die Interpretation der Ergebnisse und die Entwicklung von Optimierungsmaßnahmen ebenfalls wichtig, Belastungsschwerpunkte bezogen auf die Elementgruppen und Einzelelemente zu identifizieren.

Eine korrekte Interpretation der Ergebnisse ist dabei nur unter Berücksichtigung aller bekannten Eigenschaften der Elementgruppen, Einzelelemente und Gebäude möglich. Hinsichtlich materialbezogener Schlussfolgerungen ist Vorsicht geboten, da neben direkten Effekten aufgrund des verwendeten Materials auch Effekte aufgrund der eingesetzten Materialmenge auftreten. Dabei kann sowohl die Menge eines Einzelelementes, als auch die Menge einer Komponente innerhalb eines Elementes von entscheidender Bedeutung sein.

7.2.4.1 Bedeutung der Elementgruppen

Die Einzelelemente wurden entsprechend ihrer Funktion in sieben Elementgruppen eingeteilt:

- Fassade
- Öffnungen
- Innenwände
- Decken/Böden
- Dächer
- Technik
- Ergänzende Leistungen

Bei einer Gleichverteilung der Belastungen müsste jede Gruppe etwa 14 Prozent der Gesamtbelastung verursachen. Dies ist, wie Tabelle 59 auf Seite 191 zeigt, nicht der Fall. Sowohl für die verschiedenen Elementgruppen als auch für die einzelnen Kriterien lassen sich Schwerpunkte der Belastung ausmachen.

Als größte Belastungsquelle konnte die Elementgruppe Decken/Böden identifiziert werden. Abgesehen vom Kriterium karzinogene Substanzen (Anteil: 5 bis 10 Prozent) liegt der Beitrag aller anderen Kriterien bei über 20 Prozent. Bei 8 von 14 untersuchten Kriterien beträgt ihr Anteil sogar mehr als 40 Prozent, bei weiteren zwei immerhin noch zwischen 30 und 40 Prozent.

Auffällig wenig Anteil an den Belastungen hat die Elementgruppe Öffnungen. 11 von 14 Kriterien tragen jeweils nur maximal 5 Prozent zur Gesamtbelastung aller Elemente bei. Mit 30 bis 40 Prozent fällt das Kriterium karzinogene Substanzen hier aus dem Rahmen (weitere Erläuterungen siehe Kapitel 7.2.4.2.)

Relativ hohe Anteile sind für die Elementkategorie Sonstiges und das Kriterium Abfälle in Inertstoffdeponie erkennbar. Als verursachendes Element lässt sich direkt der Baugrubenaushub identifizieren (siehe dazu Kapitel 7.2.3.1). In der gleichen Elementkategorie findet sich auch ein relativ hoher Anteil des Kriteriums karzinogene Substanzen, verursacht durch die Aluminiumanteile der Innentüren (siehe Kapitel 7.2.4.2). Erwähnenswert ist daneben noch die Elementgruppe Dächer, welche für die Kriterien PEB e. (Holzkonstruktion des Daches und Lattung für die Dachdeckung), Schwermetalle (Dachentwässerung) und Abfälle in Müllverbrennung (siehe PEB e.) einen Anteil von 20 bis 30 Prozent aufweist. Der Anteil der übrigen Elementgruppen bezogen auf die einzelnen Kriterien beträgt dagegen jeweils weniger als 20 Prozent.

Da die Elementgruppe Decken/Böden die mit Abstand bedeutendste Elementgruppe darstellt, soll an dieser Stelle näher auf diese Ergebnisse und insbesondere die Unterschiede zwischen den Varianten eingegangen werden (siehe Tabelle 60). Eine weitere Diskussion findet sich in Kapitel 7.2.4.2. Sie setzt sich aus folgenden Unterelementen zusammen: Kellerboden (Stahlbeton unterschiedlicher Dicke), Decken (Stahlbeton-, Holzbalken- und/oder Porenbetondecken), Deckenputz und -anstrich, sowie Bodenbeläge (Estrich, Fliesen, Linoleum, Text. Bodenbelag).

Tabelle 59 Überblick über die durchschnittlichen Anteile der einzelnen Elementgruppen an der Gesamtbelastung aller Elemente nach Kriterien.

Anteil	Fassade	Offnungen	Innenwände	Decken/Böden	Dächer	Technik	Sonstiges.
über 50 %	-	-	-	Sommersmog Schwermetalle	-	-	-
über 40 bis 50 %	-	-	-	PEB n.e. Ozonabbaupotenzial Versauerung Überdüngung Öko-Indikator Stofffluss	-	-	Inertstoffdeponie
über 30 bis 40 %	-	karzin. Substanzen	-	GWP Wintersmog	-	-	-
über 20 bis 30 %	-	-	-	PEB e. Inertstoffdeponie KVA	PEB e. Schwermetalle KVA	-	karzin. Substanzen
über 10 bis 20 %	PEB n.e. PEB e. GWP Ozonabbaupotenzial Versauerung Wintersmog Inertstoffdeponie KVA Stofffluss	PEB e.	GWP Stofffluss Inertstoffdeponie	-	Öko-Indikator	PEB n.e. GWP Schwermetalle Öko-Indikator Versauerung Wintersmog karzin. Substanzen KVA	PEB n.e. PEB e. GWP Ozonabbaupotenzial Versauerung Überdüngung Stofffluss
über 5 bis 10 %	Überdüngung Sommersmog	KVA	PEB n.e. Ozonabbaupotenzial Versauerung Überdüngung Sommersmog Wintersmog	karzin. Substanzen	PEB n.e. Ozonabbaupotenzial Versauerung Überdüngung Sommersmog Wintersmog Inertstoffdeponie	Ozonabbaupotenzial Überdüngung Sommersmog	Sommersmog Wintersmog Öko-Indikator KVA
Bis 5 %	karzin. Substanzen Schwermetalle Öko-Indikator	PEB n.e. GWP Ozonabbaupotenzial Versauerung Überdüngung Sommersmog Wintersmog Schwermetalle Öko-Indikator Stofffluss Inertstoffdeponie	PEB e. karzin. Substanzen Schwermetalle Öko-Indikator Stofffluss KVA	-	GWP karzin. Substanzen Stofffluss	PEB e. Stofffluss Inertstoffdeponie	Schwermetalle

Tabelle 60 Relation der Belastungen der Elementgruppe Decken/Böden der einzelnen Varianten zum Referenzhaus. Angaben in Prozent. Anteil dieser Elementgruppe meist über 40 Prozent.

Decken/Böden	Referenz- haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	112	109	116	113	113	120
PEB erneuerbar	100	94	90	12	214	214	13
Treibhauspotenzial	100	114	110	131	72	72	132
Ozonabbau	100	105	105	109	101	101	120
Versauerung	100	103	100	95	105	105	98
Überdüngung	100	110	108	99	113	113	103
Sommersmog	100	103	104	95	99	99	106
Wintersmog	100	99	96	116	110	110	128
Karzin. Substanzen	100	114	109	128	145	145	131
Schwermetalle	100	99	100	85	87	87	106
Öko-Indikator	100	100	101	89	90	90	107

Die in Tabelle 60 dargestellten Relationen der einzelnen Varianten zum Referenzhaus zeigen ein sehr einheitliches Bild. Wenig erstaunlich ist, dass die Varianten A und B Ergebnisse der gleichen Größenordnung wie das Referenzhaus aufweisen. Ihre Konstruktionen verfügen nur über geringfügige Unterschiede im Material (z.B. Dämmung des Bodens), sowie in der Dimensionierung. Deutliche Abweichungen vom Referenzhaus sind auch für die übrigen Varianten nur für vier Kriterien zu sehen: PEB e., Treibhauspotenzial, Wintersmog und karzinogene Substanzen.

Die gegenläufigen Werte für den PEB e. und das Treibhauspotenzial lassen sich durch die unterschiedlichen Anteile an Holz in den jeweiligen Konstruktionen erklären. Die Häuser C und E enthalten nur Porenbetondecken im Gegensatz zum Referenzhaus, welches im Obergeschoss eine Holzbalkendecke besitzt, bei den übrigen handelt es sich um Stahlbetondecken. Die Häuser DI und DII hingegen enthalten nur Holzbalkendecken.

Der hohe Wintersmog-Wert von Haus E ist durch die Porenbetondecke bedingt. Im Unterschied zu Haus C, welches ebenfalls Porenbetondecken besitzt, ist die Decke von Haus E um 1 cm dicker. Außerdem ist die Deckenfläche in Haus E größer, da Haus C im Obergeschoss keine Decke besitzt.

Der durchschnittliche Anteil des Kriteriums „karzinogene Substanzen“ liegt nur bei 5 bis 10 Prozent, die gezeigte Abweichung wirkt sich also insgesamt nur geringfügig aus. Als Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse kann einerseits eine relativ umfangreiche Mineralwollendämmung der Decken (Haus DI und DII) andererseits die materialbedingt höhere Belastung der Porenbetondecken (Häuser C und E) ausgemacht werden.

Tabelle 61 Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Fassade. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Fassade an der Belastung aller Elemente: unter 20 Prozent.

Fassade	Referenz - haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	60	45	81	81	80	67
PEB erneuerbar	100	113	225	108	557	556	86
Treibhauspotenzial	100	72	50	97	22	20	81
Ozonabbau	100	70	25	85	78	77	70
Versauerung	100	78	147	85	97	95	70
Überdüngung	100	69	61	99	107	105	82
Sommersmog	100	73	39	90	98	97	75
Wintersmog	100	174	189	187	121	119	155
Karzin. Substanzen	100	84	104	139	100	98	114
Schwermetalle	100	102	180	114	134	131	94
Öko-Indikator	100	94	130	109	99	97	90

Der Vollständigkeit halber wird im Folgenden auf die relativen Ergebnisse der übrigen Elementgruppen ebenfalls kurz eingegangen. In Tabelle 61 sind diese für die Elementgruppe Fassade zusammengestellt.

Das Bild ist deutlich uneinheitlicher als für die Gruppe Decken/Böden. Es fallen sowohl klare Abweichungen nach oben als auch nach unten auf.

Höhere Belastungen ergeben sich z.T. für die Kriterien PEB e. (großflächige Holzverkleidung von Haus B und Holzrahmenbauweise der Häuser DI und DII) und Wintersmog (Polystyrolämmung der Häuser A und B sowie Porenbetonaußenwände der Häuser C und E). Abgesehen von den anteilmäßig unbedeutenden Kriterien (Schwermetalle, karz. Substanzen und Öko-Indikator haben jeweils einen Anteil von weniger als 5 Prozent), sind ansonsten die Ergebnisse aller anderen Kriterien gleich gut oder besser als diejenigen des Referenzhauses. Die Ziegelkonstruktion des Referenzhauses erweist sich also bezogen auf die Umweltauswirkungen abgesehen vom Wintersmog als vergleichsweise ungünstig.

Haus C hat trotz gleicher Konstruktion (Porenbeton) durchweg Ergebnisse, die um etwa 21 Prozent höher liegen als diejenigen von Haus E. Dies lässt sich durch die größere Dimensionierung erklären. Haus C hat beispielsweise 36 m² mehr Außenwandfläche als Haus E und weist außerdem im Mittel deutlich höhere Wandstärken auf. Aber auch die Holzverkleidung der Fassade ist bei Haus C um 21 Prozent größer, was die Ergebnisse für die Kriterien PEB e. und Treibhauspotenzial erklärt. Beide Varianten besitzen keine zusätzliche Dämmung der Außenwände. Die Effekte lassen sich also allein durch die Eigenschaften des Materials Porenbeton und die Mengenunterschiede begründen.

Tabelle 62 Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Öffnungen. Anteil der Elementgruppe Öffnungen an der Belastung aller Elemente meist unter 5 Prozent; wichtigste Ausnahme ist das Kriterium karzinogene Substanzen mit 30 bis 40 Prozent.

Öffnungen	Referenz - haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	189	414	157	81	81	113
PEB erneuerbar	100	133	52	149	81	81	112
Treibhauspotenzial	100	320	1240	181	81	81	113
Ozonabbau	100	193	567	153	81	81	112
Versauerung	100	182	507	157	81	81	113
Überdüngung	100	167	266	154	81	81	112
Sommersmog	100	169	350	152	81	81	112
Wintersmog	100	173	369	155	81	81	113
Karzin. Substanzen	100	242	260	161	81	81	112
Schwermetalle	100	148	377	152	80	80	111
Öko-Indikator	100	186	371	156	80	80	112

Die Elementgruppe Öffnungen zeigt, wie in Tabelle 62 dargestellt, für die einzelnen Varianten deutlich unterschiedliche Ergebnisse. Sie lassen sich einerseits durch Flächeneffekte erklären, andererseits aber auch durch Materialunterschiede und verschiedene Fenstertypen. Die Relation der Varianten C, DI, DII und E entspricht der Relation der jeweiligen Fensterflächen zum Referenzhaus. Dass es sich nicht jeweils durchgehend um die gleichen Zahlenwerte handelt, lässt sich einerseits durch Rundungsfehler erklären. Für Haus C liegt der Grund darüber hinaus darin, dass zwei verschiedene Fenstertypen eingesetzt sind, Isolierglas- und Wärmeschutzglasfenster.

Haus A weist sowohl eine größere Fensterfläche als das Referenzhaus auf (+24 Prozent), als auch eine Dreischeibenverglasung. Es treten also Mengeneffekte auf zweierlei Ebenen auf, der Ebene des Elements und der Einzelkomponenten des Elements. Als besonders relevant erweist sich dabei die Verdoppelung der Aluminiummenge, die als Abtrennmateriale zwischen den Scheiben eingesetzt wird (karzinogene Substanzen und Treibhauspotenzial).

Haus B besitzt ebenfalls eine größere Fensterfläche (+8 Prozent) und eine Dreischeibenverglasung. Zusätzlich dazu handelt es sich bei dem verwendeten Rahmenmaterial um PVC und nicht um Holz wie bei allen anderen Varianten. Dies führt zu deutlich höheren Werten insbesondere für das Treibhauspotenzial, den PEB n.e., die Versauerung und den Ozonabbau.

Für die Elementgruppe Innenwände würde man ein ähnliches Ergebnis erwarten wie für die Elementgruppe Fassade, da jeweils die gleichen Materialien verwendet werden. Tabelle 63 zeigt aber, dass dies nicht der Fall ist. Vielmehr schneiden die meisten Varianten sogar klar schlechter ab als das Referenzhaus. Es

Tabelle 63 Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Innenwände. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Innenwände an der Belastung aller Elemente meist unter 10 Prozent.

Innenwände	Referenz - haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	103	85	122	91	91	102
PEB erneuerbar	100	133	88	164	140	140	139
Treibhauspotenzial	100	124	100	144	92	92	121
Ozonabbau	100	127	53	124	84	84	104
Versauerung	100	100	125	127	114	114	108
Überdüngung	100	111	103	142	127	127	120
Sommersmog	100	126	66	129	115	115	109
Wintersmog	100	234	132	241	96	96	202
Karzin. Substanzen	100	117	90	191	80	80	161
Schwermetalle	100	118	310	167	96	96	140
Öko-Indikator	100	129	157	155	102	102	131

gibt im Wesentlichen zwei Gründe für dieses Ergebnis: zum einen ist die Innenwandfläche bei allen Varianten größer als beim Referenzhaus, zum anderen erfolgt bei den Varianten eine Dämmung der Wand zur Garage hin.

Die relativen Ergebnisse der Elementgruppe Dächer sind in Tabelle 64 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass Porenbetondächer deutlich mehr Auswirkungen als die Holzkonstruktionen haben (Wintersmog, Ozonabbau, Treibhauspotenzial, PEB n.e.). Die Dachfenster der Varianten C, DI und DII führen in erster Linie zu einem relativ hohen Ergebnis für das Kriterium karzinogene Substanzen.

Die relativ niedrigen Schwermetallwerte lassen sich durch jeweils relativ klein konzipierte Dachentwässerungen erklären. Der hohe Wert für das Kriterium PEB e. bei Haus DI und DII wird durch die relativ große Dachfläche verursacht. Die Dachkonstruktion von Haus B enthält vergleichsweise wenig Holz aber eine umfangreiche Mineralwollendämmung. Die Ergebnisse des Kriteriums Treibhauspotenzial verlaufen jeweils gegenläufig zum PEB e..

Die Elementgruppe Technik, Darstellung der Ergebnis siehe Tabelle 65, zeigt die Effekte der unterschiedlichen Ausstattung der Varianten mit haustechnischen Elementen. Das Referenzhaus besitzt sowohl zwei Kamine (wie sonst nur noch Haus E) als auch eine relativ große Anzahl an Radiatoren, was beides zu dem vergleichsweise hohen Wert bei allen Kriterien beiträgt. Demgegenüber besitzt Haus A zwar zwei Warmwasserspeicher aber keinen Kamin und keine Radiatoren; Haus B verfügt über vergleichsweise wenige Radiatoren. Haus C fällt nur durch einen hohen Wert der karzinogenen Substanzen auf, was verursacht wird durch den Aluminiumanteil des installierten Solarkollektors.

Tabelle 64 Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Dächer. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Dächer an der Belastung aller Elemente meist unter 10 Prozent; wichtigste Ausnahme stellt die Kategorie Schwermetalle mit 20 bis 30 Prozent dar.

Dächer	Referenz - haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	100	103	145	104	104	136
PEB erneuerbar	100	101	79	63	132	132	64
Treibhauspotenzial	100	100	166	412	45	45	371
Ozonabbau	100	101	106	147	114	114	134
Versauerung	100	100	102	117	102	102	116
Überdüngung	100	102	101	114	115	115	113
Sommersmog	100	102	100	112	121	121	108
Wintersmog	100	99	95	142	108	108	132
Karzin. Substanzen	100	101	97	252	180	180	118
Schwermetalle	100	85	91	49	42	42	60
Öko-Indikator	100	86	92	55	46	46	65

Tabelle 65 Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Technik. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe Technik an der Belastung aller Elemente: unter 20 Prozent.

Technik	Referenz - haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	71	69	102	87	36	95
PEB erneuerbar	100	27	59	94	63	14	94
Treibhauspotenzial	100	68	68	102	108	35	127
Ozonabbau	100	80	79	105	126	49	151
Versauerung	100	81	77	106	195	46	241
Überdüngung	100	55	66	96	85	29	104
Sommersmog	100	67	73	96	109	40	133
Wintersmog	100	84	73	107	167	43	197
Karzin. Substanzen	100	95	74	290	77	35	71
Schwermetalle	100	75	66	109	96	45	97
Öko-Indikator	100	76	68	114	111	44	119

Die Ergebnisse der Elementgruppe Sonstiges zeigen relativ einheitliche Ergebnisse (siehe Tabelle 66). Haus C und in noch größerem Umfang auch Haus E besitzen massivere Fundamente als die anderen Varianten, was in höheren Werten für die Kriterien PEB n.e. und Treibhauspotenzial und für Haus E auch Wintersmog resultiert. Da außerdem statt einer Holzterasse wie in den übrigen Varianten jeweils eine Betonterrasse eingebaut ist, ist der PEB e.- Wert erniedrigt.

Tabelle 66 Relation der Varianten zum Referenzhaus für die Elementgruppe Ergänzende Leistungen. Angaben in Prozent. Anteil der Elementgruppe ergänzende Leistungen an der Belastung aller Elemente: meist unter 20 Prozent.

Ergänz. Leistungen	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	100	110	114	129	97	97	130
PEB erneuerbar	100	104	105	69	90	90	74
Treibhauspotenzial	100	109	114	143	98	97	146
Ozonabbau	100	113	118	118	98	97	114
Versauerung	100	110	115	123	97	96	123
Überdüngung	100	112	116	118	96	95	115
Sommersmog	100	113	117	114	97	96	110
Wintersmog	100	108	112	121	97	96	125
Karzin. Substanzen	100	110	117	107	111	111	112
Schwermetalle	100	109	112	114	96	96	115
Öko-Indikator	100	110	114	119	98	98	120

7.2.4.2 Wichtige Einzelelemente

Die Elemente lassen sich grundsätzlich danach unterscheiden, ob sie in allen Varianten in ähnlicher Zusammensetzung und Dimensionierung vorkommen oder ob sie grundsätzlich verschieden sind. Ähnlich sind beispielsweise Bodenbeläge und Fundamente; verschieden dagegen Außenwände und Decken.

Teilweise lassen sich für einzelne Kriterien wenige Elemente identifizieren, die für den Hauptteil der Belastung verantwortlich sind. Auf diese wird im Folgenden näher eingegangen. Problematisch bei einer solchen Herangehensweise ist die Tatsache, dass für das Erbringen der gleichen Funktion wie beispielsweise einer Außenwand, in einer Variante nur ein Elementtyp gebraucht wird, in einer anderen dagegen mehrere Elementtypen (z.B. mit verschiedenen Wandstärken) eingesetzt werden. Ein Vergleich der Beiträge der einzelnen Elemente ist in einem solchen Fall nicht sehr hilfreich. Deshalb ist es meistens sinnvoller, die Ergebnisse auf der Ebene der Elementgruppen zu vergleichen. Im folgenden wird nur auf die wichtigsten Einzelelemente eingegangen. Es handelt sich dabei um die Elemente

- Textiler Bodenbelag, Wohnen (Element M3 3_1055),
- Dachentwässerung (Elemente E1 3_600 und E1 3_601),
- Aluminium enthaltende Einzelelemente (u.a. Fenster, Innentüren)
- Baugrubenaushub (Element D0 1_29)

Zusätzlich dazu wird kurz auf die Problematik des Treibhauspotenzials im Zusammenhang mit denjenigen Einzelelementen eingegangen, die Holzwerkstoffe enthalten.

Tabelle 67 Prozentualer Anteil des Elementes M3 3_1055, textiler Bodenbelag Wohnen, an der Gesamtbelastung aller Elemente nach Kriterien und Varianten.

M3 3_1055 [%]	Referenz-haus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E	Durchschnitt
PEB nicht erneuerbar	17	17	18	13	14	18	16	16
PEB erneuerbar	1	1	1	1	0	0	2	1
Treibhauspotenzial	15	14	15	10	17	24	12	15
Ozonabbau	29	28	33	24	25	32	27	28
Versauerung	20	20	18	17	15	20	17	18
Überdüngung	24	23	26	20	20	24	25	23
Sommersmog	46	44	49	40	38	44	45	44
Wintersmog	13	11	12	8	9	13	9	11
Karzin. Substanzen	2	1	2	1	2	3	2	2
Schwermetalle	45	48	46	48	49	56	50	49
Öko-Indikator	39	40	39	38	39	47	40	40

Das Einzelelement Textiler Bodenbelag, Wohnen (Element M3 3_1055) leistet in fast allen Kriterien (Ausnahmen PEB e. und karzinogene Substanzen) einen relativ hohen Einzelbeitrag zur Gesamtbelastung der Elemente. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Eaton (1998) in seiner Untersuchung. Die jeweiligen relativen Beiträge sind in Tabelle 67 zusammengestellt. Es fallen besonders die hohen Beiträge der Kriterien Sommersmog und Schwermetalle auf. Da die jeweils eingebaute Fläche an textilem Bodenbelag sich zwischen den Varianten nicht sehr stark unterscheidet, liegen auch die Belastungen durch dieses Element in jeweils der gleichen Größenordnung vor. Es handelt sich um ein Element mit sehr kurzer Lebensdauer, nur 10 Jahre werden veranschlagt. Damit geht einher, dass das Element über die gesamte Lebensdauer der Gebäude nach dem Neubau sieben Mal ersetzt werden muss und entsprechend acht Mal hergestellt und entsorgt werden muss. Als am meisten belastend entpuppt sich dabei der Entsorgungsprozess *Kunststoffe in KVA* (siehe Kapitel 7.2.3.4).

Dieses Ergebnis legt die Verwendung eines weniger belastenden Bodenbelags nahe. Außerdem zeigt dieses Ergebnis, dass besonders bei kurzlebigen Elementen auf die Umweltverträglichkeit geachtet werden muss.

Für das Kriterium Schwermetalle erwiesen sich die Elemente der Dachentwässerung mit einem durchschnittlichen Beitrag von 19 % zur Gesamtbelastung der Elemente als kritisch. Wesentlich für die Belastungen ist die Herstellung der Regenrinnen und Regenwasserabläufe. Die Belastungen mit Schwermetallen, die durch Auswaschungen während der Lebensdauer dieser Elemente verursacht werden, werden im vorliegenden Fallbeispiel nicht berücksichtigt.

Die Quellen der Belastung mit karzinogenen Substanzen lassen sich auf relativ wenig Einzelelemente einschränken. Es handelt sich um die Fenster (E5 1_...), die Innentüren (M1 6_333), den Warmwasserspeicher (I5 3_310), den Heizkessel (I2 2_261) und den Solarkollektor (Haus C, I5 2_308). Die entscheidende Gemeinsamkeit dieser Elemente

ist, dass sie alle den Baustoff Aluminium enthalten. In der Summe verursachen sie durchschnittlich 77 Prozent der elementbedingten Belastungen mit karzinogenen Belastungen. Es handelt sich dabei nur um Belastungen aus Produktionsprozessen, Ausgasungen etc. während der Nutzungsphase sind nicht enthalten.

Durchschnittlich 37 Prozent der Abfälle in Inertstoffdeponie werden verursacht durch das Element Baugrubenaushub (Element D0 1_29). Es fällt in allen Varianten in ähnlicher Größenordnung an. Da in Zukunft eine vollständige Verwertung von Bauabfällen dieser Kategorie erfolgen soll (siehe Kapitel 7.2.3.1), handelt es sich Abfälle, die künftig keine Rolle mehr spielen werden. Einzig die Belastungen aus den Transporten des Mutterbodens von der Baustelle zu einem entsprechenden Lager oder direkt zum Ort der Verwertung gilt es dann noch zu berücksichtigen.

7.2.5 Einschätzung der Sensitivitätsanalysen

7.2.5.1 Variation des Betrachtungszeitraums

Die Analyse des zeitlichen Verlaufs der Belastungen hat gezeigt, dass die Wahl des Betrachtungszeitraumes kritisch für die relative Beurteilung der Varianten sein kann (vergleiche Kapitel 6.3.1). Allerdings verhalten sich die verschiedenen Kriterien unterschiedlich.

In keinem Fall ist es notwendig, die gesamten 80 Jahre zu berücksichtigen. Ein Betrachtungszeitraum von 60 Jahren genügt für die Kriterien Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial, Sommersmog und Öko-Indikator, um zum gleichen relativen Resultat zu kommen wie nach 80 Jahren. Für die Kriterien Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, Ozonabbaupotenzial, Überdüngung, Wintersmog, karzinogene Substanzen und Schwermetalle sind sogar nur 40 Jahre ausreichend, um die relative Bewertung des Endergebnisses eindeutig erkennen zu lassen. Damit ist auch die Aussage eingeschlossen, dass die Entsorgungsphase, die ja beide Mal wegfällt, die relative Einschätzung der Varianten nur geringfügig beeinflusst.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann mit gutem Gewissen die Wahl eines Betrachtungszeitraumes von weniger als 80 Jahren, konkret 40 bis 60 Jahre je nach Kriterium, empfohlen werden. Insbesondere die Ausklammerung der Entsorgungsphase scheint sinnvoll, da ohnedies niemand weiß, wie in 80 Jahren verwertet resp. entsorgt wird.

7.2.5.2 Variation der Lebensdauern der Elemente

Kurze Elementlebensdauern (worst-case-Szenario) verursachen im Vergleich zu mittleren oder langen Lebensdauern (best-case-Szenario) eine höhere Belastung während der Erneuerungsphase und führen deshalb auch insgesamt zu einer höheren Gesamtbelastung eines Gebäudes. Wie sensitiv ist aber die Festlegung der Elementlebensdauern während der Zieldefinition für das Ergebnis einer Gebäudebilanz?

Je höher der Anteil der Erneuerungsphase am Gesamtergebnis bezogen auf ein Kriterium ist, desto stärker wirkt sich die Variation der Elementlebensdauern auf das Gesamtergebnis aus. Entsprechend sind die Annahmen zur Elementlebensdauer am wenig sensitiv für das Kriterium Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, sehr sensitiv hingegen für das Kriterium Schwermetalle.

Für alle Kriterien gilt aber, dass sich die relative Beurteilung der Varianten in den verschiedenen Szenarien nur unwesentlich unterscheidet: Für eine vergleichende Bewertung hat es sich für die im Fallbeispiel untersuchten Gebäude als irrelevant erwiesen, mit welchem Lebensdauer-Szenario gearbeitet wird. Essentiell ist allerdings, dass für alle Varianten nur Elemente des gleichen Szenarios verwendet werden. Werden die Ergebnisse der Gebäude willkürlich aus verschiedenen Szenarien zusammengestellt, so sind Fehleinschätzungen die notwendige Folge.

Wesentlich für die Durchführung künftiger Gebäudebilanzen ist deshalb die gewissenhafte Erstellung eines bezüglich der Elementlebensdauern homogenen Elementekatalogs. Weiterhin gilt: Möchte man die absoluten Ergebnisse des Fallbeispiels in einem anderen Zusammenhang verwenden, so muss man darauf achten, auf welchem der drei Lebensdauerszenarien sie beruhen. Es sollte dem entsprechenden Zweck angepasst sein. Im Allgemeinen wird dies die mittlere Lebensdauer sein.

7.2.5.3 Einsparpotenziale durch maximales Recycling

Gerade weil es nicht möglich ist, präzise Vorhersagen über die zukünftig übliche Recyclingpraxis zu machen, wurde im Rahmen des Fallbeispiels das Optimierungspotenzials durch den Wegfall aller Entsorgungsprozesse - was einem 100prozentigen Recycling entsprechen würde - ermittelt. Dies geschah auf der Basis der heute üblichen Entsorgungsprozesse.

Als Fazit dieser Analyse zeigt sich, dass für das Kriterium Schwermetalle ein sehr großes Optimierungspotenzial durch Recycling besteht. Als Ursache kann der Wegfall von Verbrennungsprozessen in der Müllverbrennung identifiziert werden. Dies betrifft insbesondere die diversen Kunststoffe. Als besonders wichtig erwies sich in diesem Zusammenhang das Element Textiler Bodenbelag (M3 3_1055), welches über den Prozess „Kunststoffe in MVA“ entsorgt wird und außerdem infolge seiner kurzen Lebensdauer in relativ großer Menge anfällt.

In geringerem Umfang besteht auch ein Optimierungspotenzial bezüglich des Kriteriums Treibhauseffekt. Ursache sind vor allem Elemente mit Anteilen an Holzwerkstoffen. Bei der Verbrennung dieser Holzwerkstoffe wird genauso viel CO₂ frei wie zuvor beim Wachstum des Holzes der Atmosphäre entzogen wurde. Es handelt sich also prinzipiell um „neutrales“ CO₂ (vergleiche dazu Kapitel 7.1.2.4). Dies sollte allerdings einer werkstofflichen Verwertung nicht entgegenstehen.

Für die übrigen Kriterien verspricht eine maximale Steigerung des Recyclings aber keine effektive Minderung der Umweltbelastungen.

Nicht eingeschlossen in dieses Fazit sind Optimierungspotenziale hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs durch die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen, d.h. einem Recycling auf der Input-Seite zukünftiger Bauprozesse. Dieser Aspekt wird durch die im Fallbeispiel verwendeten Kriterien nicht abgedeckt. Ein positiver Effekt ist allerdings in Anbetracht der immer knapper werdenden mineralischen Ressourcen (z.B. Kies) zu erwarten (vergleiche Kapitel 2.2.2).

7.2.5.4 Einsparpotenziale durch Minimierung des Verschnitts

Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen, dass die Optimierungspotenziale durch einen minimierten Verschnitt durchschnittlich größer sind als durch ein maximales Recycling. Einerseits entfällt die Entsorgung des betreffenden Materials, andererseits aber auch schon dessen Produktion. Es wird dementsprechend auf zwei Seiten „gespart“. Das größte Einsparpotenzial besteht dabei für das Kriterium Primärenergiebedarf erneuerbar. Durch die Optimierung der Holzverarbeitung können bei minimiertem Verschnitt durchschnittlich 12 Prozent des Energiebedarfs vermieden werden. Für die anderen Kriterien liegen die Einsparpotenziale deutlich unter 10 Prozent, ein großer Effekt durch die Minimierung des Verschnitts lässt sich alles in allem nicht erzielen.

Gleichzeitig bedeutet dieses insgesamt eher geringe Optimierungspotenzial auch, dass potenzielle Fehler durch falsche Annahmen zu Verschnitten keinen einschneidenden Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

7.2.5.5 Einfluss des Nutzerverhaltens

Der Einbezug der maximalen Auswirkungen unterschiedlichen Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch während der Nutzungsphase in eine Gebäudebilanz erhöht die Komplexität der Ergebnisdarstellung erheblich. Die Frage, die mit dieser Analyse geklärt werden sollte, war deshalb, ob der Nutzen beim Einbeziehen dieser Information durch die Angabe eines Streubereiches (Minimal bis Maximalwert) die höhere Komplexität einer solchen Darstellung rechtfertigt. Es wurde aber auch untersucht, ob ein Einfluss auf die vergleichende Bewertung der Varianten besteht.

Entsprechend des unterschiedlichen Gewichts, den die Nutzungsphase für die einzelnen Kriterien besitzt, fällt der Streubereich unterschiedlich groß aus. Am kleinsten ist er für das Kriterium Schwermetalle. Am größten hingegen für das Kriterium Primärenergie nicht erneuerbar.

Es zeigte sich allerdings, dass weder die Verwendung der Minimal-, noch der Maximalwerte zu anderen Ergebnissen der vergleichenden Bewertung der Varianten führt, wie die Ergebnisse, die auf den Simulationsdaten beruhen. Gleichermaßen wie für

die Variation der Elementlebensdauern gilt aber auch hier, dass die zu vergleichenden Ergebnisse dem gleichen Szenario entstammen müssen.

Eine Aufnahme des Streubereichs in die Bilanzierung erscheint vor diesem Hintergrund deshalb nicht gerechtfertigt. Eine Änderung dieser Empfehlung wäre denkbar, wenn sich herausstellen sollte, dass der Streubereich des Nutzerverhaltens um den Simulationswert abhängig von der Energiekennzahl nicht symmetrisch ist wie bisher im Fallbeispiel angenommen.

7.2.6 Stellenwert der gebäudebedingten Belastungen im Vergleich zum durchschnittlichen Individualverkehr (PKW)

Der Individualverkehr mit dem PKW stellt in Deutschland eine weit größere Belastung für die Umwelt dar als es die im Fallbeispiel untersuchten Gebäude in der gleichen Zeitspanne tun. Daraus zu schließen, dass man von einer Optimierung von Gebäuden absehen könne, ist selbstverständlich unsinnig. Es sollte vielmehr zum Nachdenken anregen. Möglicherweise verursacht ein *ökologisches* Gebäude mehr verkehrsinduzierte Belastungen als es gebäudebedingte einspart. Das wäre dann selbstverständlich unsinnig. Bei der Planung von Bebauungen sollte also nicht *nur* auf eine möglichst umfassende Umweltverträglichkeit der Gebäude selbst geachtet werden, sondern auch der Aspekt Verkehr mit einbezogen werden. Dies gilt abgesehen vom Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar und dem Treibhauspotenzial für alle berücksichtigten Kriterien. Bezogen auf den Primärenergiebedarf n.e. ergab der Vergleich, dass für den gleichen Zeitraum der Energieverbrauch des gesamten Hauses A der PKW-Mobilität von drei entspricht, respektive sechs Personen bezogen auf das Referenzhaus. Wenn Haus A also von drei Personen bewohnt wird, dann verbrauchen diese genauso viel Energie für das Haus, d.h. das Wohnen, wie durch ihre PKW-Fahrleistung.

7.2.7 Abschließender Vergleich der untersuchten Häuser

Wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt wurde, kann der abschließende Vergleich der verschiedenen Varianten auf relativ wenige Kriterien beschränkt werden. Im einzelnen sind dies:

- Summe von PEB nicht erneuerbar und PEB erneuerbar,
- Versauerung,
- Sommersmog,
- Wintersmog,
- Karzinogene Substanzen,
- Schwermetalle.

Im Folgenden sind die Argumente für den Ausschluss der übrigen Kriterien nochmals kurz zusammengefasst:

- Das *Treibhauspotenzial* wurde nicht berücksichtigt, da die Datengrundlage Inkonsistenz aufweist, die die verschiedenen Varianten je nach Holzanteil unterschiedlich stark bevor- bzw. benachteiligen (vergleiche Kapitel 6.4.1.1). Es besteht außerdem eine starke Korrelation dieses Kriteriums zum *Primärenergiebedarf nicht erneuerbar* (vergleiche Kapitel 6.3.2).
- Die Kriterien *Ozonabbaupotenzial* und *Überdüngungspotenzial* erwiesen sich im Gesamtkontext der europäischen Umweltbelastungen als nicht relevant (vergleiche Kapitel 6.3.1 und 7.2.1).
- Der *Öko-Indikator* ist sehr stark mit dem Kriterium *Schwermetalle* korreliert und im Wesentlichen durch dieses Kriterium bestimmt und abgebildet. Da außerdem der Normalisierungsschritt für den Faktor Schwermetalle mit großen Unsicherheiten behaftet ist, erschien es nicht sinnvoll, die Werte des Ökoindikators für die abschließende Bewertung zu übernehmen.
- Die Kategorien *Abfälle in Inertstoffdeponie* und *in MVA* machen nur Aussagen über die Abfallvolumina, nicht jedoch über die mit ihnen verbundenen Umweltauswirkungen.

Die Relationen der untersuchten Varianten zum Referenzhaus sind in Tabelle 68 dargestellt. Als beste Variante erweist sich Haus DI, für vier von sechs Kriterien ist das Ergebnis mindestens 20 Prozent besser als dasjenige des Referenzhauses, für ein weiteres Kriterium immerhin noch 16 Prozent besser. Für das Kriterium Wintersmog bewegt sich das Ergebnis in der gleichen Größenordnung wie dasjenige des Referenzhauses. Haus A zeigt hingegen nur für drei der sechs Kriterien ein um mindestens 20 Prozent besseres Ergebnis, liegt also insgesamt hinter Haus DI. Die Variante mit den höchsten Umweltauswirkungen ist Haus DII. Für die Hälfte der betrachteten Kriterien liegen die Ergebnisse deutlich höher als diejenigen des Referenzhauses. Zwar fällt das Ergebnis des Kriteriums Versauerung verglichen mit dem Referenzhaus relativ niedrig aus, dies gilt aber auch für alle anderen Varianten. Sehr niedrig sind hingegen die Auswirkungen der Kategorie karzinogene Substanzen. Doch auch hier gilt, dass die Ergebnisse aller anderen Varianten - zwar nicht im gleichen Ausmaß - ebenfalls niedrig sind.

Die Ergebnisse der Varianten B, C und E bewegen sich im Mittelfeld. Auffällig ist allerdings, dass die Werte für das Kriterium Wintersmog relativ hoch sind.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 69 als die Rangfolgen der Gesamtergebnisse der Varianten dargestellt. Die Rangfolge ist insofern stark vereinfachend und verkürzend als die Differenz der Werte zueinander nicht berücksichtigt wird; dicht bei einander liegende Werte werden gleich eingestuft wie weit auseinander liegende. Für Haus E ergibt sich

allerdings eine schlechtere Rangfolge als für das Referenzhaus; dies war der obigen Darstellung der Ergebnisse nicht so klar zu entnehmen.

Dementsprechend resultiert aus dieser vereinfachenden Betrachtung ein etwas anderes Ergebnis als oben. Haus A erhält zusammen mit Haus DI aufgrund der geringsten Belastungen den niedrigsten Rang zugewiesen. Haus DII belastet die Umwelt hingegen eindeutig am meisten. Die Varianten B und C liegen im Tabelle 68 Relation der Gesamtergebnisse der einzelnen Varianten zum Referenzhaus

Kriterien	Referenzh.	Haus A	Haus B	Haus CI	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
Summe PEB	100%	55%	67%	70%	70%	69%	121%	74%
Versauerung	100%	87%	106%	96%	91%	84%	299%	114%
Sommersmog	100%	64%	69%	75%	74%	73%	77%	78%
Wintersmog	100%	113%	128%	127%	127%	101%	402%	151%
Karzinogene Substanzen	100%	54%	63%	76%	76%	62%	37%	66%
Schwermetalle	100%	92%	102%	86%	86%	73%	128%	97%

Tabelle 69 Rangfolge aller Varianten für die relevanten Kriterien. Der Wert 1 steht dabei für die niedrigste, der Wert 8 für die höchste Belastung einer bestimmten Variante im Vergleich zu den anderen Gebäuden für das betreffende Kriterium.

Rangfolge	Referenzh.	Haus A	Haus B	Haus CI	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
Summe PEB	7	1	2	4	4	3	8	6
Versauerung	5	2	6	4	3	1	8	7
Sommersmog	8	1	2	5	4	3	6	7
Wintersmog	1	3	6	4	4	2	8	7
Karzinogene Substanzen	8	2	4	6	6	3	1	5
Schwermetalle	6	4	7	2	2	1	8	5
Durchschnitt	5,83	2,17	4,5	4,17	3,83	2,17	6,50	6,17
Rangfolge Durchschnitt	6	2	5	4	3	1	8	7

7.2.7.1 Günstige Eigenschaften und Schwachstellen der Varianten

Um den Kreis zu schließen, sei an dieser Stelle nochmals auf die Fragestellung hingewiesen, die in der Aufgabenstellung für die Gebäudeökobilanz formuliert wurde:

- Wo liegen die *Schwerpunkte der Umweltbelastungen* der untersuchten Gebäude bezogen auf
 - die Lebenswegphasen und
 - die Bauelemente aus denen die Gebäude zusammengesetzt sind?
Welche Schlussfolgerungen ergeben sich daraus?
- Worin liegen die *wichtigsten Unterschiede* der untersuchten Gebäude, bezogen auf
 - die Lebenswegphasen und
 - die Bauelemente aus denen die Gebäude zusammengesetzt sind?
Welche Schlussfolgerungen ergeben sich daraus?

- Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus den noch näher zu definierenden Sensitivitätsanalysen (siehe erster Teil der Fragestellung) in Bezug auf kritische Parameter der angenommenen Rahmenbedingungen ziehen?

Welche Antworten wurden gefunden?

Trotz des vergleichsweise niedrigen Energiestandards aller untersuchten Varianten erwiesen sich die Umweltauswirkungen der Nutzungsphase als insgesamt sehr bedeutend. Die genaue Analyse der Ergebnisse ergab, dass diejenigen Varianten insgesamt vergleichsweise geringe Umweltauswirkungen zeigten, die einen besonders geringen Energieverbrauch während der Nutzungsphase aufwiesen. Als wesentlich erwies sich dabei die Kombination eines niedrigen Heizwärmebedarfs mit einem niedrigen Stromverbrauch. Bei den meisten Kriterien wirkt sich dabei der Stromverbrauch verhältnismäßig stärker aus als der Heizwärmeverbrauch. Die auffälligste Schwachstelle liegt sicherlich in der Elektroheizung von Haus DII.

Die Unterschiede der untersuchten Gebäude ließen sich überwiegend auf die unterschiedlichen Belastungen der Nutzungsphase zurückführen.

Bei Betrachtung der Phasen Neubau, Erneuerung und Entsorgung zeigte sich sehr deutlich, dass nicht allein die Art der verwendeten Baustoffe oder Bauelemente für die Umweltbelastung ausschlaggebend war. Vielmehr handelt es sich um eine Kombination aus Qualität und Quantität der eingesetzten Baustoffe. D.h. auch ein an sich „ungünstiges“ Material kann wegen geringerer Dimensionierung besser abschneiden als ein „günstiges“. Unverkennbar war dies beispielsweise beim Vergleich der Elementgruppen Fassade und Innenwände. Obwohl für beide Elementgruppen in den jeweiligen Varianten die gleichen Baustoffe eingesetzt wurden, weichen die relativen Ergebnisse der Varianten innerhalb der beiden Elementgruppen klar voneinander ab (vergleiche Kapitel 7.2.4.1). Dieser Unterschied ist allein auf die unterschiedliche Dimensionierung der Innen- bzw. Außenwände zurückzuführen.

Als günstig erwies sich generell ein geringer Gehalt an Kunststoffen. Ursache dafür sind einerseits die vergleichsweise hohen Belastungen aus der Herstellung von Kunststoffen. Zum anderen werden Kunststoffe in der Müllverbrennung entsorgt, was in - je nach Kunststoff unterschiedlich hohen - Schwermetallbelastungen resultiert. Besonders ins Gewicht fällt dabei der Teppichboden, dessen Belastungen sich aufgrund der kurzen Lebensdauer über den Betrachtungszeitraum von 80 Jahre aufsummieren.

Für das Kriterium Schwermetalle erwies sich neben den eben erwähnten Kunststoffen auch die Dachentwässerung als wichtige Quelle. Entsprechend sind die Ergebnisse der Varianten DI und DII mit einer relativ klein konzipierten Dachentwässerung besonders günstig.

Es ließ sich kein Zusammenhang zwischen dem jeweiligen Energiestandard einer Variante und der Höhe ihrer Umweltbelastungen feststellen, z.B. in Form einer

Korrelation von niedriger Energiekennzahl und hohen Umweltbelastungen für die Konstruktion eines Gebäudes. Ebenso wenig konnte eine Korrelation zwischen Stofffluss oder Wohnfläche mit der Höhe der Umweltbelastungen festgestellt werden.

7.2.7.3 Gibt es das „optimale“ Haus?

So wie die Frage in der Überschrift dieses Kapitels gestellt ist, liegt die Antwort auf der Hand - natürlich nicht. Es gibt kein optimales Haus. Nur Nichtbauen ist letztendlich umweltverträglich (vergleiche auch Kohler et al. 1994).

Sieht man davon einmal ab, so liegt die Forderung nach einem möglichst guten Energiestandard auf der Hand. Dies kann prinzipiell mittels einer entsprechenden Wärmedämmung bzw. einer entsprechenden Haustechnik erreicht werden. Die Ergebnisse des Fallbeispiels haben allerdings gezeigt, dass die Auswirkungen des Stromverbrauchs von Haustechnikanlagen in die Überlegungen mit einbezogen werden sollten. Sie können den Effekt der Energieeinsparung u.U. wieder zunichte machen.

Das Fallbeispiel hat gezeigt, dass sich abgesehen vom Energiestandard die Frage nach einer ökologischen Bauweise nicht auf eine einfache Materialfrage verengen lässt. Die für die Konstruktion verantwortlichen Elemente hatten letztendlich relativ wenig Einfluss auf das Ergebnis der vergleichenden Bewertung. Ob also mit Kalksandstein oder Bimsbeton gebaut wurde, war für das Ergebnis weniger wichtig als die Dimensionierung der einzelnen Elemente.

Dieses Ergebnis sollte auch als Chance gesehen werden. Planende sind nicht in ihrer Materialwahl eingeschränkt sondern letztlich herausgefordert, eine optimale Kombination von Materialien in einer optimalen Gebäudekonzeption zu verwenden.

7.3 Schlussfolgerungen

Ausgehend von den Ergebnissen des Fallbeispiels können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Allgemein kann angemerkt werden, dass die Interpretation der Gebäudebilanzdaten relativ komplex ist. Durch das Auftreten sich überlappender Effekte bedingt durch die Qualität und solchen bedingt durch die Quantität eines Bauelements bedarf es einer sehr sorgfältigen Analyse der ermittelten Daten durch die AnwenderInnen. Aus diesem Grund sollte versucht werden, die Datenmenge übersichtlich zu halten, indem nur eine beschränkte Anzahl von Kriterien in die Berechnung einbezogen wird. Die Auswahl der einbezogenen Kriterien sollte kritisch überprüft und wissenschaftlich begründet werden.

Bezogen auf die untersuchten Gebäude konnte gezeigt werden, dass auch bei Niedrigenergiehäusern mit einem entsprechend geringen Heizwärmebedarf bei der Wahl des Heizungssystems auf eine möglichst große Umweltverträglichkeit geachtet werden muss. Elektroöfen beispielsweise sind dafür nicht geeignet. Hingegen erwies sich, dass der Einbau von Lüftungsanlagen, Wärmepumpen etc. zu einem

Stromverbrauch führen kann, der ihren Vorteil der Energieeinsparungen nicht wieder wettmacht. Die Umweltauswirkungen der Strombereitstellung sind aufgrund des schlechteren Wirkungsgrades für die meisten Wirkungskriterien pro Megajoule wesentlich höher als für die Bereitstellung von Heizwärme durch direkte Verbrennung von Energieträgern (z.B. Erdgas).

Der *Primärenergiebedarf nicht erneuerbar* entsteht zu ca. 80 Prozent während der Nutzungsphase. Der Anteil der anderen - konstruktiven - Phasen beträgt dementsprechend nur ca. 20 Prozent. Es besteht also nur ein relativ geringes materialbezogenes Optimierungspotenzial. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, den *Primärenergiebedarf nicht erneuerbar* nicht als Kriterium für die Auswahl der Baustoffe und Bauelemente zu verwenden. Es erscheint wesentlich sinnvoller statt dessen beispielsweise die Kriterien *Schwermetalle* oder *Sommersmog* einzusetzen, die eine relativ hohe Belastung während Neubau, Erneuerung und Entsorgung verursachen. Es besteht ein wesentlich höheres Optimierungspotenzial.

Je weniger Wirkungskriterien in eine Ökobilanz einbezogen werden, desto transparenter und verständlicher sind ihre Ergebnisse. Aufgrund der Resultate des Fallbeispiels wird deshalb vorgeschlagen, bei der Durchführung von Gebäudeökobilanzen auf die Berücksichtigung der Kriterien Ozonabbaupotenzial und Überdüngungspotenzial zu verzichten, da sie sich im Kontext der europäischen Gesamtbelastung als marginal erwiesen haben. Allerdings sollte im Vorfeld überprüft werden, ob die jeweiligen Untersuchungsobjekte aufgrund ihrer Eigenschaften grundlegende Unterschiede zum Fallbeispiel aufweisen, die sich auf diese beiden Kriterien auswirken könnten.

Aufgrund der Resultate des Fallbeispiels wird weiterhin vorgeschlagen, in der Praxis die Verminderung von Schwermetallbelastungen stärker in den Vordergrund zu stellen.

Die Auswahl von Elementen mit einer besonders kurzen Lebensdauer, wie z.B. Teppichböden, sollte besonders sorgfältig erfolgen. Die ursprünglichen Belastungen während des Neubaus vervielfachen sich über die gesamte Lebensdauer und können so zu einer erheblichen Gesamtbelastung führen.

Die Analyse der zeitlichen Verläufe der Belastungen hat gezeigt, dass der betrachtete Zeitraum einer Gebäudeökobilanz je nach betrachtetem Kriterium auf 40 bis 60 Jahre verkürzt werden kann, ohne das Endergebnis zu beeinträchtigen. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, Bilanzierungen nicht mehr für einen Zeitraum von 80 bis 100 Jahren zu erstellen, wie das bisher übliche Praxis ist, sondern sich tatsächlich auf 40 bis 60 Jahre zu beschränken. Die Entsorgung des Gebäudes am Ende seiner Lebensdauer ist damit auch aus der Berechnung ausgeschlossen. Da es nicht möglich ist, zuverlässige Prognosen für Entsorgungsprozesse zu erstellen, die in 80 bis 100 Jahren stattfinden, erscheint das Abschneiden vor der Entsorgung als pragmatisches aber sinnvolles Vorgehen.

Die Sensitivitätsanalyse zum Einfluss der Lebensdauern der Bauelemente auf das Gesamtergebnis hat gezeigt, dass bei einer Variation der Lebensdauern das relative Abschneiden der Varianten zueinander nicht beeinflusst wird, wenn Elemente gleicher Lebensdauerklassen verwendet werden. Hingegen ergibt ein Vergleich der Varianten auf der Basis unterschiedlicher Lebensdauerklassen unsinnige und willkürlich steuerbare Ergebnisse. Es zeigte sich je nach Kriterium ein unterschiedlich großer Effekt auf die jeweiligen absoluten Gesamtergebnisse. Der größte Effekt trat beim Kriterium Schwermetalle auf. Die Verwendung besonders langlebiger Bauelemente zeigte insgesamt klare Vorteile.

Die Sensitivitätsanalyse zum Einfluss der Spannweite möglichen Nutzerverhaltens auf das Gesamtergebnis der Gebäudeökobilanzen machte deutlich, dass je nach Kriterium tatsächlich große Effekte auftreten, am auffälligsten beim Primärenergiebedarf nicht erneuerbar. Es erscheint aber dennoch nicht sinnvoll diese Spannweite routinemäßig in eine Gebäudeökobilanz aufzunehmen. Dazu ist die dadurch zusätzlich bereitgestellte Information zu gering bzw. die damit verursachte Komplexität des Ergebnisses zu groß. Die Sensitivitätsanalyse zum Einfluss eines maximalen Recyclings von 100 Prozent, was in diesen Berechnungen einem Wegfall sämtlicher Entsorgungsprozesse gleichkommt, auf das Gesamtergebnis lässt nur einen relativ kleinen Entlastungseffekt erkennen. Die damit einhergehende Schonung von Primärressourcen wurde nicht bewertet. Als bedeutender erweist sich hier ein minimaler Verschnitt (Annahme 0 Prozent), da dadurch sowohl die Herstellung als auch die Entsorgung der entsprechenden Menge Baustoff entfällt.

Die Analyse zeigte außerdem, dass die aktuell verwendete Methode noch Lücken bezüglich zweier Problemkreise aufweist: Abfälle und Ressourcen:

- Die Abfälle werden einerseits als Abfallvolumina erfasst und gesondert ausgewiesen. Allerdings erfolgt die Zuordnung der Entsorgungsart momentan einzig aufgrund der Eigenschaft des einzelnen Baustoffes. Damit werden Effekte, wie die Verschmutzung einzelner Komponenten, die zu einem anderen Entsorgungsweg führen können, nicht berücksichtigt. Nicht adäquat erfasst werden momentan auch die Baustellenabfälle. Dies betrifft insbesondere die Abfallkategorie Sonderabfälle. Auf der anderen Seite werden die mit der Entsorgung verbundenen Emissionen in der Bilanz berücksichtigt, jedoch ohne dass klar die Quelle Entsorgungsprozess erkennbar wäre. Die Daten zur Lebenswegphase Erneuerung umfassen sowohl die Herstellung der erneuerten Elemente als auch die Entsorgung der ersetzten. Zudem weist die Datengrundlage noch erhebliche Mängel in Bezug auf die Differenzierung auf.

Momentan werden nur energetische Ressourcen erfasst und bewertet. Für den Baubereich sind aber insbesondere auch die metallischen und nicht metallischen

mineralischen Rohstoffe von großer Bedeutung und sollten in eine Bilanz einbezogen werden.

Die Gegenüberstellung der jährlichen Belastungen aus den untersuchten Gebäuden mit der Belastung aus der durchschnittlichen pro Person und Jahr mit dem PKW zurückgelegten Wegstrecke in Deutschland zeigt deutlich, dass die mobilitätsbedingte Belastung für die meisten Kriterien in der gleichen Größenordnung liegt wie die gebäudebedingte. Damit bestätigen die ermittelten Daten, dass der Verkehrsaspekt bei Planungsprozessen mit einbezogen werden sollte.

8. Literatur

- Ahbe, S., A. Braunschweig, et al. (1990). Methodik für Ökobilanzen auf der Basis ökologischer Optimierung. Schriftenreihe Umwelt. Bern, Schweiz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). 133: 39 Seiten.
- Albrecht, R. (1990). Kriterien der Umweltverträglichkeit von Baustoffen. In: Umweltgerechte Baustoffe, UBA-Texte 14/90. Umweltbundesamt. Berlin: S. 5-28.
- Amini, S. (1996). Die Nachhaltigkeit der Nachhaltigkeit. Hintergrund und Analyse eines Schlagwortes. In: Nachhaltige Ressourcennutzung. P. Wolff. Witzenhausen, Selbstverlag des Verbandes der Tropenlandwirte: S. 7-30.
- Amt für Bundesbauten und Schweizerische Bankgesellschaft (1996). Umweltmanagement von Hochbauprojekten. Bern und Zürich, Schweiz.
- Ankele, K. und M. Steinfelt (1996). Ökobilanz für typische YTONG-Produktanwendungen. Berlin, Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung GmbH.
- Anonym (1996). "Grünes Licht für Ökologie + Bautechnik." ökoplus Informationen zu Ökologie und Bautechnik (1/96): S.6-8.
- Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. (o.J.). Umweltverträglichkeit von Bauprodukten - Zielsetzung, Aufgaben, Tätigkeiten und Ergebnisse der Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. München.
- Baccini, P. und H.-P. Bader (1996). Regionaler Stoffhaushalt - Erfassung, Bewertung und Steuerung. Heidelberg Berlin Oxford, Spektrum Akademischer Verlag.
- Beckmann, K. J. (1997). Politik einer nachhaltigen Stadtentwicklung als Rahmen nachhaltigen Bauens. In: Nachhaltige Baupolitik zwischen Ökonomie und Ökologie, Bonn - Bad Godesberg, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. S. 27-43.
- Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (Hrsg.) (1993). GISBAU - Gefahrstoffinformationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft.
- Blenkers, P., J. Coenen, et al. (1993). Rationelle Energieverwendung im Wohnungsbau. Köln, TÜV Rheinland Verlag.
- Braunschweig, A., R. Förster, et al. (1994). Evaluation und Weiterentwicklung von Bewertungsmethoden für Ökobilanzen - Erste Ergebnisse. Schweiz, Institut für Wirtschaft und Ökologie an der Hochschule St. Gallen.
- Braunschweig, A., R. Förster, et al. (1996). Developments in LCA Valuation. Schweiz, Institut für Wirtschaft und Ökologie an der Hochschule St. Gallen.
- Braunschweig, A. und R. Müller-Wenk (1993). Ökobilanzen für Unternehmungen. Bern.
- Buchert, M. (1996). Stoffstromanalyse des Baubereichs. In: Ökobilanzen und Produktlinienanalyse. U. Eberle und R. Grießhammer. Freiburg im Breisgau, Öko-Institut Verlag: S. 44-56.
- Büeler, B. (1998). Die BauBioDataBank. Ein umfassendes Instrument zur baubiologischen und bauökologischen Beurteilung von international angewandten Materialien und Bauprodukten. In: 10. Schweizerisches Status-Seminar 1998. Energieforschung im Hochbau, Zürich, Koordinationsstelle für Wärmeforschung im Hochbau (KHW), EMPA Dübendorf.
- Bundesamt für Konjunkturfragen (1994). Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten - Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Bern, Schweiz, Bundesamt für Konjunkturfragen.

- Bundesamt für Statistik (Hrsg) (1995). Verkehrsverhalten in der Schweiz. Mikrozensus Verkehr 1994. Bern, Bundesamt für Statistik in Zusammenarbeit mit dem Dienst für Gesamtverkehrsfragen.
- Bundesminister für Umwelt Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1992). Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag Fünfter Immissionsschutzbericht der Bundesregierung. Bonn, Bundesumweltministerium.
- Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.) (1983). Praxisinformation Energieeinsparung - Eine Handlungsanweisung für Architekten. Bonn, Bundesarchitektenkammer.
- Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.) (1994). Verbesserter Wärmeschutz als Gemeinschaftsaufgabe - mit der neuen Wärmeschutzverordnung und der neuen Heizungsanlagen-Verordnung. Bonn.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg) (1995). Bericht der Bundesregierung zur Umsetzung des Übereinkommens über die Biologische Vielfalt in der Bundesrepublik Deutschland. Bonn.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1994). Umweltpolitik - Klimaschutz in Deutschland Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen. Bonn. Bundesumweltministerium.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg) (1994). Umweltpolitik . Beschluß der Bundesregierung vom 29. September 1994 zur Verminderung der CO₂-Emissionen und anderer Treibhausgasemissionen in der Bundesrepublik Deutschland. Bonn. Bundesumweltministerium.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1992). Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro - Dokumente - Agenda 21, Köllen Druck + Verlag GmbH, Bonn.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (1994). Klimaschutz in Deutschland. Erster Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaveränderungen. Bonn, Bundesumweltministerium.
- Bunke, D., U. Eberle, et al. (1995). Umweltziele statt Last Minute-Umweltschutz - Nationale und internationale stoffbezogene Zielvorgaben. Freiburg, Öko-Institut e.V.
- BUWAL (1992). Vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen im Baubereich. Band 1: Methode. Bern. BUWAL.
- BUWAL (1995). Vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen im Baubereich. Band 2: Daten. Bern. BUWAL.
- Buxmann, K., M. Chudacoff, et al. (1998). Ökobilanz-Allokationsmethoden - Modelle aus der Kosten- und Produktionstheorie sowie praktische Probleme in der Abfallwirtschaft. Vorbereitende Unterlagen zum 7. Diskussionsforum Ökobilanzen vom 24. Juni 1998 an der ETH Zürich.
- CRB (1991). Kostenplanung - Kostenüberwachung mit der Elementmethode, am Beispiel Hochbau. Zürich, Schweiz, Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung.
- Deilmann, C. und K. Gruhler (1996). Streubreite nutzerabhängiger Raumwärmeverbräuche am Beispiel sanierter Geschoßwohnungen der 50er Jahre. 1996 International Symposium of CIB (Conseil International du Bâtiment) W 67 Energy and Mass Flow in the Life Cycle of Buildings, Wien, Österreich, TU Wien.

- Der Rat der Europäischen Gemeinschaften (1985). Richtlinie des Rates vom 27. Juni 1985 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten. Brüssel.
- Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (1995). Produkthanforderungen Zeichenanwender und Produkte. Sankt Augustin.
- Dierkes, M. (1985). Gesellschaft, Technik - Auf dem Wege zu einem neuen gesellschaftlichen Umgang mit der Technik. In: Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft - Wege zu einem neuen Grundverständnis. Wildemann. Stuttgart.
- DIN (1994). "Grundsätze produktbezogener Ökobilanzen "German memorandum of Understanding" / "Conceptual Framework" (Stand Oktober 1993)." DIN-Mitteilungen + elektronorm 73(3): S. 208-212.
- Dinkel, F., S. Feucht, et al. (1993). Ökologische Bewertung von Wärmedämmsystemen. Basel, Carbotech AG, im Auftrag der Sarnafil AG.
- Eaton, K. J. (1998). Using life cycle assessment as a tool for quantifying green buildings. 6th LCA Case Studies Symposium SETAC-Europe, Brüssel, SETAC-Europe.
- Energie 2000 (1998). Rating e-top. Nachhaltiges Bauen. Zug, Schweiz, Bundesamt für Energie.
- Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.), (1997). Konzept Nachhaltigkeit. Fundamente für die Gesellschaft von morgen. Zwischenbericht. Bonn, Economica Verlag.
- Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.), Ed. (1993). Verantwortung für die Zukunft - Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn, Economica Verlag.
- Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" (Hrsg.), Ed. (1994). Die Industriegesellschaft gestalten - Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn, Economica Verlag.
- Erhorn, H. und J. Reiß (1994). "Niedrigenergiehäuser Heidenheim Hauskonzepte und erste Meßergebnisse." Gesundheits Ingenieur Haustechnik Bauphysik Umwelttechnik 115(1): S. 1-60.
- European Commission Directorate General XII: Science Research and Development (publisher) (1995). ExternE - Externalities of Energy. Luxembourg.
- Eyerer, P. H., Ed. (1996). Ganzheitliche Bilanzierung - Werkzeug zum Planen und Wirtschaften in Kreisläufen. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
- Fachinformationszentrum Karlsruhe (1993). "Niedrigenergiehäuser Heidenheim - Hauskonzepte und erste Meßergebnisse -." BINE Projekt Info-Service(9/93).
- Falk, H. (1995). Energie, Schadstoff-Emissionen und Bau- und Betriebskosten von Wohnhäusern bei Variation von Energiesparmaßnahmen. Fachgebiet für Energie- und Kraftwerkstechnik der Technischen Hochschule Darmstadt in Zusammenarbeit mit dem Öko-Institut e.V. Darmstadt, Diplomarbeit. Technische Hochschule Darmstadt: 111 S.
- Feist, W. (1986). Primärenergie- und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen. Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Feist, W., R. Borsch-Laaks, et al. (1997). Das Niedrigenergiehaus - Neuer Standard für energiebewußtes Bauen. Heidelberg, C.F. Müller Verlag.
- Finnveden, G. (1997). "Valuation methods within LCA - Where are the values?" International Journal of LCA 2(3): S. 163-169.
- Friedli, R. (1998). OGIP - Ein Bau-Planer-Werkzeug zur Beurteilung der Ressourcen Kosten/Energie/Umwelt. In: 10. Schweizerisches Status-Seminar 1998. Energieforschung im Hochbau, Zürich, Koordinationsstelle für Wärmeforschung im Hochbau (KHW), EMPA Dübendorf.
- Friedrich, R., U. Kallenbach, et al. (1990). Externe Kosten der Stromerzeugung, VVEW Verlag.

- Friege, H. (1997). Management von Stoffströmen im Bereich Bauen und Wohnen: Beratungen in der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt". Nachhaltige Baupolitik zwischen Ökonomie und Ökologie, Bonn-Bad Godesberg, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- Frischknecht, R., P. Hofstetter, et al. (1995). Ökoinventare für Energiesysteme. Zürich, ETH Zürich. Bundesamt für Energiewirtschaft.
- Frischknecht, R., P. Hofstetter, et al. (1997). Ökoinventare für Energiesysteme. Zürich, ETH Zürich. Bundesamt für Energiewirtschaft.
- Fritsche, U. et al. (1994). Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 2.1: Aktualisierter und erweiterter Endbericht. Wiesbaden, Öko-Institut e.V. Büro Darmstadt. Hessisches Ministerium für Um welt, Energie und Bundesangelegenheiten.
- Geißler, Justen, et al. (1992). Umweltbewußte Bauteil- und Baustoffauswahl. Aachen, Katalyse, Institut für angewandte Umweltforschung, Köln. Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung.
- Giegrich, J. (1991). Ansätze zur Bewertung von Konzepten und Maßnahmen in der Abfallwirtschaft. Heidelberg. Büro für Technikfolgeabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB).
- Giegrich, J. et al. (1995). Bilanzbewertung in produktbezogenen Ökobilanzen - Evaluation von Bewertungsmethoden - Perspektiven. Methodik der produktbezogenen Ökobilanzen - Wirkungsbilanz und Bewertung. Berlin, Umweltbundesamt. Texte 23/95.
- Goedkoop, M. J. (1998). The Eco-Indicator`98 concept. 6. Diskussionsforum Ökobilanzen vom 12. März 98. Ökobilanz-Bewertungsmethoden - State-of-the-art, Neuentwicklungen 1998, Perspektiven, Zürich, ETH Zürich, Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften.
- Goedkoop, M. J. (1995). The Eco-indicator 95, Final report (in English). Amersfoort (NL), PRé Consultants.
- Grießhammer, R. (1993). Produktlinienanalysen und Ökobilanzen aus umweltpolitischer und betrieblicher Sicht. 2. Freiburger Kongreß "Produktlinienanalysen und Ökobilanzen", Freiburg im Breisgau, Öko-Institut e.V.
- Grießhammer, R. und M. Buchert (1996). Nachhaltige Entwicklung und Stoffstrommanagement am Beispiel Bau. Freiburg und Darmstadt, Öko-Institut e.V.
- Grießhammer, R., D. Bunke, et al. (1994). Stoffstrommanagement und Instrumente - Monitoring-Bericht zum Studienprogramm der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt". Freiburg/Essen, Öko-Institut e.V. Freiburg und RWI Essen.
- Gruber, E., H. Erhorn, et al. (1989). Chancen und Risiken der Solararchitektur: Solarhäuser Landstuhl. Köln, TÜV Rheinland Verlag.
- Gruber, E. und T. Meyer (1983). Energiesparende Innovationen im Eigenheim. Köln, TÜV Rheinland Verlag.
- Haas, I., I. Pfafferott, et al. (1991). Verkehrsteilnehmer und Verkehrsteilnehmerinnen im vereinten Deutschland. Bergisch-Gladbach, Bundesanstalt für Straßenwesen. Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Habersatter, K. (1991). Ökobilanz von Packstoffen. Bern, Schweiz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Hässig, W., O. Berchtold, et al. (1995). Erfolgskontrolle am Öko-Bürohaus "Tenum". Schluß-bericht. Zürich, Im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft.

- Hassler, U. (1997). Strategien für eine nachhaltige Entwicklung im Gebäudebestand. In: Nachhaltige Baupolitik zwischen Ökonomie und Ökologie, Bonn-Bad Godesberg, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- Hauff, V. (1987). Unsere Gemeinsame Zukunft - Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven, Eggenkamp Verlag.
- Heijungs, R. et al. (1992). Environmental life cycle assessment of products, Guide and Backgrounds. Leiden, CML.
- Hessisches Ministerium für Umwelt Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.) (1994). Das Energiesparhaus der Zukunft - Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Wiesbaden, Institut für Wohnen und Umwelt. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.).
- Hirsch, G., P. Hofstetter, et al. (1997). Schutzgüter und ihre Abwägung aus der Sicht verschiedener Disziplinen. Vorbereitende Unterlagen zum 5. Diskussionsforum Ökobilanzen vom 17. Oktober 1997 an der ETH Zürich.
- Hohmeyer, O. (1988). Soziale Kosten des Energieverbrauches. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag.
- Holley, W. (1995). Ökobilanzen für Produkte: Methodische Fortschritte und Auswertungsgesichtspunkte. UTECH Berlin`95 - Seminar Produktökobilanzen III, Berlin.
- Hoppenstedt, A. (1990). Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) von Straßenbauprojekten auf den verschiedenen Planungsstufen. Inhalte und Umsetzung der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP), Dachau.
- Humm, O. (1991). Niedrigenergiehäuser - Theorie und Praxis. Staufen bei Freiburg, ökobuch Verlag.
- INFRAS AG (1997). Aspekte der Nachhaltigkeit im Wohnungswesen - Entwurf Schlußbericht. Zürich, INFRAS AG. INFRAS AG.
- IPCC (1994). IPCC Supplement. 1995, IPCC. World Meteorological Organization.
- Klinge, M. und N. Kohler (1996). Berechnung von Energiebedarf, Baukosten und Umweltbelastung in frühen Projektphasen. 1996 International Symposium of CIB W67 - Energy and Mass Flow in the Life Cycle of Buildings, Wien, CIB.
- Klöpffer, W. und I. Renner (1995). Methodik der Wirkungsbilanz im Rahmen von Produkt-Ökobilanzen unter Berücksichtigung nicht oder nur schwer quantifizierbarer Umwelt-Kategorien. Methodik produktbezogener Ökobilanzen - Wirkungsbilanz und Bewertung. Umweltbundesamt. Berlin, Umweltbundesamt. Texte 23/95.
- Koch, P., W. Ott, et al. (1998). Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich. Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- Kohler, N. (1996). ECOPRO-Manual Hinweise zur Benutzung des ECOPRO-Prototypen. Karlsruhe, Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe. Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe.
- Kohler, N. et al. (1994). Energie- und Stoffflußbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebens-dauer. Bern, Bundesamt für Energiewirtschaft.
- Kohler, N. und M. Klinge (1995). "Ökobilanzierung im Bauwesen." Bundesbaublatt(8): S. 605-610.
- Kohler, N. und M. Klinge (1996). Simulation von Energie- und Stoffflüssen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer, Wien, Technische Universität Wien.
- Kohler, N., M. Klinge, et al. (1996). KOBEC - Methode zur kombinierten Berechnung von Energiebedarf, Umweltbelastung und Baukosten in frühen Planungsphasen. Karlsruhe, Institut für Industrielle Bauproduktion.

- Kohler, N., M. Klingele, et al. (1997). Simulation of energy and massflows of buildings during their life cycle. Buildings and the environment. Proceedings of the second international conference, Paris, CIB.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (1992). Für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung - Fünftes Umweltprogramm der EG. Brüssel.
- Konferenz der Bauorgane des Bundes KBOB (1997). erfa info. Anstrichstoffe 2: Gruppeneinteilung mit Bewertung. Bern, Konferenz der Bauorgane des Bundes KBOB.
- Kortman, J. G. M. et al. (1994). Towards a single indicator for emissions - an exercise in aggregating environmental effects. Amsterdam.
- Kreißig, J. (1993). Ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden - Projektskizze. Stuttgart, Lehrstuhl für Werkstoffkunde der Metalle und Kunststoffe - Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP).
- Kreißig, J. (1998). Ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden. Abschlußprojekttag Ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden am 14. Mai 1998, Stuttgart, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde Institut für Werkstoffe im Bauwesen.
- Kreißig, J. et. al. (1998). Ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden. Stuttgart, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Produkt Engineering GmbH.
- Künninger, T. und K. Richter (1998). Ökologische Bewertung von Eisenbahnschwellen in der Schweiz. Dübendorf. EMPA.
- Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment (1998). EPIQR - Diagnose von Wohnbauten. Präsentation des Programms EPIQR am 18. Juni 1998, ETH Zürich.
- Larcher (1984). Ökologie der Pflanzen. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.
- Leimböck, R. (1997). Ökobilanz für ein Haus aus Hebel Porenbeton. Produktbezogene Ökobilanzen V. 50. Seminar im Rahmen der UTECH '97, Berlin, FGU.
- Lindfors, L.-G., K. Christiansen, et al. (1995). Nordic Guidelines on Life Cycle Assessment. Copenhagen, Nordic Council of Ministers.
- Loske, R. und R. Bleischwitz (1996). Zukunftsfähiges Deutschland - Ein Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung. Herausgegeben von BUND und Misereor. Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag.
- Marmé, W. und J. Seeberger (1982a). "Der Primärenergieinhalt von Baustoffen." Bauphysik 4(5): 155-160.
- Marmé, W. und J. Seeberger (1982b). "Der Primärenergieinhalt von Baustoffen - Fortsetzung aus Heft 5." Bauphysik 4(6): 208-214.
- Mauch, U. und A. Scheidegger (1996). Nachhaltigkeit des Bauens in der Schweiz - ein Diskussionsbeitrag. Zürich, INFRAS AG. Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, et al. (1972). The Limits of Growth. New York, Universe Books.
- Merten, T., C. Liedtke, et al. (1995). Materialintensitätsanalysen von Grund- Werk- und Baustoffen (1). Die Werkstoffe Beton und Stahl. Wuppertal, Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie. Wuppertal Institut.
- Meyer, J. (1997). Die zukunftsfähige Stadt. nachhaltige Entwicklung in Stadt und Land. Düsseldorf, Werner Verlag.
- Meyer, P., M. Büchler, et al. (1994). Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten. Bern, Bundesamt für Konjunkturfragen.
- Müller-Wenk, R. (1998). Depletion of abiotic Resources weighted on the basis of "virtual" impacts of lower grade deposits used in future. St. Gallen, IWÖ.

- N.N. (1996). "Schlußlicht Deutschland." Aachener Nachrichten 10.05.1996.
- N.N. (1999). "Das Meßinstrument für Ökologiebewußte." Bilanz -Beilage Ökobau (Februar 1999): S. 12-13.
- Neitzel, H., U. Landmann, et al. (1994). Das Umweltverhalten der Verbraucher - Daten und Tendenzen. Berlin, Umweltbundesamt. Umweltbundesamt.
- Nentwig, W. (1995). Humanökologie Fakten - Argumente - Ausblicke. Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag.
- öko+ Fachhandelsverband für Ökologie + Bautechnik GbR mbH (1996). Die Welt des ökologischen Bauen und Wohnens - Selbstdarstellung. Karlsruhe.
- Ospelt, C. (1995). Ökobilanz von Gebäuden: Methodik und Anwendung - Unter besonderer Betrachtung von Rohbau und Heizungsanlage. Laboratoire d'Énergie Solaire et Physique du Bâtiment. Lausanne, Schweiz, École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Diplomarbeit. 63 S.
- Pappi, I. und H.-D. Stürmer (1992). Umweltverträglichkeit von Baustoffen. Berlin, Stiftung Verbraucherinstitut.
- Paulini, I. (1996). Arbeiten des Umweltbundesamtes zur Methodik der Wirkungsabschätzung. In: Produktbezogene Ökobilanzen IV, Berlin.
- Peuportier, B. (1998). Illustration of possible applications of life cycle simulation in the building sector by three case studies. 6th LCA Case Studies Symposium SETAC-Europe, Brüssel, SETAC-Europe.
- Polster, B. (1995). Contribution a l'étude de l'impact environmental des bâtiments par analyse du cycle de vie. Centre d'énergétique. Paris, Frankreich, École des Mines: 268 S.
- Potting, J. and K. Blok (1994). Spatial aspects of life cycle impact assessment. Integrating impact assessment into LCA, Brüssel, SETAC - Europe.
- Powell, J. C., D. W. Pearce, et al. (1997). "Approaches to valuation in LCA Impact assessment." International Journal of LCA 2(1): S. 11-15.
- Pujol, J.-L. and M. Boidot Forget (1994). Reasonable use of site-specific information in LCA - Examples based on nitrification. In: Integrating impact assessment into LCA, Brüssel, SETAC-Europe.
- Quack, D. (1997). "Komplexe Zusammenhänge. Ökobilanzen von Gebäuden liefern wichtige Informationen für die Bauplanung." Müllmagazin 10(2): S. 11-14.
- Reiß, J. und H. Erhorn (1994). Niedrigenergiehäuser Heidenheim - Abschlußbericht. Stuttgart, Fraunhofer Institut für Bauphysik.
- Richter, K. (1996). "Vergleichende Ökobilanz für Fenster." Bundesbaublatt (3): 220-223.
- Richter, K. und J. Sell (1992). Ökobilanzen von Baustoffen und Bauprodukten aus Holz - Zusammenfassung erster Erkenntnisse. Dübendorf, EMPA, Abteilung 115, Holz. EMPA.
- Roodman, D. M. und N. Lenssen (1995). A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are transforming Construction. Washington D.C., U.S.A., Worldwatch Institute.
- Ross, F. W., R. Brachmann, et al. (1989). Ermittlung des Bauwertes von Gebäuden und des Verkehrswertes von Grundstücken. Hannover, Theodor Oppermann Verlag.
- Saur, K. und P. Eyerer (1996). Bewertung zur Ganzheitlichen Bilanzierung. In: Ganzheitliche Bilanzierung - Werkzeug zum Planen und Wirtschaften in Kreisläufen. P. H. Eyerer. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag: S210-266.
- Schmidt-Bleek, F. (1994). Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS - Das Maß für ökologisches Wirtschaften. Basel Boston Berlin, Birkhäuser Verlag.
- Scholz, R. W., S. Bösch, et al., Eds. (1996a). Fallstudie '95. Industriereal Sulzer-Escher Wyss. Umwelt und Bauen: Wertschöpfung durch Umnutzung. Zürich, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

- Scholz, R. W., H. Mieg, A., et al. (1996b). Sozio-psychologische Determinanten nachhaltigen Handelns. Nachhaltige Stadtentwicklung. Ein Evaluations- und Entwicklungsbericht in der Stadt Zürich., Zürich, ETH Wohnforum.
- Schwed, E. und H. Löfflad (1995). "Orientierungshilfe für Architekten: Deklarationsraster für die ökologische Bewertung von Baustoffen." Deutsches Architekten Blatt (10): S. 1915-1917.
- SETAC (1993). Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice". Brüssel, Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- SIA (1992). Deklarationsraster für ökologische Merkmale von Baustoffen - Interpretationshilfe für Anwender. Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- SIA (1995). Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten. Dokumentation D0123. Zürich, Schweiz, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- SIA (1996). SIA-Preis 1996 Auszeichnung für nachhaltiges Bauen. Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- SIA (1997). Deklaration ökologischer Merkmale von Bauprodukten. Zürich. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- SIA (1997). Deklaration ökologischer Merkmale von Bauprodukten nach SIA 493 - Erläuterung und Interpretation. Zürich. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- SIA (1999). Kriterien für nachhaltiges Bauen. Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- Steen, B. und S.-O. Ryding (1992). The EPS enviro-accounting method. An application of environmental accounting principles for evaluation and valuation of environmental impact in product design. Gothenburg, IVL. IVL.
- Strubelt, O. (1996). Gifte in Natur und Umwelt. Pestizide und Schwermetalle, Arzneimittel und Drogen. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag.
- Sutter, H.-P. et al. (1992). Vergleichende Ökologische Bewertung von Anstrichstoffen im Baubereich - Band 1: Methode. Band 2: Daten. Bern, Schweiz, ökoscience AG, Zürich. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Tomm, A. (1992). Ökologisch planen und bauen. Braunschweig Wiesbaden, Vieweg.
- Töpfer, K. (1997). Schlußwort. Nachhaltige Baupolitik zwischen Ökonomie und Ökologie. In: Nachhaltige Baupolitik zwischen Ökonomie und Ökologie, Bonn-Bad Godesberg, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- Troßbach, W. (1996). Gelichtete Wälder, verstümmelte Eichen. Bäuerliche Waldnutzungen und das Projekt der Waldabschließung und "Nachhaltigkeit" im 18. Jahrhundert. In: Nachhaltige Ressourcennutzung. P. Wolff. Witzhausen, Selbstverlag des Verbandes der Tropenlandwirte: S. 51-72.
- Udo de Haes, H. A., A. A. Jensen, et al. (1994). Integrating impact assessment into LCA. Brüssel, Society of Environmental Toxicology and Chemistry - Europe. SETAC.
- Umweltbundesamt (Hrsg) (1994). Umweltbewußt Leben - Handbuch für den umweltbewußten Haushalt, Umweltbundesamt.
- Universität Karlsruhe (TH), Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, et al. (1995). Baustoffdaten - Ökoinventare. Karlsruhe/Weimar/Zürich, Institut für Industrielle Bauproduktion; Lehrstuhl Bauklimatik und Bauökologie; Institut für Energietechnik.
- Verband der Chemischen Industrie, Ed. (1993). Umwelt und Chemie von A-Z. Freiburg, Verlag Herder.
- Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (1995). Entwurf zur VDI-Richtlinie 4600 "Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden". Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure.

- Volkwein, S., R. Gühr, et al. (1996). "The valuation step within LCA Part II: A formalized method of prioritization by expert panels." *International Journal of LCA* 1(4): S. 182-192.
- von Carlowitz, H. (1713). *Sylvicultura oeconomica oder Haußwirthliche Nachrichten und Naturgemäße Anweisung zur Wilden Baum-Zucht*. Freiberg.
- Wagner, S. (1996). *Ökologie und Ökonomie mit Hebel Porenbeton - Ökobilanz für das Hebel Haus "Terra 108"*. Fürstfeldbruck, Im Auftrag der Hebel AG.
- Weibel, T. und A. Stritz (1995). *Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien*. Zürich, Schweiz, Institut für Energietechnik der ETHZ. Gruppe Stoffe und Umwelt.
- Zapke, W. und D. Gerken (1993). *Der Primärenergieinhalt der Baukonstruktionen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der wesentlichen Baustoffeigenschaften und der Herstellungskosten*. Bauteilkatalog. Hannover, Institut für Bauforschung e.V.

9. Anhang

Anhang 1: Elementdaten

In den folgenden Tabellen werden die im Fallbeispiel verwendeten Elemente vorgestellt. In der Tabelle A1.96 des Anhangs 1 befinden sich außerdem die Daten für Heizenergie- und Strombereitstellung.

Beinhaltet ist dabei der Elementindex, eine Elementbeschreibung, die Einheit, die Lebensdauer des Gesamtelementes und etwaiger Teilelemente in den Varianten kurze, mittlere und lange Lebensdauer, sowie die Wirkungsbilanzdaten der einzelnen Lebenswegphasen.

Tabellenverzeichnis:

Tabelle A1.1 Elementliste aller verwendeten Elemente	221
Tabelle A1.2 Übersicht über den Anteil der Bewehrung (Betonstahlmatte) in den betroffenen Elementen.	225
Tabelle A1.3 Dachdeckung aller Hausvarianten	251
Tabelle A1.3 Fenster	251
Tabelle A1.4 Zusammensetzung der Elemente der Installation.....	252
Tabelle A1.1 Für die Erstellung der Elemente verwendete Baustoffmodule. Die Baustoffe Gasbeton, Ziegel und Porenton-Mauerblock werden entsprechend der in den Elementen angegebenen Dichten umgerechnet eingesetzt.....	253
Tabelle A1.2 Werte für Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEB n.e.), Primärenergiebedarf erneuerbar (PEB e.) und Treibhauseffekt, Zeithorizont 100 Jahre, (GWP 100) aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m ² , m ³ etc.) findet sich in Tabelle A1.1. Als Lebensdauer wird die in Tabelle A1.1 genannte, mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.	254
Tabelle A1.3 Werte für Ozonabbaupotenzial, Versauerungspotenzial und Überdüngungspotenzial aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m ² , m ³ etc.) findet sich in Tabelle A1.1. Als Lebensdauer wird die in Tabelle A1.1 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.....	257
Tabelle A1.4 Werte für Sommersmog und Wintersmog und Karzinogene Substanzen aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m ² , m ³ etc.) findet sich in Tabelle A1.1. Als Lebensdauer wird die in Tabelle A1.1 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.	260
Tabelle A1.5 Werte für Schwermetalle, Ecoindikator 95 und Abfälle in die Inertstoffdeponie, aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m ² , m ³ etc.) findet sich in Tabelle A1.1. Als Lebensdauer wurde die in Tabelle A1.1 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.....	263
Tabelle A1.6 Werte für Abfälle in die Reststoffdeponie und in die Müllverbrennungsanlage (MVA) und in die Sonderabfallverbrennung (SAVA) aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m ² , m ³ etc.) findet sich in Tabelle A1.1. Als Lebensdauer wurde die in Tabelle A1.1 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.	266
Tabelle A1.7 Prozessdaten für Heizwärme- und Elektrizitätsbereitstellung.....	268

Tabelle A1.70 Elementliste aller verwendeten Elemente mit Einheit und Lebensdauer. In der nachfolgenden Tabelle sind neben dem Elementindex und der Elementbeschreibung auch die Lebensdauern (LD) der Elemente mit aufgenommen. Es werden neben der mittleren Lebensdauer (mittl. LD) eine kurze (kurze LD) und eine lange Lebensdauer (lange LD) angegeben, entsprechend einem worst-case- bzw. einem best-case-Szenario. Bezogen wird dabei insbesondere auf die Zusammenstellung von Literaturdaten aus verschiedenen Untersuchungen in Bundesamt für Konjunkturfragen (1994, 98ff.).

Element-index	Elementbeschreibung	Einheit	mittlere LD	kurze LD	lange LD
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	m ³	-	-	-
D2 1_35	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 50x50cm	m	80	80	80
D2 1_1000	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x50cm	m	80	80	80
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x55cm	m	80	80	80
D2 1_1002	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 50x70cm	m	80	80	80
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x40cm	m	80	80	80
D2 1_1004	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x50cm	m	80	80	80
D2 2_41	Betonboden d: 12 cm, Normalbeton; Splitt	m ²	80	60	80
D2 2_1006	Betonboden d: 15 cm, Normalbeton; Splitt	m ²	80	60	80
D2 2_1007	Betonboden d: 18 cm, Normalbeton; Splitt	m ²	80	60	80
D2 2_1008	Betonboden d: 20 cm, Normalbeton; Splitt	m ²	80	60	80
D2 2_1009	Betonboden d: 25 cm, Normalbeton; Splitt	m ²	80	60	80
E0 1_1037	Decke Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (700 kg/m ³), Betonstahlmatte	m ²	80	80	80
E0 1_1077	Holzbalkendecke Haus D: Estrich d: 6,0 cm; PE-Folie; Mineralwolle d: 4,0 cm; Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; Gipskartonplatte; Anstrich	m ²	80	65	80
E0 1_1078	Holzbalkendecke Haus D OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; 1,0 cm Gipskartonplatte	m ²	80	65	80
E0 1_1079	Kehlbalkendecke OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 11,5 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; 1,2 cm Gipskartonplatte	m ²	80	65	80
E0 1_1091	Decke Porenbeton d: 24 cm, Gasbeton (700 kg/m ³), Betonstahlmatte	m ²	80	80	80
E0 1_52	Decke Stahlbeton d: 18cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	m ²	80	80	80
E0 1_53	Decke Stahlbeton d: 20cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	m ²	80	80	80
E0 2_66	Betonelementtreppe d: 20 cm; Betonfertigteile	m ²	50	40	50
E0 2_67	Geschoßtreppe Holz, 28,2 kg Nadelholz, 2 kg Deckfarbe	m ²	40	30	50
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	m ²	80	50	80
E1 1_1039	Dachkonstruktion Porenbeton (Haus C): Deckung inkl. Lattung, 12 cm Mineralwolle, 20 cm Gasbeton (500 kg/m ³)	m ²	80	65	80
E1 1_1040	Dachkonstruktion Porenbeton: Deckung inkl. Lattung, Mineralwolle d: 18 cm; Porenbeton d: 14,5 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	m ²	80	65	80
E1 1_1080	Dachkonstruktion Holz (Referenzhaus): Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	m ²	80	65	80
E1 1_1081	Dachkonstruktion Holz (Haus A): Deckung inkl. Lattung; Holzschalung d: 2 cm; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 18 cm, davon 15 % Sparrenanteil; Untersparrendämmung Mineralwolle d: 3 cm; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	m ²	80	65	80

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 1: Elementdaten

Element-index	Elementbeschreibung	Einheit	mittlere LD	kurze LD	lange LD
E1 1_1082	Dachkonstruktion Holz (Haus B): Deckung inkl.Lattung; Hinterlüftung; Übersparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm; Holzschalung d: 1,8 cm; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	m ²	80	65	80
E1 1_1083	Dachkonstruktion Holz (Haus D): Deckung inkl.Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	m ²	80	65	80
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink d: 100mm, Schelle Stahl feuerverzinkt Abst. 2,5m; (5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt)	m	40	20	60
E1 3_601	Regenrinne Titanzink halbrund d: 100mm, Rinnenhaken Stahl feuerverzinkt Abst: 65cm; (0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt)	m	40	20	60
E1 7_104	Dachflächenfenster, Wohnraumfenster IV, 78x98cm	Stück	25	20	25
E1 7_105	Dachflächenfenster, Wohnraumfenster IV, 134x140cm	Stück	25	20	25
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	m ²	50	25	50
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	m	80	60	80
E3 1_1027	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	m ²	80	80	80
E3 1_1087	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm (Normalbeton, Betonstahlmatte); Polystyrolplatte d: 8 cm	m ²	80	80	80
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	Stück	80	80	80
E4 1_1030	Außenwand Porenbeton d: 37.5cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1031	Außenwand Porenbeton d: 36.5cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1032	Außenwand Porenbeton d: 30 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1033	Außenwand Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1034	Außenwand Porenbeton d: 17,5 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1035	Außenwand Porenbeton d: 14 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1036	Außenwand Porenbeton d: 12,5 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1045	Bimshohlblockstein d: 25 cm; Kerndämmung Polystyrolplatte d: 4 cm; Perimeterdämmung Mineralwolle d: 10 cm	m ²	80	80	80
E4 1_1046	Bimshohlblockstein d: 25 cm Kerndämmung Polystyrolplatte d: 12 cm	m ²	80	80	80
E4 1_1047	Bimshohlblockstein d: 12,5 cm, 1760 kg/m ³	m ²	80	80	80
E4 1_1048	Bimshohlblockstein d: 12,5 cm, 1760 kg/m ³ , Normalbeton gefüllt mit Beton	m ²	80	80	80
E4 1_1049	Bimshohlblockstein d: 11,5 cm, 1760 kg/m ³	m ²	80	80	80
E4 1_1050	Bimshohlblockstein d: 17,5 cm, 1760 kg/m ³ , Normalbeton, gefüllt mit Beton	m ²	80	80	80
E4 1_1051	Bimshohlblockstein d: 24 cm, 1760 kg/m ³ , Kerndämmung Polystyrolplatte d: 4 cm	m ²	80	80	80
E4 1_1052	Bimshohlblockstein d: 30 cm, 1760 kg/m ³ , Kerndämmung Polystyrol platte d: 6 cm	m ²	80	80	80
E4 1_1057	Außenwand Kalksandstein d: 24 cm (1800 kg/m ³), Mineralwolle d: 20 cm	m ²	80	80	80
E4 1_1058	Außenwand Kalksandstein d: 17,5 cm (1800 kg/m ³), Mineralwolle d: 20 cm	m ²	80	80	80
E4 1_1059	Außenwand Kalksandstein d: 17,5 cm (1800 kg/m ³)	m ²			
E4 1_1060	Außenwand Kalksandstein d: 12 cm (1800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1061	Außenwand Kalksandstein d: 12 cm (1800 kg/m ³), Mineralwolle d: 10 cm	m ²	80	80	80
E4 1_1062	Außenwand Kalksandstein d: 11,5 cm (1800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm, Porenton-Mauerblock(800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1066	Außenwand Leichtziegel d: 11,5 cm, Porenton-Mauerblock(800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E4 1_1069	Außenwand Haus DI: Dispersionsfarbe (zweifach), Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 14, 15 % Holzrahmenanteil; Mineralwolle d: 10 cm; Spanplatte d: 1,6 cm	m ²	80	65	80

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 1. Elementdaten

E4 1_1070	Außenwand Haus DII: Dispersionsfarbe (zweifach), Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 14, 15 % Holzrahmenanteil; Mineralwolle d: 3,5 cm; Spanplatte d: 1,6 cm	m ²	80	65	80
-----------	--	----------------	----	----	----

Element-index	Elementbeschreibung	Einheit	mittlere LD	kurze LD	lange LD
E4 1_1071	Außenwand Haus D: Dispersionsfarbe (zweifach), Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 17, 15 % Holzrahmenanteil; Spanplatte d: 1,6 cm	m ²	80	65	80
E4 1_1072	Doppelhaustrennwand Haus D F 90: Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dämmung Mineralwolle d: 10, 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	80	65	80
E3 0_1086	Außenwand Kalksandstein d: 17,5 cm; Mineralwolle d: 15 cm; Kalksandstein d: 12 cm; Mauerwerk Kalksandstein	m ²	80	80	80
E3 0_1092	Bimshohlblochstein d: 25 cm Kerndämmung Mineralwolle d: 12 cm	m ²	80	80	80
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	35	20	50
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	m ²	20	20	20
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen	m ²	50	30	60
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	m ²	50	30	60
E5 1_2002	Dreischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	m ²	50	30	60
E5 1_2003	Dreischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Rahmen PVC	m ²	40	20	50
E5 5_206	Außentüre aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	m ²	42	20	70
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	m ²	32	20	40
E6 1_1042	Innenwand Porenbeton d: 30 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_1043	Innenwand Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_1044	Innenwand Porenbeton d: 12,5 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_1063	Innenwand Kalksandstein d: 11,5 cm (1800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_1064	Innenwand Kalksandstein d: 17,5 cm (1800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_1067	Innenwand Ziegel d: 24 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_1068	Innenwand Ziegel d: 11,5 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_2000	Innenwand Ziegel d: 24 cm, Ziegel (1200 kg/m ³)	m ²	80	80	80
E6 1_1073	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralwolleplatte d: 19 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	80	60	80
E6 1_1074	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralwolleplatte d: 16,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	80	60	80
E6 1_1075	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralwolleplatte d: 10,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	80	60	80
E6 1_1076	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralwolleplatte d: 9,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	80	60	80
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	Stück	40	30	40
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	Stück	40	30	40
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	Stück	25	20	25
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	Stück	40	30	40
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	Stück	25	20	25
I2 1_258	Hausanschluss Gas	Stück	50	40	50
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	Stück	15	10	25

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 1: Elementdaten

I2 2_265	Elektroheizkörper, Einzelofen	Stück	15		
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m ²	Stück	25	20	60
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m ²	Stück	25	20	60
I2 4_274	Bodenheizung Kunststoff, m ² bei 40 W/m ²	m ²	30		
I2 5_276	Heizungskamin	m	60	40	80
I5 2_308	Solarkollektor, Aufbaukollektor einfach	m ²	12,5	10	15

Element-index	Elementbeschreibung	Einheit	mittlere LD	kurze LD	lange LD
I5 3_310	Warmwasser- Speicher, indirekt beheizt, 400 l	Stück	22,5	20	25
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	m ²	50	30	80
M3 1_1005	Zementestrich auf Betonboden d: 5,5 cm	m ²	60	30	60
M3 1_1090	Zementestrich d: 6 cm	m ²	60	30	60
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	m ²	25	15	30
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	m ²	10	5	20
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten	m ²	50	40	80
M4 1_1029	Innere Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	50	40	60
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	m ²	40	30	70
M5 1_1028	Innere Deckenputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	50	25	70
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²	40	30	40
M8 1_1010	Mineralwolle (trittfest) d: 2,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1011	Mineralwolle (trittfest) d: 3,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1012	Mineralwolle (trittfest) d: 5,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1013	Mineralwolle (trittfest) d: 8,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1014	Mineralwolle (trittfest) d: 10,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1015	Mineralwolle (trittfest) d: 12,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1016	Mineralwolle (trittfest) d: 14,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1017	Mineralwolle (trittfest) d: 20 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1018	Mineralwolle (trittfest) d: 4,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1019	Holzwoleleichtbauplatte magnesitgebunden d: 7,5 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1020	Polystyrolplatte d: 6,0 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1021	Polyurethan Hartschaum d: 1,5 cm	m ²	60	30	60
M8 1_1085	Leichtbeton d: 6.0 cm (Normalbeton 500kg/m ³); Mineralwolle (trittfest) d: 2 cm	m ²	60	30	60
M8 2_1088	Mineralwolle d: 10 cm	m ²	35	20	50
M8 2_1089	Mineralwolle d: 20 cm	m ²	35	20	50
M8 2_1094	Polyurethan Hartschaum d: 3,5 cm; Mineralfaser (trittfest) d: 1,2 cm	m ²	60	30	60

Außerdem gelten für Teilelemente folgende, von der Lebensdauer des jeweiligen Gesamtelementes abweichende Lebensdauern:

Element-index	Elementbeschreibung	Einheit	mittl. LD	kurze LD	lange LD
diverse	Dachdeckung (Ziegel inkl. Lattung)	m ²	40	25	80
diverse	Gipskartonplatten	m ²	40	30	40
diverse	Anstrich	m ²	10	8	10
diverse	Dämmung Außenseite Außenwand (entsprechend LD Außenputz)	m ²	35	20	50
diverse	Dämmung im Boden (entsprechend LD Estrich)	m ²	60	30	60

Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

1. Das Demonstrationsprojekt Niedrigenergiehäuser Heidenheim

Im Rahmen des Demonstrationsprojektes Niedrigenergiehäuser Heidenheim wurden insgesamt fünf verschiedene Niedrigenergiehäuser erstellt und hinsichtlich Heizenergieverbrauch und Baukosten miteinander verglichen. Daneben wurde ein konventionelles Wohnhaus (Referenzhaus) errichtet, welches über einen um ca. 15 Prozent besseren Wärmeschutz verfügt als von der zum Bauzeitpunkt gültigen Wärmeschutzverordnung 1992/84 gefordert und als Repräsentant für den in Deutschland üblichen Gebäudestandard diente.

Ziel des Projektes war es, zu zeigen, dass es mit heutigem Know-how und dem Standmarkt gängiger Techniken und Produkte möglich ist, Wohngebäude zu erstellen, die einen sehr niedrigen Energiestandard aufweisen und deutlich weniger Heizenergie verbrauchen als von den gesetzlichen Anforderungen vorgeschrieben.

Ausgehend von einem Gebäudeentwurf, der aus einem Architekturwettbewerb hervorgegangen war, wurden vom Fraunhofer Institut für Bauphysik in Zusammenarbeit mit dem planenden Architekten, dem Bauträger und verschiedenen Industrieunternehmen fünf verschiedene Niedrigenergiehauskonzepte (A bis E) entwickelt und realisiert.

Nach Vorgabe des Bauträgers sollten sich die Niedrigenergiehäuser weder vom Grundriss noch vom äußerlichen Erscheinungsbild wesentlich vom Referenzhaus unterscheiden. Aufgrund dessen sind die Gebäude hinsichtlich ihrer Gebäudeform, Gebäudekubatur und Grundrissgestaltung sehr ähnlich, unterscheiden sich aber bezüglich der konstruktiven Aufbauten, der wärmeübertragenden Hüllflächen und der Haustechnik voneinander. Wegen der Südhanglage des Baugebiets konnten alle Gebäude zweieinhalbgeschossig ausgeführt werden. Es handelt sich jeweils um Doppelhäuser. Die Fertigstellung erfolgte von Herbst 1990 bis Dezember 1991 (Reiß und Erhorn 1994).

Die Hausvarianten

Die Doppelhäuser sind nach Süden orientiert. Allen Gebäuden ist gemeinsam, dass die Garage im Erdgeschoss innerhalb des Gebäudes liegt, was zwar eine wärmetechnisch ungünstige aber regional übliche Ausführung darstellt. Die Hauptwohnung erstreckt sich mit Küche, Wohnzimmer, WC und Balkon vom Erdgeschoss zum Obergeschoss mit den Schlafzimmern, dem Badezimmer und teilweise einem Abstellraum. Die Hauptwohnung ist im Erdgeschoss von Norden her erschlossen. Im Eingangsbereich befindet sich ein Nordpuffer. Im Untergeschoss liegt neben Kellerräumen die Einliegerwohnung auf der Südseite mit Wohnbereich, kleiner Küche und kleinem Bad. Zur Einliegerwohnung

gehört ein Freisitz. Sie ist von Süden oder Osten bzw. Westen zugänglich. Bis auf die Häuser C und D sind die beiden Hälften eines Doppelhauses jeweils gleich ausgeführt. Alle Häuser besitzen ein ziegelgedecktes Steildach und, abgesehen von Haus D, nach Norden und Süden je eine Schleppegaupe.

Exemplarisch ist in Abbildung 2.69 auf Seite 250 der Grundriss und ein Schnitt des Referenzhauses gezeigt.

Eine Übersicht über die Ausführung der Hausvarianten zeigen die Tabellen A2.72 und A2.73 auf den Seiten 229 und 230.

Eine Beschreibung der Heizwärme- und Stromverbräuche der Gebäude während der Nutzungsphase und Angaben zu Nutzerverhalten und Luftdichtigkeit der -Hausvarianten befinden sich in den Tabellen A2.74, A2.77 und A2.78 auf den Seiten 230, 233 und 234. Die Elementzusammenstellungen aller Varianten befindet sich in den Tabellen 79 bis 85 auf den Seiten 235 bis 247.

Ein Tabellenverzeichnis ist auf Seite 228 abgebildet.

2. Datenlage

Zu allen sechs Hausvarianten liegen Pläne vor: Grundrisse, Schnitte, Ansichten (Maßstab 1:100 und/oder 1:50). Die Pläne enthalten handschriftliche Ergänzungen zu Materialspezifikationen von Frau Runa Hellwig, einer Mitarbeiterin des Fraunhofer Instituts für Bauphysik in Stuttgart. Ausschreibungsunterlagen liegen nicht vor. Folgende Literaturquellen wurden verwendet: Reiß und Erhorn (1994), Erhorn und Reiß (1994) und Fachinformationszentrum Karlsruhe (1993)

Die Angaben aus dem Schlussbericht (Reiß und Erhorn 1994) widersprechen teilweise den Daten, die den Plänen zu entnehmen sind. Die Arbeit bezieht sich im Zweifel auf die Pläne und deren Ergänzungen.

Auf die genaue Spezifikation einzelner Produkte oder ihrer Hersteller wird verzichtet obwohl sie teilweise bekannt sind, da die Datengrundlage nicht genau genug ist, um die spezifischen Produkte korrekt widerzuspiegeln. Es entstünde sonst der Eindruck einer größeren Datengenauigkeit als tatsächlich vorhanden und es bestünde die Gefahr einer unfairen Produktbeurteilung.

Da Daten zum Ausbau der Hausvarianten größtenteils fehlen, wurden die in Tabelle A2.71 aufgeführten Ergänzungen gemacht. Weitere Ergänzungen sind in den Elementlisten als solche kenntlich gemacht. Daten zu den Ver- und Entsorgungsleitungen in den Gebäuden liegen nicht vor. Es erfolgte keine Ergänzung durch geschätzte Daten. Eine Ausnahme stellen die Elektroinstallationen dar, die durch Normen festgelegt sind. Außerdem wird der Hausanschluss Gas ergänzt, der bei allen Varianten benötigt wird.

Tabelle A2.71 Übersicht über die fehlenden Elemente und deren Ergänzung. Die Materialspezifikation erfolgte im Rahmen der zur Verfügung stehenden Elemente des Bauelementekataloges.

Fehlende Angaben	Ergänzung
Bodenbeläge	Steinzeug: Flure, Küchen, WCs, Bäder Linoleum: Wohn-Essbereich, Flure OG Teppich: Schlafzimmer
Wandbeläge Küche und Sanitär	Keramische Beläge. Fliesenspiegel: ♦ Bad: Dusch- und Badewannenbereich, Höhe: 2,20 m ♦ Küche: Herd- und Spülenbereich, Höhe 1,50 m
Ver- und Entsorgungsleitungen im Gebäude	Es erfolgte keine Ergänzung geschätzter Daten für: Gas, Strom, Wasser, Abwasser, Wärmeverteilung, Telefon. Ausnahme: Rauminstallationen

Energieverbrauch während der Nutzungsphase

Die Heizwärmebedarfswerte wurden mit Hilfe des dynamischen Rechenprogramms SUNCODE und Verfahren nach der Wärmeschutzverordnung 1995 von (Reiß und Erhorn 1994) berechnet. Die ermittelten Werte wurden für das Fallbeispiel - Nutzungsphase (Vorberechnung) - übernommen.

Es fehlen Vorberechnungen zu den anderen Verbräuchen: Ventilator, Umwälzpumpe und Brauchwassererwärmung. Ergänzt wurden deshalb die Durchschnittswerte der gemessenen Stromverbräuche und der Anteile der Brauchwassererwärmung am Heizenergieverbrauch beider Haushälften einer Variante.

Während mehrerer Heizperioden wurden der Energieverbrauch und nutzer-spezifischen Parameter gemessen. Durchgeführt wurden dabei im einzelnen:

- Kontinuierliche Messungen der Verluste durch Transmission und Lüftung, der Gewinne durch Haushaltsgeräte, Heizanlage und Solareinstrahlung, der Lufttemperatur in den Räumen und der Fensteröffnungszeiten.
- Einzelmessungen wurden durchgeführt zur Messung der Stromaufnahme von Ventilatoren und Pumpen und der Messung der Luftdichtigkeit der Gebäudehülle.

Die kontinuierlichen Messungen wurden während der Heizperioden 1991/92 und 1992/93 sowie Sommer 1992 durchgeführt. Die Messungen erfolgten viertel-stündlich. Die Daten wurden zu stündlichen Summen- bzw. Mittelwerten zusammengefasst. Nur während der Heizperiode 1992/93 wurde für alle Varianten Messwerte ermittelt, weswegen der Energieverbrauch während dieser Periode den Wirkungsbilanzdaten der Nutzungsphase (Messung) zugrunde gelegt werden.

Die Einzelmessungen erfolgten in der Heizperiode 1991/92.

Tabellenverzeichnis:

Tabelle A2.1 Übersicht über die fehlenden Elemente und deren Ergänzung.....	227
Tabelle A2.2: Übersicht über die beheizbare Wohnfläche, den Hüllflächenfaktor, den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten sowie die Ausführung der verschiedenen Hausvarianten.	229
Tabelle: A2.3 Übersicht über die Haustechnik der verschiedenen Hausvarianten. ...	230
Tabelle A2.4 Vorberechnete und gemessene Heizenergieverbräuche der Hausvarianten im Vergleich.	230
Tabelle A2.5 Endenergieverbrauch für Warmwasser über 80 Jahre Nutzungsdauer..	232
Tabelle A3.6 Gemessene Erdgasverbräuche während der Heizperiode 1992/93 und hochgerechnet auf die Nutzungsdauer von 80 Jahren für alle Hausvarianten. ...	232
Tabelle A2.7 Überblick über den Stromverbrauch der Hausvarianten..	233
Tabelle A2.8: Überblick über die Abweichungen des gemessenen Heizenergieverbrauchs von der Vorberechnung und deren mögliche Ursachen.	234
Tabelle A2.9 Zusammenstellung der Elemente des Referenzhauses.....	235
Tabelle A2.10 Zusammenstellung der Elemente von Haus A.....	237
Tabelle A2.11 Zusammenstellung der Elemente von Haus B.....	239
Tabelle A2.12 Zusammenstellung der Elemente von Haus C.....	241
Tabelle A2.13 Zusammenstellung der Elemente von Haus DII.	243
Tabelle A2.14 Zusammenstellung der Elemente von Haus DII.	245
Tabelle A2.15 Zusammenstellung der Elemente von Haus E	247
Abbildung A2.1 Grundriss und Schnitt des Referenzhauses	249

Tabelle A2. 72: Übersicht über die beheizbare Wohnfläche, den Hüllflächenfaktor, den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten sowie die Ausführung der verschiedenen Hausvarianten. Dargestellt sind die Kategorien Außenwand, Fenster, Dach, Decken und Innenwände. Die Angaben zu Schichtdicken beziehen sich auf die überwiegend vertretenen Dicken, Details siehe Tabelle 79 bis 85.

	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus D ¹	Haus E
Beheizbare Wohnfläche [m ²]	177	176	178	200	183	185
Hüllflächenfaktor A/V [m ⁻¹]	0,77	0,81	0,81	0,82	0,78	0,87
Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² K]	0,58 (0,66)	0,27	0,34	0,30	DI: 0,24 DII: 0,26	0,31
Außenwand	Leichtziegel d: 30 cm gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm; k-Wert: 0,48	Kalksandstein d: 17,5 cm mit Mineralfaser-Außendämmung d: 20 cm; gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm mit Polystyrol d: 8 cm; k-Wert: 0,18	Leichtbetonschalungsstein d: 25 cm mit Kerndämmung aus Polystyrol d: 12 cm; k-Wert: 0,25	Porenbeton d: 36,5 cm; k-Wert: 0,31	Holzständerbau mit Mineralwollendämmung; DI: d: 24 cm; DII: d: 17,5 cm; Leichtziegel (UG) d: 30 cm; gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm DI: k-Wert: 0,19 DII: k-Wert: 0,28	Porenbeton d: 37,5 cm k-Wert: 0,3
Gebäudetrennwand	Leichtbeton-Schalungsstein gefüllt mit Beton d: 12,5 cm	Kalksandstein d: 11,5 cm	Leichtbeton-Schalungsstein gefüllt mit Beton d: 12,5 cm	Porenbeton d: 17,5 cm	Hochlochziegel (UG) d: 30 cm und Holzständer d: 17 cm mit Gipskartonplatten und Mineralfaser d: 10 cm	Porenbeton d: 17,5 cm
Fenster	Zweischeiben-Isolierglas, Holzrahmen k-Wert: 2,6	Dreischeiben-Wärmeschutzglas, Holzrahmen k-Wert: 1,0	Dreischeiben-Wärmeschutzglas, Kunststoffrahmen k-Wert: 1,4	Zweischeiben-Wärmeschutzglas, Holzrahmen k-Wert: 1,4	Zweischeiben-Wärmeschutzglas, Holzrahmen k-Wert: 1,4	Zweischeiben-Wärmeschutzglas, Holzrahmen k-Wert: 1,4
Dach	Holzkonstruktion, Zwischensparrendämmung ² d: 14 cm k-Wert: 0,29	Holzkonstruktion, Zwischensparren und Untersparrendämmung ² d: 18 bzw. 3 cm k-Wert: 0,2	Holzkonstruktion, Übersparren- und Zwischensparrendämmung ² d: 14 bzw. 8 cm k-Wert: 0,16	Porenbetonkonstruktion d: 20 cm, Außendämmung ² d: 12 cm k-Wert: 0,22	Holzkonstruktion, Zwischensparrendämmung ² d: 20 cm k-Wert: 0,24	Porenbetonkonstruktion d: 14,5 cm, Außendämmung ² d: 18 cm k-Wert: 0,18
Decken	Stahlbetondecke (KG, EG) d: 18 cm, Kehlbalkendecke (OG) mit Mineralwollendämmung d: 11,5 cm	Stahlbetondecke (KG, EG) d: 20 cm; Kehlbalkendecke (OG) mit Mineralwollendämmung d: 11,5 cm	Stahlbetondecke (KG, EG) d: 18 cm, Kehlbalkendecke (OG) mit Mineralwollendämmung d: 11,5 cm	Porenbetondecke (keine Decke im OG); d: 24 cm	Holzbalkendecke mit Mineralwollendämmung d: 20 cm	Porenbetondecke d: 25 cm
Innenwände	Hochlochziegel d: 11,5 und 24 cm	Kalksandstein d: 11,5 und 17,5 cm	Leichtbeton d: 11,5 bis 25 cm z.T. mit Beton bzw. Polystyrol	Porenbeton d: 12,5 bis 30 cm	Hochlochziegel (UG) d: 11,5 und 24 cm; Holzrahmen d: 12 bis 22 cm	Porenbeton d: 12,5 bis 30 cm

¹ Bei Haus DI wurde die Außenwand weniger gut gedämmt als bei Haus DII (siehe Elementdaten).

² Dämmung mit Mineralwolle, Sparrenanteil 15 Prozent

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

Tabelle: A2.73 Übersicht über die Haustechnik der verschiedenen Hausvarianten. Die Tabelle gibt einen Überblick über die Heizungsanlage, die Warmwasserbereitung sowie den Einsatz von mechanischen Lüftungssystemen, Wärmepumpen und Anlagen zur Nutzung regenerativer Energien.

	Referenzhaus ¹	Haus A ¹	Haus B ¹	Haus CI	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E ¹
Wärmeerzeugung	NT-Gaskessel mit atm. Brenner	Gastherme	Gasbrennwerttherme	NT-Gaskessel mit atm. Brenner	Gasbrennwertkessel	Gasbrennwertkessel mit Gebläsebrenner	-	Gastherme mit Abgaswärmtauscher
Wärmeleistungsbereich	8,8 bis 11 kW	7,8 kW	19 kW	18 kW	22 kW	4 bis 25 kW	-	11,5 kW
Wärmeabgabe	Warmwasserradiatoren	Warmluft mit WRG	Warmluft, Hypokaustwand, Radiatoren (EW)	NT-Warmwasserradiatoren	NT-Warmwasserradiatoren	Warmwasserfußbodenheizung und Radiatoren	Elektroheizkörper (seit 1992 z.T. Nachtspeichergeräte)	Fußboden-Luftheizung mit WRG (Klimaboden)
Abgasabgabe	zwei hinterlüftete Schornsteine	Luftabgasrohr (kein Kamin)	Luftabgas-Schornstein	hinterlüfteter Isolierschornstein	hinterlüfteter Isolierschornstein	Fertigteilschornstein, teiglasert	-	Abgasleitung in hinterlüftetem Schornstein
Warmwasser	separater 200 Liter Speicher, beheizt über Kessel	separate 160 Liter (HW) und 120 Liter (EW) Speicher, beheizt über Therme	separater 150 Liter Speicher, beheizt über Therme	separater 350 Liter Speicher, beheizt über Kessel	separater 350 Liter Speicher, beheizt über Kessel	separater 300 Liter Speicher, beheizt über Kessel	separater 300 Liter Speicher, beheizt über Brauchwasserwärmepumpe	separater 150 Liter Speicher, beheizt über Therme
Lüftungsanlage	-	mech. Lüftungssystem	mech. Lüftungssystem mit WRG	mech. Lüftungssystem mit WRG	mech. Lüftungssystem mit WRG	-	mech. Lüftungssystem mit WRG	mech. Lüftungssystem
Wärmerückgewinnung	-	zwei Kreuzwärmtauscher	ein Kreuzwärmtauscher	ein Kreuzwärmtauscher und eine Kleinstwärmepumpe	ein Kreuzwärmtauscher	-	ein Kreuzwärmtauscher und Kleinstwärmepumpe (WW)	ein Kreuzwärmtauscher
Nutzung regenerativer Energien	-	-	-	Sonnenkollektor (aufmontiert)	Sonnenkollektor (aufmontiert)	-	-	Erdreichwärmtauscher

In beiden Haushälften ist die gleiche Anlage eingebaut

Tabelle A2.74 Vorberechneter und gemessener Heizenergieverbrauch der Hausvarianten im Vergleich. Zusammengefasst sind die vorberechneten Heizwärmebedarfswerte und der Heizwärmeverbrauch, der in der Heizperiode 1992/93 in den einzelnen Hausvarianten gemessen wurden.

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

Variante (Hausnummer)	beheizbare Wohnfläche [m ²]	Heizwärmeverbrauch							
		Vorberechnung [kWh/m ² a]	Vorberechn. ² [kWh/Haus 80 Jahre]	Vorberechnung [TJ/Haus 80 Jahre]	Messung [kWh/m ² a]	Messung [kWh/Haus 80 Jahre]	Messung [TJ/Haus 80 Jahre]	Durchschnitt [TJ/Haus 80 Jahre]	Abweichung vom Mittelwert [TJ]
Ref. ¹ (67)	177	98	1.387.680	4,995648	85	1.203.600	4,33296	4,281984	+- 0,05098
Ref. ¹ (69)	177	98	1.387.680	4,995648	83	1.175.280	4,231008		
Haus A (71)	176	34	478.720	1,723392	47	661.760	2,382336	2,356992	+- 0,02534
Haus A (73)	176	34	478.720	1,723392	46	647.680	2,331648		
Haus B (75)	178	43	612.320	2,204352	56	797.440	2,870784	2,742624	+- 0,12816
Haus B (77)	178	43	612.320	2,204352	51	726.240	2,614464		
Haus C (79)	200	47	752.000	2,7072	47	752.000	2,7072	3,0528	+- 0,34560
Haus C (81)	200	47	752.000	2,7072	59	944.000	3,3984		
Haus D (95)	183	52	761.280	2,740608	44	644.160	2,318976	2,424384	+- 0,10541
Haus D (97)	183	43	629.520	2,266272	48	702.720	2,529792		
Haus E (1/0)	185	51	754.800	2,71728	51	754.800	2,71728	2,90376	+- 0,18648
Haus E (1/1)	185	51	754.800	2,71728	58	858.400	3,09024		

¹ Referenzhaus

² Vorberechnung

Tabelle A2.75 Endenergieverbrauch für Warmwasser über 80 Jahre Nutzungsdauer. Der Vorberechnung liegt die Angabe des Anteils der Warmwasserbereitstellung am gesamten Endenergieverbrauch aus Reiß und Erhorn (1994, S. 58) zugrunde. Der Anteil liegt beim Referenzhaus bei 18 Prozent und bei den anderen Varianten bei 16 Prozent.

Variante (Hausnummer)	Endenergieverbrauch für Warmwasser über 80 Jahre		
	Vorberechnung [TJ]	Messung	Messung Durchschnitt
Referenzhaus (67)	1,097	0,453	0,746
Referenzhaus (69)	1,097	1,039	
Haus A (71)	0,336	0,840	0,710
Haus A (73)	0,336	0,581	
Haus B (75)	0,430	0,540	0,492
Haus B (77)	0,430	0,445	
Haus C (79)	0,528	0,812	0,704
Haus C (81)	0,528	0,596	
Haus D (95)	0,535	0,521	0,389
Haus D (97)	0,442	0,258	
Haus E (1/0)	0,530	0,324	0,334
Haus E (1/1)	0,530	0,345	

Tabelle A3.76 Gemessener Erdgasverbrauch während der Heizperiode 1992/93 und hochgerechnet auf die Nutzungsdauer von 80 Jahren für alle Hausvarianten. In dem Erdgasverbrauch beinhaltet sind die Aufwendungen für die Warmwasserbereitung. Die Haushälfte DII wird mit Elektroheizkörpern beheizt, verbraucht deshalb kein Erdgas.

Hausvariante	Heizperiode 1992/93		80 Jahre
	Erdgasverbrauch [kWh]	Erdgasverbrauch [TJ]	Erdgasverbrauch [TJ]
Referenzhaus (67)	22.566	0,08124	6,49901
Referenzhaus (69)	24.169	0,08701	6,96067
Haus A (71)	13.611	0,04900	3,92000
Haus A (73)	12.900	0,04644	3,71520
Haus B (75)	15.022	0,05408	4,32634
Haus B (77)	11.725	0,04221	3,37680
Haus CI (79)	12.881	0,04637	3,70973
Haus CII (81)	15.506	0,05582	4,46573
Haus DI (95)	14.001	0,05040	4,03229
Haus DII (97)	0	0	0
Haus E (1/0)	14.285	0,05143	4,11408
Haus E (1/1)	17.573	0,06326	5,06102

Tabelle A2.77 Überblick über den Stromverbrauch der Hausvarianten. Zugrunde liegen Messungen des Verbrauchs der Umwälzpumpen und die Ventilatoren (Zu- und Abluft, Umluft) aus der Heizperiode 1992/93. Die Angaben sind in pro Quadratmeter und Jahr, sowie als Gesamtsumme über 80 Jahre pro Doppelhaushälfte und gemittelt über beide Doppelhaushälften einer Variante.

Variante (Haus- nummer)	beheizbare Wohnfläche [m ²]	Stromverbrauch							Durchschnittswert [TJ/Haus 80 Jahre]	Abweichun g [TJ]
		Umwälz- pumpen [kWh/m ² a]	Zu- und Abluft [kWh/m ² a]	Umluft [kWh/m ² a]	Gesamt [kWh/m ² a]	Gesamt [kWh/Haus 80 Jahre]	Gesamt [TJ/Haus 80 Jahre]			
Ref.* (67)	177	2,9	-	-	2,9	41.064	0,1478304	0,1478304	+- 0,0000	
Ref.* (69)	177	2,9	-	-	2,9	41.064	0,1478304			
Haus A (71)	176	1,7	2,6	2,5	6,8	95.744	0,3446784	0,3091968	+- 0,03548	
Haus A (73)	176	1,7	1,5	2,2	5,4	76.032	0,2737152			
Haus B (75)	178	2,5	2,1	3,2	7,8	111.072	0,3998592	0,435744	+- 0,03588	
Haus B (77)	178	2,2	2,8	4,2	9,2	131.008	0,4716288			
Haus C (79)	200	1,5	3,6	-	5,1	81.600	0,29376	0,28512	+- 0,00864	
Haus C (81)	200	1,7	3,1	-	4,8	76.800	0,27648			
Haus D (95)	183	2,8	-	-	2,8	40.992	0,1475712	0,1765584	+- 0,02899	
Haus D (97)	183	-	3,9	-	3,9	57.096	0,2055456			
Haus E (1/0)	185	2,7	5	-	7,7	113.960	0,410256	0,410256	+- 0,0000	
Haus E (1/1)	185	2,7	5	-	7,7	113.960	0,410256			

*Ref. Referenzhaus

Tabelle A2.78: Überblick über die Abweichungen des gemessenen Heizenergieverbrauchs von der Vorberechnung und deren mögliche Ursachen. Unterschiede des Heizwärmeverbrauchs zwischen Vorberechnung und Messung sind bei einzelnen Hausvarianten beträchtlich. Mögliche Ursachen liegen in der unterschiedlichen Luftdichtigkeit der Gebäude, in der gewählten Zimmertemperatur und dem Lüftungsverhalten der Nutzer. Insbesondere die Kombination von mechanischer Lüftungsanlage und einer relativ schlechten Luftdichtigkeit wirkt sich negativ auf den Verbrauch aus. Gemessen wurde in der Heizperiode 1992/93.

Hausvariante (Hausnummer)	Beheizte Wohnfläche [m ²]	Vorberechn. [kWh/m ² a]	Messung [kWh/m ² a]	Messung/ Vorberechnung [%]	Durchschn. Raumtemp. [°C]	Fensteröffnungs- zeit [h/d]	Luftdurchlässig- keit Überdruck [h ⁻¹]	Luftdurchlässig- keit Unterdruck [h ⁻¹]
Ref*. (67)	177	98	85	86,73%	19,8	0,96	4,4	4,2
Ref.* (69)	177	98	83	84,69%	19,0	2,81	1,8	1,7
Haus A (71)	176	34	47	138,24%	19,2	1,15	1,6	1,4
Haus A (73)	176	34	46	135,29%	19,8	0,72	2,0	1,8
Haus B (75)	178	43	56	130,23%	19,8	3,89	2,0	2,0
Haus B (77)	178	43	51	118,60%	20,7	2,47	3,2	2,8
Haus C (79)	200	47	47	100,00%	19,7	1,88	1,0	1,1
Haus C (81)	200	47	59	125,53%	19,4	1,71	1,4	1,4
Haus D (95)	183	52	44	84,62%	19,3	0,3	3,5	3,1
Haus D (97)	183	43	48	111,63%	17,3	0,1	4,1	4,0
Haus E (1/0)	185	51	51	100,00%	18,7	0,95	2,1	2,1
Haus E (1/1)	185	51	58	113,73%	19,1	1,17	2,4	2,5

*Ref. Referenzhaus

Tabelle A2.79 Zusammenstellung der Elemente des Referenzhauses.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Außenwand/Fassade	
E3 1_1027	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	30,96 m ²
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	133,0 m ²
E4 1_1066	Außenwand Leichtziegel d: 11,5 cm, Porenton-Mauerblock(800 kg/m ³)	15,81 m ²
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	133 m ²
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	15,81 m ²
E4 1_1048	Gebäudetrennwand: Bimshohlblockstein d: 12,5 cm, 1760 kg/m ³ , Normalbeton gefüllt mit Beton	85,87 m ²
	Kategorie Fenster/Fenstertüren	
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen	25,67 m ²
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen	4,32 m ²
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	30 m ²
	Kategorie Innenwände	
E6 1_1068	Innenwand Ziegel d: 11,5 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	118,19 m ²
E6 1_1067	Innenwand Ziegel d: 24 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	333,68 m ²
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	585,49 m ²
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	28,54 m ²
	Kategorie Decken/Böden	
D2 2_41	Betonboden d: 12 cm, Normalbeton; Splitt	92,39 m ²
E0 1_52	Decke Stahlbeton d: 18cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	178,73 m ²
E0 1_1079	Kehlbalkendecke OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 11,5 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; 1,2 cm Gipskartonplatte	64,11 m ²
M3 1_1005	Zementestrich auf Betonboden d: 5,5 cm	240,28 m ²
M8 1_1019	Holzwoleleichtbauplatte magnesitgebunden d: 7,5 cm	17,48 m ²
M8 1_1020	Polystyrolplatte d: 6,0 cm	87,68 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	54,47 m ²
M5 1_1028	Innerer Deckenputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	156,47 m ²
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	65,75 m ²
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	58,44 m ²
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel MG2, 6 mm Steinfliesen	39,94 m ²
	Kategorie Dächer	
E1 1_1080	Dachkonstruktion Holz (Referenzhaus): Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	132,5 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	112,5 m ²
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt	28,31 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt	25,33 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	132,5 m ²

Teil 2 Tabelle A2.79 Zusammenstellung der Elemente des Referenzhauses.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Technik	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	7
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	1
I2 1_258	Hausanschluss Gas	1
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	1
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m ²	6
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m ²	7
I2 5_276	Heizungskamin	20,1 m
I5 3_310	Warmwasser-Speicher	1
	Kategorie Sonstiges	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	170,09 m ³
D2 1_1000	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x50cm	10,26 m
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x55cm	40,15 m
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x40cm	15,07 m
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	11,28 m ²
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	2 Stück
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	7,14 m ²
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	28,06 m ²
E0 2_67	Geschosstreppe Holz, 28,2 kg Nadelschnittholz, 2 kg Deckfarbe	9,42 m ²
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	2,5 m

Tabelle A2.80 Zusammenstellung der Elemente von Haus A.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Außenwand/Fassade	
E3 1_1087	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm (Normalbeton, Betonstahlmatte); Polystyrolplatte d: 8 cm	33,33 m ²
E4 1_1057	Außenwand Kalksandstein d: 24 cm (1800 kg/m ³), Mineralwolle d: 20 cm	13,39 m ²
E4 1_1058	Außenwand Kalksandstein d: 17,5 cm (1800 kg/m ³), Mineralwolle d: 20 cm	83,7 m ²
E4 1_1086	Außenwand Kalksandstein d: 17,5 cm; Mineralwolle d: 15 cm; Kalksandstein d: 12 cm; Mauerwerk Kalksandstein	9,2 m ²
E4_1	Außenwand Kalksandstein d: 24 cm	2,35 m ²
E4 1_1059	Außenwand Kalksandstein d: 17,5 cm (1800 kg/m ³)	1,28 m ²
E4 1_1061	Außenwand Kalksandstein d: 12 cm (1800 kg/m ³), Mineralwolle d: 10 cm	4,25 m ²
E4 1_1060	Außenwand Kalksandstein d: 12 cm (1800 kg/m ³)	14,97 m ²
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	109,92 m ²
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm, Nadelnschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	19,22 m ²
E4 1_1062	Außenwand Kalksandstein d: 11,5 cm (1800 kg/m ³)	84,71 m ²
	Kategorie Fenster/Fenstertüren	
E5 1_2002	Dreischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	30,70 m ²
E5 1_2002	Dreischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	6,60 m ²
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelnschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	37,30 m ²
	Kategorie Innenwände	
E6 1_1063	Innenwand Kalksandstein d: 11,5 cm (1800 kg/m ³)	70,13 m ²
E6 1_1064	Innenwand Kalksandstein d: 17,5 cm (1800 kg/m ³)	137,26 m ²
M8 1_1088	Mineralwolle d: 10 cm	20,00 m ²
M8 1_1089	Mineralwolle d: 20 cm	21,00 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	41,00 m ²
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	586,44 m ²
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	31,29 m ²
	Kategorie Decken/Böden	
D2 2_1008	Betonboden d: 20 cm, Normalbeton; Splitt	91,22 m ²
E0 1_53	Decke Stahlbeton d: 20cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	158,98 m ²
E0 1_1079	Kehlbalkendecke OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 11,5 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; 1,2 cm Gipskartonplatte	64,62 m ²
M8 1_1015	Mineralwolle (trittfest) d: 12,0 cm	34,21 m ²
M8 1_1085	Leichtbeton d: 6.0 cm (Normalbeton 500kg/m ³); Mineralwolle (trittfest) d: 2 cm	143,95 m ²
M8 1_1016	Mineralwolle (trittfest) d: 14,0 cm	36,97 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	55,22 m ²
M5 1_1028	Innerer Deckenputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	200,91 m ²
M3 1_1005	Zementestrich d: 5,5 cm	243,48 m ²

Teil 2 Tabelle A2.80 Zusammenstellung der Elemente von Haus A.

Elementinde x	Elementbeschreibung	Menge
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	66,01 m ²
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	57,28 m ²
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel MG2, 6 mm Steinfliesen	42,33
	Kategorie Dächer	
E1 1_1081	Dachkonstruktion Holz (Haus A): Deckung inkl. Lattung; Holzschalung d: 2 cm; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 18 cm, davon 15 % Sparrenanteil; Untersparrendämmung Mineralwolle d: 3 cm; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	132,30 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	112,30 m ²
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt	22,70 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt	26,18 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	132,30 m ²
	Kategorie Technik	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	7
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	1
I2 1_258	Hausanschluss Gas	1
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	1
I5 3_310	Warmwasser- Speicher	2
	Kategorie Sonstiges	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	174,06 m ³
D2 1_1000	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x50cm	10,32 m
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x55cm	40,81 m
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x40cm	16,26 m
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	11,83 m ²
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	2 Stück
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	7,24 m ²
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	30,89 m ²
E0 2_67	Geschosstreppe Holz, 28,2 kg Nadelschnittholz, 2 kg Deckfarbe	9,42 m ²
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	2,50 m

Tabelle A2.81 Zusammenstellung der Elemente von Haus B.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Außenwand/Fassade	
E4 1_1045	Bimshohlblockstein d: 25 cm; Kerndämmung Polystyrolplatte d: 4 cm; Perimeterdämmung Mineralwolle d: 10 cm	34,17 m ²
E4 1_1046	Bimshohlblockstein d: 25 cm Kerndämmung Polystyrolplatte d: 12 cm	109,58 m ²
E4 1_1047	Bimshohlblockstein d: 12,5 cm, 1760 kg/m ³	15,50 m ²
E4 1_1048	Bimshohlblockstein d: 12,5 cm, 1760 kg/m ³ , Normalbeton	88,18 m ²
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	78,51 m ²
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	46,57 m ²
	Kategorie Fenster/Fenstertüren	
E5 1_2003	Dreischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), PVC-Rahmen	32,28 m ²
E5 1_2003	Dreischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), PVC-Rahmen	6,60 m ²
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	32,28 m ²
	Kategorie Innenwände	
E4 1_1048	Bimshohlblockstein d: 12,5 cm, 1760 kg/m ³ , Normalbeton	13,26 m ²
E4 1_1050	Bimshohlblockstein d: 17,5 cm, 1760 kg/m ³ , Normalbeton,	19,07 m ²
E4 1_1051	Bimshohlblockstein d: 24 cm, 1760 kg/m ³ , Kerndämmung Polystyrolplatte d: 4 cm ³	35,04 m ²
E4 1_1052	Bimshohlblockstein d: 30 cm, 1760 kg/m ³ , Kerndämmung Polystyrolplatte d: 6 cm	18,5 m ²
E4 1_1049	Bimshohlblockstein d: 11,5 cm, 1760 kg/m ³	39,83 m ²
E4 1_1047	Bimshohlblockstein d: 12,5 cm, 1760 kg/m ³	66,68 m ²
E4 1_109?	Bimshohlblockstein d: 25 cm Kerndämmung Mineralwolle d: 12 cm	20,48
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	595,39 m ²
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	32,50 m ²
	Kategorie Decken/Böden	
D2 2_1007	Betonboden d: 18 cm, Normalbeton; Splitt	94,57 m ²
E0 1_52	Decke Stahlbeton d: 18cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	161,21 m ²
E0 1_1079	Kehlbalkendecke OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralfaserplatte d: 11,5 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; 1,2 cm Gipskartonplatte	58,88 m ²
M3 1_1005	Zementestrich d: 5,5 cm	223,17 m ²
M8 1_1085	Leichtbeton d: 6.0 cm (Normalbeton 500kg/m ³); Mineralwolle (trittfest) d: 2 cm	150,26 m ²
M8 1_1015	Mineralwolle (trittfest) d: 12,0 cm	52,93 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	104,66 m ²
M5 1_1028	Innerer Deckenputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	196,93 m ²
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	65,49 m ²
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	58,56 m ²

Teil 2 Tabelle A2.81 Zusammenstellung der Elemente von Haus B.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel, 6 mm Steinfliesen	45,41 m ²
	Kategorie Dächer	
E1 1_1082	Dachkonstruktion Holz (Haus B): Deckung inkl. Lattung; Hinterlüftung; Übersparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm; Holzschalung d: 1,8 cm; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	133,93 m ²
M5 3_1024	Gipskart onplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	113,93 m ²
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt	24,30 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt	30,48 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	133,93 m ²
	Kategorie Technik	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	7
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	1
I2 1_258	Hausanschluss Gas	1
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	1
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m ²	2
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m ²	1
I2 5_276	Heizungskamin, dreischalig, Schamotte, Mineralf., Leichtp., Einzüger, 14x14cm	10,40 m
I5 3_310	Warmwasser- Speicher, indirekt beheizt, 400 l	1
	Kategorie Sonstiges	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	173,45 m ³
D2 1_1000	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x50cm	51,31 m
D2 1_1004	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x50cm	16,41 m
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	11,82 m ²
E3 5_125	Lichtschacht aus Ort beton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	2
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	7,06 m ²
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	32,86 m ²
E0 2_67	Geschosstreppe Holz, 28,2 kg Nadelschnittholz, 2 kg Deckfarbe	9,42 m ²
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	2,63 m

Tabelle A2.82 Zusammenstellung der Elemente von Haus C

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Außenwand/Fassade	
E4 1_1031	Außenwand Porenbeton d: 36.5cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	156,69 m ²
E4 1_1032	Außenwand Porenbeton d: 30 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	4,57 m ²
E4 1_1033	Außenwand Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	17,96 m ²
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	161,26 m ²
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	17,96 m ²
E4 1_1034	Außenwand Porenbeton d: 17,5 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	108,80 m ²
	Kategorie Fenster/Fenstertüren	
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	25,00 m ²
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	5,60 m ²
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen	17,81 m ²
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	35,20 m ²
	Kategorie Innenwände	
E6 1_1042	Innenwand Porenbeton d: 30 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	32,46 m ²
E6 1_1043	Innenwand Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	121,76 m ²
E6 1_1044	Innenwand Porenbeton d: 12,5 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	81,77 m ²
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	654,92 m ²
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	35,58 m ²
	Kategorie Decken/Böden	
D2 2_1006	Betonboden d: 15 cm, Normalbeton; Splitt	114,56 m ²
E0 1_1091	Decke Porenbeton d: 24 cm, Gasbeton (700 kg/m ³), Betonstahlmatte	197,59 m ²
M3 1_1090	Zementestrich d: 6 cm	256,55 m ²
M8 1_1013	Mineralwolle (trittfest) d: 8,0 cm	93,66 m ²
M8 1_1012	Mineralwolle (trittfest) d: 5,0 cm	97,35 m ²
M8 1_1011	Mineralwolle (trittfest) d: 3,0 cm	65,54 m ²
M5 1_1028	Innerer Deckenputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	186,75 m ²
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	68,46 m ²
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	49,06 m ²
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel, 6 mm Steinfliesen	61,13 m ²
	Kategorie Dächer	
E1 1_1039	Dachkonstruktion Porenbeton (Haus C): Deckung inkl. Lattung, 12 cm Mineralwolle, 20 cm Gasbeton (500 kg/m ³)	128,51 m ²
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	2,45 Stück

Teil 2 Tabelle A2.82 Zusammenstellung der Elemente von Haus C

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt	10,60 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt	23,90 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	128,51 m ²
	Kategorie Technik	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	6
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	4
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	1
I2 1_258	Hausanschluss Gas	1
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	1
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m ²	5
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m ²	6
I2 5_276	Heizungskamin, dreischalig, Schamotte, Mineralf., Leichtp., Einzüger, 14x14cm	10,20 m
I5 3_310	Warmwasser- Speicher, indirekt beheizt, 400 l	1
I5 2_308	Solarkollektor, Aufbaukollektor einfach	5,70 m ²
	Kategorie Sonstiges	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	203,13 m ³
D2 1_1000	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x50cm	11,01 m
D2 1_35	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 50x50cm	54,85 m
D2 1_1002	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 50x70cm	10,89 m
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	8,36 m ²
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	2
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	6,42 m ²
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	30,14 m ²
E0 2_66	Betonelementtreppe d: 20 cm; Betonfertigteil	11,0 m ²
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	2,50 m

Tabelle A2.83 Zusammenstellung der Elemente von Haus DI.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Außenwand/Fassade	
E3 1_1027	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	41,96 m ²
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	29,21 m ²
E4 1_1069	Außenwand Haus DI: Dispersionsfarbe (zweifach), Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 14, 15 % Holzrahmenanteil; Mineralwolle d: 10 cm; Spanplatte d: 1,6 cm	90,36 m ²
E4 1_1071	Außenwand Haus D: Dispersionsfarbe (zweifach), Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 17, 15 % Holzrahmenanteil; Spanplatte d: 1,6 cm	21,09 m ²
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	134,47 m ²
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	27,67 m ²
E4 1_1072	Doppelhaustrennwand Haus D F 90: Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dämmung Mineralwolle d: 10, 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d:3,5 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	54,13 m ²
	Kategorie Fenster/Fenstertüren	
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	19,33 m ²
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	4,85 m ²
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelschichtholz, Deckfarbe (zweifach)	24,18 m ²
	Kategorie Innenwände	
E6 1_2000	Innenwand Ziegel d: 24 cm, Ziegel (1200 kg/m ³)	58,44 m ²
E6 1_1068	Innenwand Ziegel d: 11,5 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	22,51 m ²
E6 1_1073	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 19 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	21,32 m ²
E6 1_1074	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 16,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	5,74 m ²
E6 1_1075	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 10,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	85,46 m ²
E6 1_1076	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 9,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	16,90 m ²
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	26,61 m ²
	Kategorie Decken/Böden	
D2 2_1009	Betonboden d: 25 cm, Normalbeton; Splitt	98,78 m ²
E0 1_1077	Holzbalkendecke Haus D: Estrich d: 6,0 cm; PE-Folie; Mineralwolle d: 4,0 cm; Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; Gipskartonplatte; Dispersionsfarbe (zweifach)	192,74 m ²
E0 1_1078	Holzbalkendecke Haus D OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; 1,0 cm Gipskartonplatte; Dispersionsfarbe (zweifach)	29,22 m ²

Teil 2 Tabelle A2.83 Zusammenstellung der Elemente von Haus DI.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	179,38 m ²
M3 1_1090	Zementestrich d: 6,0 cm	98,78 m ²
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	50,85 m ²
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	47,20 m ²
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel, 6 mm Steinfliesen	75,99 m ²
	Kategorie Dächer	
E1 1_1083	Dachkonstruktion Holz (Haus D): Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	154,99 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	134,99 m ²
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt	8,10 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt	19,80 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	154,99 m ²
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	3 Stück
	Kategorie Technik	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	6
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	1
I2 1_258	Hausanschluss Gas	1
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	1
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m ²	1
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m ²	2
I2 5_276	Heizungskamin	10,90 m
I5 3_310	Warmwasser- Speicher	1
I2 4_274	Bodenheizung Kunststoff	105,56 m ²
	Kategorie Sonstiges	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	183,78 m ³
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x55cm	61,83 m
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x40cm	15,82 m
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	2 Stück
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	9,13 m ²
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	31,79 m ²
E0 2_67	Geschosstreppe Holz, 28,2 kg Nadelschnittholz, 2 kg Deckfarbe	8,06 m ²

Tabelle A2.84 Zusammenstellung der Elemente von Haus DII.

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Außenwand/Fassade	
E3 1_1027	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	41,96 m ²
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	29,21 m ²
E4 1_1069	Außenwand Haus DII: Dispersionsfarbe (zweifach), Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 14, 15 % Holzrahmenanteil; Mineralwolle d: 3,5 cm; Spanplatte d: 1,6 cm	90,36 m ²
E4 1_1071	Außenwand Haus D: Dispersionsfarbe (zweifach), Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 17, 15 % Holzrahmenanteil; Spanplatte d: 1,6 cm	21,09 m ²
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	134,47 m ²
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	27,67 m ²
E4 1_1072	Doppelhaustrennwand Haus D F 90: Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dämmung Mineralwolle d: 10, 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d:3,5 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	54,13 m ²
	Kategorie Fenster/Fenstertüren	
E5 1_189	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	19,33 m ²
E5 1_193	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	4,85 m ²
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelschnittholz, Deckfarbe (zweifach)	24,18 m ²
	Kategorie Innenwände	
E6 1_2000	Innenwand Ziegel d: 24 cm, Ziegel (1200 kg/m ³)	58,44 m ²
E6 1_1068	Innenwand Ziegel d: 11,5 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m ³)	22,51 m ²
E6 1_1073	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 19 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	21,32 m ²
E6 1_1074	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 16,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	5,74 m ²
E6 1_1075	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 10,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	85,46 m ²
E6 1_1076	Innenwand Holzrahmen: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Mineralfaserplatte d: 9,5 cm, davon 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	16,90 m ²
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	m ²
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	26,61 m ²
	Kategorie Decken/Böden	
D2 2_1009	Betonboden d: 25 cm, Normalbeton; Splitt	98,78 m ²
E0 1_1077	Holzbalkendecke Haus D: Estrich d: 6,0 cm; PE-Folie; Mineralwolle d: 4,0 cm; Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; Gipskartonplatte; Dispersionsfarbe (zweifach)	192,74 m ²

Teil 2 Tabelle A2.83 Zusammenstellung der Elemente von Haus DII.

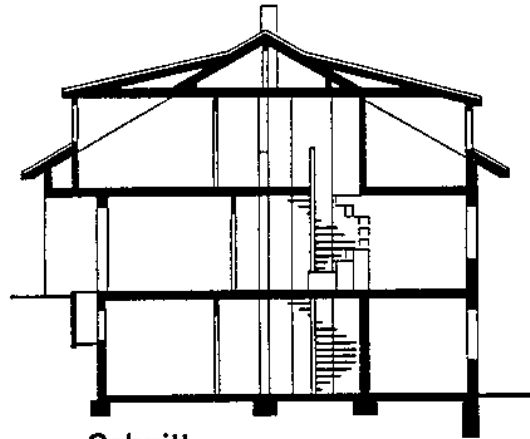
Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
E0 1_1078	Holzbalkendecke Haus D OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; 1,0 cm Gipskartonplatte; Dispersionsfarbe (zweifach)	29,22 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	179,38 m ²
M3 1_1090	Zementestrich d: 6,0 cm	98,78 m ²
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	50,85 m ²
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	47,20 m ²
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel, 6 mm Steinfliesen	75,99 m ²
	Kategorie Dächer	
E1 1_1083	Dachkonstruktion Holz (Haus D): Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	154,99 m ²
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	134,99 m ²
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt	8,10 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt	19,80 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	154,99 m ²
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	3 Stück
	Kategorie Technik	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	6
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	1
I2 1_258	Hausanschluss Gas	1
I2 2_265	Elektroheizkörper, Einzelofen	11
I5 3_310	Warmwasser- Speicher	1
	Kategorie Sonstiges	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	183,78 m ³
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 30x55cm	61,83 m
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x40cm	15,82 m
E3 5_125	Lichtschacht aus Ort beton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	2 Stück
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	9,13 m ²
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	31,79 m ²
E0 2_67	Geschosstreppe Holz, 28,2 kg Nadelschnittholz, 2 kg Deckfarbe	8,06 m ²

Tabelle A2.85 Zusammenstellung der Elemente von Haus E

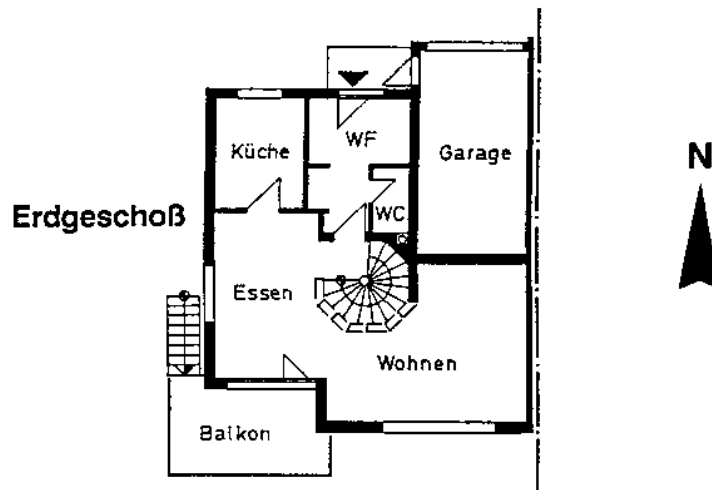
Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	Kategorie Außenwand/Fassade	
E4 1_1030	Außenwand Porenbeton d: 37.5cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	120,73 m ²
E4 1_1032	Außenwand Porenbeton d: 30 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	6,26 m ²
E4 1_1033	Außenwand Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	7,50 m ²
E4 1_1035	Außenwand Porenbeton d: 14 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	6,69 m ²
E4 1_1036	Außenwand Porenbeton d: 12,5 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	7,02 m ²
E4 1_1036	Außenwand Porenbeton d: 12,5 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	14,20 m ²
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm, Dispersionsfarbe (zweifach)	126,92 m ²
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm, Nadelnschmittholz, Deckfarbe (zweifach)	14,20 m ²
E4 1_1034	Außenwand Porenbeton d: 17,5 cm, Gasbeton (400 kg/m ³)	89,80 m ²
	Kategorie Fenster/Fenstertüren	
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	29,43 m ²
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet), Holzrahmen	4,21 m ²
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm, Nadelnschmittholz, Deckfarbe (zweifach)	33,64 m ²
	Kategorie Innenwände	
E6 1_1042	Innenwand Porenbeton d: 30 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	32,84 m ²
E6 1_1043	Innenwand Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	80,08 m ²
E6 1_1044	Innenwand Porenbeton d: 12,5 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	92,73 m ²
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	586,35 m ²
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten, Mineralputz d: 3 cm, 6 mm Keramik	26,27 m ²
	Kategorie Decken/Böden	
D2 2_41	Betonboden d: 12 cm, Normalbeton; Splitt	96,01 m ²
E0 1_1037	Decke Porenbeton d: 25 cm, Gasbeton (700 kg/m ³), Betonstahlmatte	222,04 m ²
M8 1_1021	Polyurethan Hartschaum d: 1,5 cm	32,80 m ²
M8 1_1018	Polyurethan Hart schaum d: 1,5 cm	32,80 m ²
M8 2_1094	Polyurethan Hartschaum d: 3,5 cm; Mineralfaser (trittfest) d: 1,2 cm	149,69 m ²
M3 1_1005	Zementestrich d: 5,5 cm	225,56 m ²
M5 1_1028	Innerer Deckenputz d: 1,5 cm, Mineralputz, Dispersionsfarbe (zweifach)	187,29 m ²
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt, 3mm Linoleum, 1mm Kleber	61,02 m ²
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen, 5 mm Polypropylen, 1mm Kleber	58,51 m ²
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel, 6 mm Steinfliesen	43,86 m ²
	Kategorie Dächer	
E1 1_1040	Dachkonstruktion Porenbeton: Deckung inkl. Lattung, Mineralwolle d: 18 cm; Porenbeton d: 14,5 cm, Gasbeton (500 kg/m ³)	140,07 m ²
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg Zink; 0,078 kg Stahl feuerverzinkt	14,00 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg Zink; 0,459 kg Stahl feuerverzinkt	26,71 m

Teil 2 Tabelle A2.85 Zusammenstellung der Elemente von Haus E

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg Stahl feuerverzinkt	140,07 m ²
	Kategorie Technik	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	7
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	1
I2 1_258	Hausanschluss Gas	1
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	1
I2 4_274	Bodenheizung Kunststoff	140,36 m ²
I5 3_310	Warmwasser- Speicher	1
I2 5_276	Heizungskamin	20,10 m
	Kategorie Sonstiges	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	174,88 m ³
D2 1_35	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 50x50cm	65,44 m
D2 1_1004	Streifenfundamente mit Aushub, Normalbeton, Betonstahlmatte, 85x50cm	9,95 m
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	10,98 m ²
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m ³ Normalbeton, Betonstahlmatte	2 Stück
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz, 1 kg Stahl unlegiert, Deckfarbe (zweifach)	6,42 m ²
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm, Hartfaserplatte d: 1 cm, 1 kg Aluminium, Deckfarbe (zweifach)	31,72 m ²
E0 2_66	Betonelementtreppe d: 20 cm; Betonfertigteil	9,42 m ²
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton, Betonstahlmatte	2,50 m



Schnitt



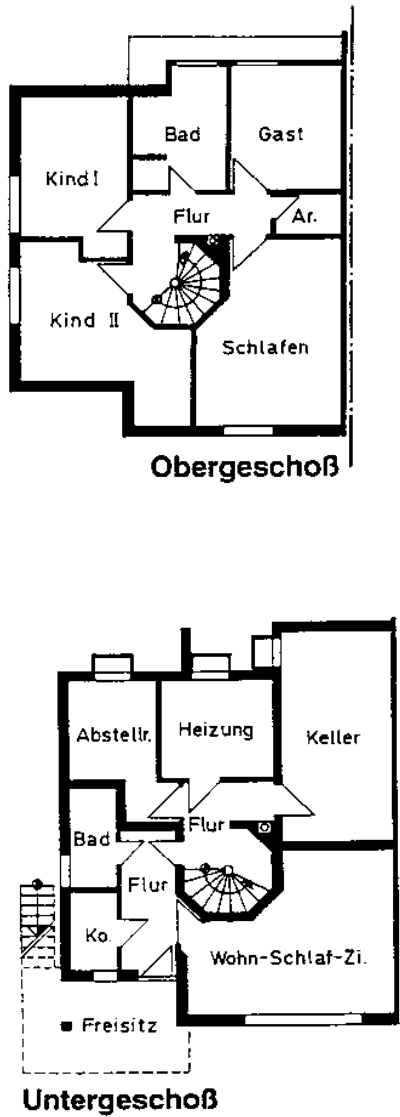


Abbildung A2.69 Grundriss und Schnitt des Referenzhauses

Tabelle A1.86 Übersicht über den Anteil der Bewehrung (Betonstahlmatte) in den betroffenen Elementen.

Elemente	Masse Betonstahlmatte/Volumen Normalbeton
Fundamente	70 kg/m ³
Kellerböden	70 kg/m ³
Decken Stahlbeton	80 kg/m ³
Außenwand Stahlbeton	80 kg/m ³
Balkonplatte Stahlbeton	80 kg/m ³
Stütze Stahlbeton	80 kg/m ³
Decken Porenbeton	80 kg/m ³
Dachplatten Porenbeton	80 kg/m ³

Tabelle A1.87 Dachdeckung aller Hausvarianten

Schicht	Masse Schicht/Fläche
Deckung (Ziegel)	50 kg/m ²
Lattung (Nadelschnittholz)	11,75 kg/m ² (2,5 cm)

Tabelle A1 88 Fenster

Material	Menge/Quadratmeter Fenster
Holzrahmen	15 kg/m ² Nadelschnittholz 1,33 kg/m ² Deckfarbe
PVC-Rahmen	10,48 kg/m ² PVC schlagfest 8,35 kg/m ² Stahl unlegiert
Glas (Flachglas beschichtet und/oder unbeschichtet)	8 kg/m ² und Scheibe
Abstandshalter (Aluminium)	0,89 kg/m ² (Zweischeibenfenster) 1,78 kg/m ² (Dreischeibenfenster)
Fensterkitt	0,44 kg/m ² Paste/Leim/Kitt

Für folgende Baustoffe werden die Massen entsprechend der erforderlichen Dichten (siehe Elementbeschreibung) umgerechnet:

- Gasbeton
- Ziegel
- Porenton-Mauerblock
- Bims-Hohlblockstein
- Kalksandstein
- Leichtbeton

Tabelle A1.89 Zusammensetzung der Elemente der Installation

Index	Elementbezeichnung	PE (LD) [kg]	PVC [kg]	Stahl unleg. [kg]	Kupfer [kg]	Sonstiges [kg]
I0 4_236	Wohnräume, bis 25m ²	5,5	1,93	0,061	2,32	0,235 kg Nadelschnitt- holz
I0 4_237	Küchen, bis 15m ²	2,86	3,04	0,336	1,28	0,235 kg Nadelschnitt- holz
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m ² , trocken	1,54	0,57	0,179	0,68	0,235 kg Nadelschnitt- holz
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50m ²	8,36	2,86	0,903	3,44	-
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25m ²	4,84	1,83	0,5355	2,45	-
I2 1_258	Hausanschluss Gas	20	-	-	-	12 kg Stahl feuerverzinkt 900 kg Splitt
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW	3,81	-	124,36	4,44	65,04 kg Gusseisen 2,55 kg Deckfarbe 1,59 kg Aluminium 2,22 kg Mineralwolle
I2 2_265	Elektroheizkörper, Einzelofen	0,5	-	4	0,5	0,5 kg Keramik
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m ²	-	-	25	-	1,6 m ² Trockenlack
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m ²	-	-	62,5	-	4 m ² Trockenlack
I2 4_274	Bodenheizung Kunststoff, m ² bei 40 W/m ²	1,16	-	-	-	2 kg Polystyrol
I2 5_276	Heizungskamin, dreischalig, Schamotte, Mineralf., Leichtp., Einzüger, 14x14cm	-	-	-	-	446,4 kg Ziegel 1 kg Gusseisen 0,36 kg Mineralwolle 16,92 kg Nadelschnitt- holz 1,8 kg Deckfarbe 12,6 kg Mauermörtel MG2 0,058 kg Gasbeton
I5 2_308	Solarkollektor, Aufbaukollektor einfach	-	-	0,38	-	2,86 kg Aluminium 0,474 kg Mineralwolle 2,04 kg PUR Hartschaum 0,132 kg Kitt 7,5 kg Flachglas
I5 3_310	Warmwasser- Speicher, indirekt beheizt, 400 l	3,88	-	126,8	4,53	66,31 kg Gusseisen 2,6 kg Deckfarbe 1,62 kg Aluminium 2,25 kg Mineralwolle

Tabelle A1.90 Für die Erstellung der Elemente verwendete Baustoffmodule. Die Baustoffe Gasbeton, Ziegel und Porenton werden gemäß der jew. angegebenen Dichten umgerechnet.

In Elemente eingesetzter Baustoff	Einheit	Referenzierter Baustoff	Verschn. [%]	Dichte [kg/m³]	Entsorgungsprozeß
Aushubmaterial	m3	Aushubmaterial	-	1800	Abfälle in Inertstoffdeponie
Kies/Sand/Splitt	m3	Splitt	11,5	1800	Abfälle in Inertstoffdeponie
Normalbeton	m3	Beton (ohne Armierungseisen)	15,5	2400	Beton in Inertstoffdeponie
Betonfertigteile (Wandplatte)	t	Betonfertigteile (Wandplatte)	7	2400	Beton in Inertstoffdeponie
Gipskartonplatte	kg	Gipsplatte	20,5	900	Abfälle in Inertstoffdeponie
Außenputz mineralisch	kg	Zement-Maschinenputz 1	10,8	2000	Abfälle in Inertstoffdeponie
Mineralputz	m3	Kalk-Zement-Maschinenputz 1	10,8	1800	Abfälle in Inertstoffdeponie
Zementmörtel	kg	Zement-Maschinenputz 1	10,8	2000	Beton in Inertstoffdeponie
Zement Unterlagsboden	kg	Zement-Maschinenputz 1	10,8	2000	Beton in Inertstoffdeponie
Bims-Hohlblockstein	t	Bims-Hohlblockstein	8,5	1250	Abfälle in Inertstoffdeponie
Mauerwerk KS	m3	Kalksandstein (DIN 106)	8,5	1600	Abfälle in Inertstoffdeponie
Porenton-Mauerblock	t	Porenton-Mauerblock	8,5	900	Abfälle in Inertstoffdeponie
Gasbeton (kg)	kg	Ytong	5,8	600	Abfälle in Inertstoffdeponie
Ziegel	kg	Ziegel	8,5	1600	Abfälle in Inertstoffdeponie
Dachziegel (kg)	kg	Ziegel	8,5	1600	Abfälle in Inertstoffdeponie
Betonstahlmatte	t	Betonstahlmatte	21,5	7850	Stahl in Inertstoffdeponie
Stahl unlegiert	kg	Stahl unlegiert	21,5	7850	Stahl in Inertstoffdeponie
Stahlblech verzinkt	kg	Stahlblech verzinkt	21,5	7800	Stahl in Inertstoffdeponie
Stahl feuerverzinkt	kg	Stahlblech verzinkt	1	7800	Stahl in Inertstoffdeponie
Zink (kg)	kg	Zink für Verzinkung	2	6900	Abfälle in Reststoffdeponie
Aluminium 0% Rec.	kg	Aluminium 0% Rec.	21	2700	Abfälle in Reststoffdeponie
Kupfer	kg	Kupfer	16	8900	Kupfer in Inertstoffdeponie
Glas (Flach-) beschichtet	kg	Glas (Flach-) beschichtet	3	2500	Abfälle in Inertstoffdeponie
Glas (Flach-) unbeschichtet	kg	Glas (Flach-) unbeschichtet	3	2500	Abfälle in Inertstoffdeponie
PE (LD)	kg	PE (LD)	10,75	940	PE in KVA
Vlies (PE)	kg	Vlies (PE)	fehlt	fehlt	PE in KVA
PE-Dichtungsbahn	kg	PE-Dichtungsbahn	fehlt	940	PE in KVA
Polypropylen	kg	Polypropylen	10,75	900	Kunststoffe in KVA
PVC schlagfest	kg	PVC schlagfest	10,75	1380	PVC in KVA
Schnittholz Brett-	kg	Schnittholz Brett-	20,5	470	Holz unbehandelt in KVA
Schnittholz kant-	kg	Schnittholz kant-	20,5	470	Holz unbehandelt in KVA
Schnittholz allgemein	m3	Schnittholz kant-	20,5	470	Holz unbehandelt in KVA
Nadelschnittholz (m3)	m3	Schnittholz Brett-	20,5	470	Holz unbehandelt in KVA
Nadelschnittholz (Schalung)	m3	Schnittholz Brett-	20,5	470	Holz unbehandelt in KVA
Spanplatte	kg	Spanplatte	20,5	700	Holz unbehandelt in KVA
Hartfaserplatte	kg	Hartfaserplatte	20,5	900	Holz unbehandelt in KVA
Holzwohle-Leichtbaupl. magn.	m3	Holzwohle-Leichtbaupl. magn.	fehlt	400	Holz unbehandelt in KVA
Mineralwolle	kg	Mineralwolle	5,75	30	Mineralwolle in Inertstoffdeponie
Mineralfaserplatten	m3	Mineralwolle	5,75	30	Mineralwolle in Inertstoffdeponie
Mineralfaser (trittfest)	m3	Mineralwolle	5,75	145	Mineralwolle in Inertstoffdeponie
Polystyrolplatte	m3	Polystyrolplatte	10,75	30	Polystyrol in KVA
PUR-Hartschaum (m3)	m3	PUR-Hartschaum	10,75	30	Kunststoffe in KVA
Paste/Leim/Kitt	cm3	Dispersionsspachtel	25	1200	Abfälle in SAVA
Kleber Haftgrund	kg	Dispersionsspachtel	fehlt	1200	Abfälle in SAVA
Deckfarbe (m²)	m²	0,12 kg Deckfarbe	5,5	1100	Deckfarbe in Inertstoffdeponie
Trockenlack	m²	0,2 kg Deckfarbe	5,5	1100	Deckfarbe in Inertstoffdeponie
Dispersionsfarbe (m²)	m²	0,12 kg Dispersionsfarbe	5,5	1100	Deckfarbe in Inertstoffdeponie
Zementestrich (m3)	m3	Zement-Maschinenputz 1	10,8	2000	Beton in Inertstoffdeponie
Linoleum 3 mm	m²	3 kg Fußbodenbelag-Linoleum	20,5	1000	Holz unbehandelt in KVA
Fußbodenfliese, Steinzeug	t	Fußbodenfliese, Steinzeug	17,5	2000	Abfälle in Inertstoffdeponie
Mauermörtel MG2	t	Mauermörtel MG2	8,5	1800	Abfälle in Inertstoffdeponie
Keramik	kg	Keramik	17,5	2000	Abfälle in Inertstoffdeponie

Tabelle A1.91 Werte für Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PEB n.e.), Primärenergiebedarf erneuerbar (PEB e.) und Treibhauseffekt, Zeithorizont 100 Jahre, (GWP 100) aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m², m³ etc.) findet sich in Tabelle A1.70. Als Lebensdauer wird die in Tabelle A1.70 genannte, mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.

Element-index	Neubau PEB n.e. [TJ]	Erneuerung PEB n.e. [TJ]	Rückbau PEB n.e. [TJ]	Unterhalt PEB n.e. [TJ/Jahr]	Neubau PEB e. [TJ]	Erneuerung PEB e. [TJ]	Rückbau PEB e. [TJ]	Unterhalt PEB e. [TJ/Jahr]	Neubau GWP 100 [kg CO2 Äq.]
D0 1_29	3,83E-05	4,03E-05	1,98E-06	0,00E+00	3,06E-06	3,43E-06	3,73E-07	0,00E+00	1,72E+00
D2 1_35	1,63E-03	1,65E-03	1,92E-05	0,00E+00	7,98E-05	8,20E-05	2,20E-06	0,00E+00	1,54E+02
D2 1_1000	9,69E-04	9,80E-04	1,11E-05	7,95E-08	5,75E-05	5,87E-05	1,13E-06	3,71E-09	9,13E+01
D2 1_1001	1,07E-03	1,08E-03	1,20E-05	8,74E-08	6,05E-05	6,17E-05	1,24E-06	4,08E-09	1,01E+02
D2 1_1002	2,26E-03	2,28E-03	2,37E-05	1,85E-07	9,67E-05	9,93E-05	2,60E-06	8,65E-09	2,16E+02
D2 1_1003	2,19E-03	2,22E-03	2,31E-05	1,80E-07	9,48E-05	9,73E-05	2,53E-06	8,42E-09	2,10E+02
D2 1_1004	2,74E-03	2,77E-03	2,84E-05	2,25E-07	1,11E-04	1,15E-04	3,16E-06	1,05E-08	2,63E+02
D2 2_41	7,41E-04	7,53E-04	1,16E-05	0,00E+00	2,58E-05	2,66E-05	8,81E-07	0,00E+00	6,77E+01
D2 2_1006	9,27E-04	9,41E-04	1,45E-05	7,77E-08	3,14E-05	3,25E-05	1,10E-06	3,63E-09	8,46E+01
D2 2_1007	1,11E-03	1,13E-03	1,73E-05	9,32E-08	3,69E-05	3,83E-05	1,32E-06	4,35E-09	1,02E+02
D2 2_1008	1,24E-03	1,25E-03	1,92E-05	1,04E-07	4,07E-05	4,21E-05	1,47E-06	4,83E-09	1,13E+02
D2 2_1009	1,54E-03	1,57E-03	2,40E-05	1,29E-07	5,00E-05	5,18E-05	1,83E-06	6,04E-09	1,41E+02
E0 1_1037	2,00E-03	2,01E-03	1,40E-05	1,69E-07	6,88E-05	7,11E-05	2,33E-06	7,88E-09	1,45E+02
E0 1_1077	1,13E-03	1,15E-03	1,64E-05	1,04E-06	1,34E-03	1,34E-03	1,65E-06	8,00E-08	-5,91E+01
E0 1_1078	7,22E-04	7,37E-04	1,52E-05	1,04E-06	1,33E-03	1,33E-03	1,64E-06	8,00E-08	-8,95E+01
E0 1_1079	2,49E-04	2,63E-04	1,40E-05	1,16E-06	1,15E-03	1,15E-03	1,63E-06	9,04E-08	-1,09E+02
E0 1_1091	1,97E-03	1,98E-03	1,40E-05	1,69E-07	6,78E-05	7,01E-05	2,33E-06	7,88E-09	1,41E+02
E0 1_52	1,10E-03	1,13E-03	2,73E-05	0,00E+00	3,26E-04	3,28E-04	1,54E-06	0,00E+00	7,43E+01
E0 1_53	1,23E-03	1,26E-03	2,86E-05	0,00E+00	3,31E-04	3,32E-04	1,70E-06	0,00E+00	8,60E+01
E0 2_66	1,49E-03	1,53E-03	3,62E-05	0,00E+00	9,39E-05	9,99E-05	6,00E-06	0,00E+00	1,13E+02
E0 2_67	1,66E-04	2,55E-04	8,93E-05	0,00E+00	8,50E-04	8,66E-04	1,60E-05	0,00E+00	-6,63E+01
E0 3_1025	1,10E-03	1,15E-03	4,85E-05	2,16E-07	3,93E-04	3,96E-04	3,34E-06	1,01E-08	6,67E+01
E1 1_1039	2,35E-03	2,41E-03	5,97E-05	4,66E-06	7,02E-04	7,12E-04	1,04E-05	7,37E-06	9,36E+01
E1 1_1040	2,27E-03	2,33E-03	5,95E-05	4,66E-06	6,98E-04	7,09E-04	1,04E-05	7,37E-06	8,36E+01
E1 1_1080	1,20E-03	1,30E-03	9,96E-05	4,84E-06	1,15E-03	1,17E-03	1,77E-05	4,57E-06	-4,44E+01
E1 1_1081	1,24E-03	1,34E-03	9,97E-05	4,84E-06	1,16E-03	1,18E-03	1,77E-05	4,57E-06	-4,29E+01

Element-index	Neubau PEB n.e. [TJ]	Erneuerung PEB n.e. [TJ]	Rückbau PEB n.e. [TJ]	Unterhalt PEB n.e. [TJ/Jahr]	Neubau PEB e. [TJ]	Erneuerung PEB e. [TJ]	Rückbau PEB e. [TJ]	Unterhalt PEB e. [TJ/Jahr]	Neubau GWP 100 [kg CO2 Äq.]
E1 1_1082	1,22E-03	1,32E-03	9,83E-05	4,84E-06	9,25E-04	9,43E-04	1,77E-05	4,57E-06	-2,18E+01
E1 1_1083	1,24E-03	1,34E-03	1,00E-04	4,84E-06	1,27E-03	1,29E-03	1,77E-05	4,57E-06	-5,26E+01
E1 3_600	4,60E-04	4,64E-04	4,02E-06	0,00E+00	1,92E-05	1,93E-05	3,58E-08	0,00E+00	2,74E+01
E1 3_601	9,74E-05	9,84E-05	9,54E-07	0,00E+00	3,54E-06	3,55E-06	8,51E-09	0,00E+00	5,72E+00
E1 7_104	1,58E-03	1,70E-03	1,21E-04	0,00E+00	4,45E-04	4,61E-04	1,64E-05	0,00E+00	6,61E+01
E1 7_105	3,35E-03	3,55E-03	2,01E-04	0,00E+00	1,06E-03	1,08E-03	2,22E-05	0,00E+00	1,47E+02
E1 8_113	3,63E-05	3,74E-05	1,04E-06	0,00E+00	8,19E-07	9,50E-07	1,32E-07	0,00E+00	1,94E+00
E2 1_1026	1,67E-03	1,73E-03	5,79E-05	1,48E-07	8,19E-05	8,41E-05	2,20E-06	6,91E-09	2,23E+02
E3 1_1027	1,31E-03	1,34E-03	3,52E-05	1,93E-07	1,05E-04	1,07E-04	2,75E-06	9,02E-09	1,19E+02
E3 1_1087	1,31E-03	1,35E-03	3,70E-05	1,93E-07	1,05E-04	1,07E-04	2,80E-06	9,02E-09	1,24E+02

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E3 5_125	2,34E-03	2,42E-03	8,15E-05	0,00E+00	1,41E-03	1,42E-03	9,58E-06	0,00E+00	7,83E+01
E4 1_1030	8,93E-04	9,10E-04	1,69E-05	2,09E-07	4,78E-05	5,07E-05	2,88E-06	9,74E-09	8,28E+01
E4 1_1031	8,71E-04	8,87E-04	1,64E-05	2,03E-07	4,65E-05	4,93E-05	2,80E-06	9,46E-09	8,07E+01
E4 1_1032	7,37E-04	7,50E-04	1,35E-05	1,66E-07	3,86E-05	4,09E-05	2,30E-06	7,75E-09	6,83E+01
E4 1_1033	6,32E-04	6,43E-04	1,13E-05	1,38E-07	3,25E-05	3,44E-05	1,90E-06	6,43E-09	5,86E+01
E4 1_1034	4,83E-04	4,91E-04	8,10E-06	9,72E-08	2,38E-05	2,51E-05	1,34E-06	4,54E-09	4,48E+01
E4 1_1035	4,08E-04	4,15E-04	6,50E-06	7,70E-08	1,94E-05	2,05E-05	1,06E-06	3,59E-09	3,78E+01
E4 1_1036	3,79E-04	3,84E-04	5,86E-06	6,89E-08	1,77E-05	1,86E-05	9,53E-07	3,21E-09	3,51E+01
E4 1_1045	5,13E-04	5,29E-04	1,55E-05	1,50E-07	2,39E-05	2,60E-05	2,10E-06	7,00E-09	4,54E+01
E4 1_1046	4,61E-04	4,78E-04	1,73E-05	1,50E-07	2,29E-05	2,50E-05	2,14E-06	7,00E-09	4,67E+01
E4 1_1047	2,25E-04	2,33E-04	7,30E-06	7,50E-08	1,14E-05	1,24E-05	1,04E-06	3,50E-09	1,90E+01
E4 1_1048	2,97E-04	3,08E-04	1,13E-05	1,07E-07	1,62E-05	1,77E-05	1,49E-06	5,00E-09	2,73E+01
E4 1_1049	2,05E-04	2,12E-04	6,69E-06	6,90E-08	1,04E-05	1,14E-05	9,57E-07	3,22E-09	1,73E+01
E4 1_1050	4,50E-04	4,67E-04	1,72E-05	1,50E-07	2,35E-05	2,56E-05	2,09E-06	7,00E-09	4,32E+01
E4 1_1051	4,34E-04	4,49E-04	1,49E-05	1,44E-07	2,19E-05	2,39E-05	2,02E-06	6,72E-09	3,92E+01
E4 1_1052	5,25E-04	5,41E-04	1,62E-05	1,44E-07	2,34E-05	2,54E-05	2,03E-06	6,72E-09	4,96E+01
E4 1_1053	5,22E-04	5,36E-04	1,46E-05	1,50E-07	2,41E-05	2,62E-05	2,08E-06	7,00E-09	4,34E+01
E4 1_1057	7,22E-04	7,39E-04	1,77E-05	1,68E-06	2,27E-05	2,54E-05	2,74E-06	3,77E-08	7,29E+01
E4 1_1058	5,68E-04	5,83E-04	1,47E-05	1,65E-06	1,76E-05	1,99E-05	2,34E-06	3,63E-08	5,59E+01
E4 1_1059	4,14E-04	4,22E-04	8,06E-06	7,88E-08	1,36E-05	1,47E-05	1,09E-06	3,68E-09	4,58E+01

Element-index	Neubau PEB n.e. [TJ]	Erneuerung PEB n.e. [TJ]	Rückbau PEB n.e. [TJ]	Unterhalt PEB n.e. [TJ/Jahr]	Neubau PEB e. [TJ]	Erneuerung PEB e. [TJ]	Rückbau PEB e. [TJ]	Unterhalt PEB e. [TJ/Jahr]	Neubau GWP 100 [kg CO2 Äq.]
E4 1_1060	2,84E-04	2,89E-04	5,53E-06	5,40E-08	9,36E-06	1,01E-05	7,50E-07	2,52E-09	3,14E+01
E4 1_1061	3,61E-04	3,70E-04	8,85E-06	8,40E-07	1,13E-05	1,27E-05	1,37E-06	1,88E-08	3,64E+01
E4 1_1062	2,72E-04	2,77E-04	5,30E-06	5,18E-08	8,97E-06	9,69E-06	7,19E-07	2,42E-09	3,01E+01
E4 1_1065	1,23E-03	1,24E-03	1,05E-05	1,16E-07	5,45E-05	5,61E-05	1,61E-06	5,42E-09	1,05E+02
E4 1_1066	4,90E-04	4,96E-04	6,32E-06	7,61E-08	2,44E-05	2,54E-05	1,05E-06	3,55E-09	4,04E+01
E4 1_1069	4,18E-04	4,33E-04	1,51E-05	1,08E-06	7,76E-04	7,78E-04	2,13E-06	8,16E-08	-6,43E+01
E4 1_1070	3,80E-04	3,95E-04	1,50E-05	1,08E-06	7,75E-04	7,77E-04	2,12E-06	8,16E-08	-6,72E+01
E4 1_1071	4,22E-04	4,39E-04	1,71E-05	1,08E-06	1,30E-03	1,30E-03	2,15E-06	8,16E-08	-1,29E+02
E4 1_1072	4,96E-04	5,38E-04	4,15E-05	4,96E-06	2,54E-04	2,57E-04	2,69E-06	3,99E-07	3,29E+01
E4 1_1086	7,64E-04	7,74E-04	9,68E-06	7,88E-08	2,37E-05	2,48E-05	1,10E-06	3,68E-09	8,33E+01
E4 1_1092	5,22E-04	5,39E-04	1,73E-05	1,50E-07	2,41E-05	2,63E-05	2,14E-06	7,00E-09	4,40E+01
E4 3_1084	1,38E-04	1,44E-04	5,53E-06	3,73E-07	3,43E-06	4,47E-06	1,04E-06	1,68E-08	8,81E+00
E4 4_183	8,99E-05	9,78E-05	7,93E-06	1,68E-06	3,27E-04	3,28E-04	1,17E-06	1,10E-07	-2,44E+01
E5 1_189	7,21E-04	7,65E-04	4,38E-05	3,59E-06	3,84E-04	3,89E-04	4,84E-06	2,35E-07	1,36E+01
E5 1_193	7,30E-04	7,74E-04	4,49E-05	3,77E-06	3,85E-04	3,90E-04	5,04E-06	2,47E-07	1,39E+01
E5 1_198	1,18E-03	1,29E-03	1,10E-04	0,00E+00	6,00E-05	6,86E-05	8,61E-06	0,00E+00	7,04E+01
E5 5_206	6,39E-04	7,20E-04	8,05E-05	8,15E-06	8,71E-04	8,85E-04	1,43E-05	5,34E-07	-5,17E+01
E5 7_213	2,97E-04	3,23E-04	2,67E-05	1,26E-05	1,55E-04	1,60E-04	4,88E-06	8,28E-07	-8,70E-01
E6 1_1042	7,78E-04	7,96E-04	1,81E-05	2,31E-07	4,74E-05	5,06E-05	3,19E-06	1,08E-08	7,11E+01
E6 1_1043	6,51E-04	6,66E-04	1,52E-05	1,93E-07	3,96E-05	4,23E-05	2,67E-06	9,01E-09	5,94E+01
E6 1_1044	3,23E-04	3,31E-04	7,52E-06	9,59E-08	1,97E-05	2,10E-05	1,32E-06	4,48E-09	2,95E+01
E6 1_1063	3,21E-04	3,32E-04	1,03E-05	1,20E-07	2,13E-05	2,29E-05	1,66E-06	5,62E-09	3,05E+01
E6 1_1064	4,89E-04	5,05E-04	1,57E-05	1,83E-07	3,24E-05	3,49E-05	2,53E-06	8,54E-09	4,64E+01
E6 1_1067	9,98E-04	1,01E-03	9,13E-06	1,03E-07	4,61E-05	4,76E-05	1,43E-06	4,82E-09	8,39E+01
E6 1_1068	4,90E-04	4,96E-04	6,32E-06	7,61E-08	2,44E-05	2,54E-05	1,05E-06	3,55E-09	4,04E+01

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E6_1_1073	2,13E-04	2,22E-04	8,45E-06	2,20E-06	1,31E-05	1,46E-05	1,55E-06	1,75E-07	1,42E+01
E6_1_1074	2,01E-04	2,10E-04	8,45E-06	2,20E-06	1,27E-05	1,43E-05	1,55E-06	1,75E-07	1,33E+01
E6_1_1075	1,71E-04	1,80E-04	8,44E-06	2,20E-06	1,20E-05	1,36E-05	1,55E-06	1,75E-07	1,10E+01
E6_1_1076	1,66E-04	1,75E-04	8,43E-06	2,20E-06	1,19E-05	1,34E-05	1,55E-06	1,75E-07	1,07E+01

Element-index	Neubau PEB n.e. [TJ]	Erneuerung PEB n.e. [TJ]	Rückbau PEB n.e. [TJ]	Unterhalt PEB n.e. [TJ/Jahr]	Neubau PEB e. [TJ]	Erneuerung PEB e. [TJ]	Rückbau PEB e. [TJ]	Unterhalt PEB e. [TJ/Jahr]	Neubau GWP 100 [kg CO2 Äq.]
I0_4_236	1,11E-03	1,17E-03	6,00E-05	0,00E+00	5,85E-05	6,72E-05	8,70E-06	0,00E+00	4,13E+01
I0_4_237	8,31E-04	9,14E-04	8,26E-05	0,00E+00	7,10E-05	8,52E-05	1,41E-05	0,00E+00	2,63E+01
I0_4_239	5,37E-03	5,51E-03	1,41E-04	0,00E+00	1,74E-04	1,81E-04	7,20E-06	0,00E+00	2,79E+02
I0_4_244	2,12E-02	2,18E-02	5,33E-04	0,00E+00	6,37E-04	6,60E-04	2,25E-05	0,00E+00	1,11E+03
I0_4_245	8,59E-03	8,81E-03	2,18E-04	0,00E+00	2,60E-04	2,69E-04	9,90E-06	0,00E+00	4,45E+02
I2_2_258	3,08E-03	3,11E-03	3,12E-05	0,00E+00	3,71E-05	3,75E-05	4,37E-07	0,00E+00	1,23E+02
I2_2_261	1,11E-02	1,12E-02	1,43E-04	0,00E+00	2,71E-04	2,72E-04	1,32E-06	0,00E+00	6,27E+02
I2_2_265	2,69E-04	2,73E-04	3,61E-06	0,00E+00	5,95E-06	5,99E-06	3,73E-08	0,00E+00	1,34E+01
I2_4_270	9,67E-04	9,67E-04	2,08E-07	0,00E+00	2,11E-05	2,11E-05	6,45E-10	0,00E+00	5,26E+01
I2_4_271	2,42E-03	2,42E-03	5,21E-07	0,00E+00	5,28E-05	5,28E-05	1,61E-09	0,00E+00	1,31E+02
I2_4_274	1,33E-04	1,36E-04	2,40E-06	0,00E+00	1,23E-06	1,28E-06	5,32E-08	0,00E+00	8,97E+00
I2_5_276	2,56E-03	2,59E-03	3,07E-05	0,00E+00	6,26E-04	6,30E-04	4,46E-06	0,00E+00	1,63E+02
I5_2_308	1,23E-03	1,27E-03	4,09E-05	0,00E+00	1,51E-04	1,58E-04	6,27E-06	0,00E+00	7,34E+01
I5_3_310	1,13E-02	1,13E-02	8,99E-06	0,00E+00	2,76E-04	2,76E-04	1,10E-07	0,00E+00	6,38E+02
M1_6_333	1,63E-03	1,69E-03	6,40E-05	3,30E-06	2,38E-04	2,46E-04	7,84E-06	2,16E-07	7,75E+01
M³_1_1005	2,84E-04	2,90E-04	5,72E-06	6,58E-08	6,26E-06	7,17E-06	9,11E-07	3,07E-09	2,03E+01
M³_1_1090	3,07E-04	3,13E-04	5,80E-06	6,58E-08	6,72E-06	7,63E-06	9,11E-07	3,07E-09	2,20E+01
M³_3_1054	3,53E-05	4,07E-05	5,46E-06	6,76E-08	1,37E-06	2,31E-06	9,40E-07	3,16E-09	3,68E+00
M³_3_1055	5,04E-04	5,16E-04	1,19E-05	1,21E-07	1,24E-05	1,41E-05	1,74E-06	5,64E-09	1,66E+01
M³_6_1056	1,95E-04	2,03E-04	7,74E-06	0,00E+00	5,21E-06	6,66E-06	1,44E-06	0,00E+00	5,60E+00
M4_1_1029	1,70E-04	1,75E-04	4,23E-06	8,09E-06	8,49E-06	9,24E-06	7,52E-07	5,30E-07	1,06E+01
M4_6_370	2,34E-04	2,41E-04	6,85E-06	0,00E+00	4,77E-06	5,96E-06	1,19E-06	0,00E+00	1,51E+01
M5_1_1028	1,72E-04	1,76E-04	4,58E-06	8,09E-06	8,68E-06	9,50E-06	8,18E-07	5,30E-07	1,07E+01
M5_3_1024	1,80E-04	1,85E-04	4,48E-06	7,64E-06	1,27E-05	1,35E-05	8,25E-07	5,00E-07	9,47E+00
M8_1_1011	8,59E-05	8,60E-05	3,58E-08	0,00E+00	1,65E-06	1,65E-06	1,11E-10	0,00E+00	6,56E+00
M8_1_1012	1,43E-04	1,43E-04	5,96E-08	0,00E+00	2,75E-06	2,75E-06	1,85E-10	0,00E+00	1,09E+01
M8_1_1013	2,29E-04	2,29E-04	9,54E-08	0,00E+00	4,40E-06	4,40E-06	2,96E-10	0,00E+00	1,75E+01
M8_1_1015	3,44E-04	3,44E-04	1,43E-07	0,00E+00	6,60E-06	6,60E-06	4,43E-10	0,00E+00	2,62E+01
M8_1_1016	4,01E-04	4,01E-04	1,67E-07	0,00E+00	7,70E-06	7,70E-06	5,17E-10	0,00E+00	3,06E+01
M8_1_1018	1,08E-04	1,08E-04	4,77E-08	0,00E+00	2,08E-06	2,08E-06	1,48E-10	0,00E+00	8,27E+00

Element-index	Neubau PEB n.e. [TJ]	Erneuerung PEB n.e. [TJ]	Rückbau PEB n.e. [TJ]	Unterhalt PEB n.e. [TJ/Jahr]	Neubau PEB e. [TJ]	Erneuerung PEB e. [TJ]	Rückbau PEB e. [TJ]	Unterhalt PEB e. [TJ/Jahr]	Neubau GWP 100 [kg CO2 Äq.]
M8_1_1019	6,66E-05	7,17E-05	5,13E-06	0,00E+00	2,79E-04	2,79E-04	6,72E-08	0,00E+00	-1,81E+01
M8_1_1020	4,60E-06	5,97E-06	1,37E-06	0,00E+00	6,17E-08	9,20E-08	3,03E-08	0,00E+00	3,47E+00
M8_1_1021	4,58E-05	4,61E-05	3,42E-07	0,00E+00	1,97E-06	1,97E-06	7,58E-09	0,00E+00	2,39E+00
M8_1_1085	8,75E-05	8,78E-05	2,71E-07	0,00E+00	1,81E-06	1,81E-06	8,38E-10	0,00E+00	9,00E+00
M8_1_1088	5,93E-05	5,93E-05	2,47E-08	0,00E+00	1,14E-06	1,14E-06	7,64E-11	0,00E+00	4,52E+00
M8_1_1089	1,19E-04	1,19E-04	4,93E-08	0,00E+00	2,27E-06	2,28E-06	1,53E-10	0,00E+00	9,05E+00
M8_1_1094	1,53E-04	1,54E-04	8,12E-07	0,00E+00	5,74E-06	5,76E-06	1,77E-08	0,00E+00	9,08E+00

Tabelle A1.92 Werte für Ozonabbaupotenzial, Versauerungspotenzial und Überdüngungspotenzial aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m², m³ etc.) findet sich in Tabelle A1.70. Als Lebensdauer wird die in Tabelle A1.70 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.

Element-index	Neubau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Erneuerung Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Rückbau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Unterhalt Ozonabbau [kg CFC11 Äq./Jahr]	Neubau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Versauer. [kg SO2 Äq.]	Rückbau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Versauer. [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Überdüng. [kg PO4 Äq.]
D0 1_29	3,95E-06	4,11E-06	1,61E-07	0,00E+00	1,64E-02	1,66E-02	2,45E-04	0,00E+00	2,67E-03
D2 1_35	5,42E-05	5,60E-05	1,76E-06	0,00E+00	5,70E-01	5,82E-01	1,16E-02	0,00E+00	5,57E-02
D2 1_1000	3,19E-05	3,29E-05	1,00E-06	6,62E-09	3,42E-01	3,51E-01	9,37E-03	1,84E-05	3,33E-02
D2 1_1001	3,51E-05	3,62E-05	1,09E-06	7,28E-09	3,76E-01	3,85E-01	9,68E-03	2,02E-05	3,66E-02
D2 1_1002	7,43E-05	7,65E-05	2,22E-06	1,54E-08	7,95E-01	8,09E-01	1,35E-02	4,29E-05	7,75E-02
D2 1_1003	7,22E-05	7,43E-05	2,16E-06	1,50E-08	7,72E-01	7,86E-01	1,33E-02	4,17E-05	7,53E-02
D2 1_1004	9,01E-05	9,28E-05	2,67E-06	1,88E-08	9,65E-01	9,80E-01	1,50E-02	5,20E-05	9,40E-02
D2 2_41	2,82E-05	2,94E-05	1,20E-06	0,00E+00	2,74E-01	2,79E-01	5,75E-03	0,00E+00	2,85E-02
D2 2_1006	3,52E-05	3,67E-05	1,50E-06	6,47E-09	3,42E-01	3,49E-01	6,99E-03	1,80E-05	3,56E-02
D2 2_1007	4,23E-05	4,41E-05	1,80E-06	7,77E-09	4,10E-01	4,19E-01	8,24E-03	2,15E-05	4,27E-02
D2 2_1008	4,70E-05	4,90E-05	1,99E-06	8,63E-09	4,56E-01	4,65E-01	9,07E-03	2,39E-05	4,74E-02
D2 2_1009	5,87E-05	6,12E-05	2,49E-06	1,08E-08	5,70E-01	5,81E-01	1,12E-02	2,99E-05	5,93E-02
E0 1_1037	8,24E-05	8,36E-05	1,21E-06	1,41E-08	4,85E-01	4,87E-01	2,62E-03	3,90E-05	4,51E-02
E0 1_1077	4,57E-05	4,69E-05	1,23E-06	8,18E-08	5,08E-01	5,37E-01	2,86E-02	3,55E-04	5,25E-02
E0 1_1078	2,92E-05	3,03E-05	1,10E-06	8,18E-08	3,49E-01	3,76E-01	2,74E-02	3,55E-04	3,64E-02
E0 1_1079	1,32E-05	1,42E-05	1,02E-06	9,33E-08	1,09E-01	1,32E-01	2,34E-02	3,93E-04	1,28E-02
E0 1_1091	8,02E-05	8,14E-05	1,20E-06	1,41E-08	4,76E-01	4,78E-01	2,58E-03	3,90E-05	4,40E-02
E0 1_52	3,53E-05	3,73E-05	1,99E-06	0,00E+00	3,77E-01	4,46E-01	6,88E-02	0,00E+00	3,67E-02
E0 1_53	3,93E-05	4,14E-05	2,11E-06	0,00E+00	4,20E-01	4,89E-01	6,91E-02	0,00E+00	4,07E-02
E0 2_66	6,53E-05	6,84E-05	3,11E-06	0,00E+00	3,97E-01	4,04E-01	6,77E-03	0,00E+00	3,43E-02
E0 2_67	7,18E-06	1,44E-05	7,18E-06	0,00E+00	7,66E-02	1,06E-01	2,94E-02	0,00E+00	7,47E-03
E0 3_1025	4,02E-05	4,42E-05	3,93E-06	1,80E-08	3,73E-01	4,58E-01	8,56E-02	5,00E-05	3,72E-02
E1 1_1039	1,01E-04	1,06E-04	4,85E-06	2,56E-07	5,96E-01	6,17E-01	2,07E-02	2,01E-03	5,80E-02
E1 1_1040	9,34E-05	9,82E-05	4,82E-06	2,56E-07	5,79E-01	6,00E-01	2,06E-02	2,01E-03	5,58E-02
E1 1_1080	8,25E-05	9,05E-05	8,00E-06	2,85E-07	2,91E-01	3,26E-01	3,48E-02	1,90E-03	3,51E-02
E1 1_1081	8,38E-05	9,18E-05	8,01E-06	2,85E-07	3,10E-01	3,45E-01	3,51E-02	1,90E-03	3,70E-02
Element-index	Neubau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Erneuerung Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Rückbau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Unterhalt Ozonabbau [kg CFC11 Äq./Jahr]	Neubau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Versauer. [kg SO2 Äq.]	Rückbau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Versauer. [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Überdüng. [kg PO4 Äq.]
E1 1_1082	8,32E-05	9,11E-05	7,93E-06	2,85E-07	3,04E-01	3,34E-01	2,97E-02	1,90E-03	3,60E-02
E1 1_1083	8,42E-05	9,22E-05	8,04E-06	2,85E-07	3,13E-01	3,51E-01	3,76E-02	1,90E-03	3,75E-02
E1 3_600	9,84E-06	1,03E-05	4,51E-07	0,00E+00	2,35E-01	2,37E-01	1,55E-03	0,00E+00	1,17E-02
E1 3_601	2,15E-06	2,25E-06	1,07E-07	0,00E+00	4,42E-02	4,46E-02	3,67E-04	0,00E+00	2,30E-03
E1 7_104	8,45E-05	9,56E-05	1,12E-05	0,00E+00	5,25E-01	5,46E-01	2,13E-02	0,00E+00	3,45E-02
E1 7_105	1,64E-04	1,83E-04	1,96E-05	0,00E+00	1,17E+00	1,21E+00	4,03E-02	0,00E+00	7,27E-02
E1 8_113	1,10E-06	1,19E-06	9,59E-08	0,00E+00	9,97E-03	1,02E-02	2,23E-04	0,00E+00	6,68E-04
E2 1_1026	7,41E-05	8,05E-05	6,49E-06	1,23E-08	7,91E-01	8,11E-01	2,07E-02	3,42E-05	8,39E-02
E3 1_1027	4,61E-05	4,96E-05	3,52E-06	1,61E-08	4,55E-01	4,75E-01	1,94E-02	4,47E-05	4,46E-02
E3 1_1087	4,67E-05	5,03E-05	3,60E-06	1,61E-08	8,32E-01	8,58E-01	2,61E-02	4,47E-05	4,52E-02
E3 5_125	9,28E-05	1,00E-04	7,29E-06	0,00E+00	7,72E-01	8,19E-01	4,64E-02	0,00E+00	7,88E-02

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E4 1_1030	6,06E-05	6,20E-05	1,44E-06	1,74E-08	2,48E-01	2,51E-01	2,95E-03	4,82E-05	2,80E-02
E4 1_1031	5,89E-05	6,03E-05	1,40E-06	1,69E-08	2,42E-01	2,45E-01	2,87E-03	4,68E-05	2,73E-02
E4 1_1032	4,90E-05	5,01E-05	1,16E-06	1,38E-08	2,06E-01	2,08E-01	2,40E-03	3,84E-05	2,31E-02
E4 1_1033	4,12E-05	4,22E-05	9,67E-07	1,15E-08	1,78E-01	1,80E-01	2,04E-03	3,18E-05	1,98E-02
E4 1_1034	3,01E-05	3,08E-05	6,97E-07	8,10E-09	1,38E-01	1,39E-01	1,52E-03	2,25E-05	1,52E-02
E4 1_1035	2,45E-05	2,51E-05	5,62E-07	6,41E-09	1,18E-01	1,19E-01	1,26E-03	1,78E-05	1,28E-02
E4 1_1036	2,23E-05	2,28E-05	5,08E-07	5,74E-09	1,10E-01	1,11E-01	1,15E-03	1,59E-05	1,19E-02
E4 1_1045	1,92E-05	2,06E-05	1,37E-06	1,25E-08	3,62E-01	3,69E-01	7,05E-03	3,47E-05	1,69E-02
E4 1_1046	1,77E-05	1,91E-05	1,45E-06	1,25E-08	7,09E-01	7,22E-01	1,37E-02	3,47E-05	1,47E-02
E4 1_1047	8,44E-06	9,10E-06	6,63E-07	6,25E-09	7,18E-02	7,37E-02	1,84E-03	1,73E-05	6,83E-03
E4 1_1048	1,24E-05	1,34E-05	1,05E-06	8,93E-09	1,02E-01	1,04E-01	2,62E-03	2,48E-05	1,01E-02
E4 1_1049	7,71E-06	8,32E-06	6,07E-07	5,75E-09	6,54E-02	6,71E-02	1,68E-03	1,60E-05	6,22E-03
E4 1_1050	1,88E-05	2,04E-05	1,65E-06	1,25E-08	1,60E-01	1,64E-01	4,03E-03	3,47E-05	1,60E-02
E4 1_1051	1,64E-05	1,77E-05	1,31E-06	1,20E-08	3,26E-01	3,32E-01	6,87E-03	3,33E-05	1,34E-02
E4 1_1052	1,89E-05	2,04E-05	1,44E-06	1,20E-08	4,52E-01	4,61E-01	9,11E-03	3,33E-05	1,65E-02
E4 1_1053	1,94E-05	2,07E-05	1,33E-06	1,25E-08	1,80E-01	1,84E-01	3,71E-03	3,47E-05	1,72E-02
E4 1_1057	6,54E-05	6,70E-05	1,56E-06	6,84E-08	1,90E-01	1,94E-01	3,86E-03	8,00E-04	2,10E-02
E4 1_1058	4,97E-05	5,09E-05	1,29E-06	6,59E-08	1,57E-01	1,60E-01	3,04E-03	7,94E-04	1,72E-02
E4 1_1059	4,25E-05	4,33E-05	7,44E-07	6,56E-09	8,88E-02	9,10E-02	2,20E-03	1,82E-05	1,05E-02

Element-index	Neubau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Erneuerung Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Rückbau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Unterhalt Ozonabbau [kg CFC11 Äq./Jahr]	Neubau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Versauer. [kg SO2 Äq.]	Rückbau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Versauer. [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Überdüng. [kg PO4 Äq.]
E4 1_1060	2,92E-05	2,97E-05	5,10E-07	4,50E-09	6,09E-02	6,24E-02	1,51E-03	1,25E-05	7,19E-03
E4 1_1061	3,27E-05	3,35E-05	7,81E-07	3,42E-08	9,52E-02	9,71E-02	1,93E-03	4,00E-04	1,05E-02
E4 1_1062	2,79E-05	2,84E-05	4,89E-07	4,31E-09	5,83E-02	5,98E-02	1,44E-03	1,20E-05	6,89E-03
E4 1_1065	6,48E-05	6,57E-05	9,28E-07	9,68E-09	4,86E-01	4,88E-01	2,32E-03	2,69E-05	5,38E-02
E4 1_1066	2,63E-05	2,69E-05	5,44E-07	6,34E-09	1,89E-01	1,90E-01	1,18E-03	1,76E-05	2,09E-02
E4 1_1069	2,54E-05	2,65E-05	1,14E-06	8,47E-08	1,54E-01	1,71E-01	1,70E-02	3,63E-04	1,65E-02
E4 1_1070	2,40E-05	2,52E-05	1,14E-06	8,47E-08	1,34E-01	1,51E-01	1,66E-02	3,63E-04	1,46E-02
E4 1_1071	2,36E-05	2,48E-05	1,26E-06	8,47E-08	1,59E-01	1,84E-01	2,50E-02	3,63E-04	1,80E-02
E4 1_1072	4,24E-05	4,48E-05	2,41E-06	4,48E-07	1,78E-01	2,93E-01	1,15E-01	3,13E-03	2,18E-02
E4 1_1086	7,30E-05	7,39E-05	9,36E-07	6,56E-09	1,90E-01	1,93E-01	3,24E-03	1,82E-05	2,16E-02
E4 1_1092	1,94E-05	2,08E-05	1,45E-06	1,25E-08	1,80E-01	1,94E-01	1,37E-02	3,47E-05	1,72E-02
E4 3_1084	7,00E-06	7,45E-06	4,51E-07	2,20E-08	4,35E-02	4,42E-02	6,87E-04	1,42E-04	4,43E-03
E4 4_183	4,25E-06	4,85E-06	6,05E-07	7,24E-08	3,67E-02	4,47E-02	8,00E-03	6,64E-04	3,21E-03
E5 1_189	2,99E-05	3,42E-05	4,22E-06	1,54E-07	2,12E-01	2,25E-01	1,24E-02	1,42E-03	1,61E-02
E5 1_193	3,05E-05	3,48E-05	4,31E-06	1,62E-07	2,15E-01	2,27E-01	1,26E-02	1,49E-03	1,63E-02
E5 1_198	4,57E-05	5,44E-05	8,71E-06	0,00E+00	4,03E-01	5,56E-01	1,53E-01	0,00E+00	3,04E-02
E5 5_206	4,45E-05	5,10E-05	6,46E-06	3,50E-07	1,84E-01	2,12E-01	2,83E-02	3,21E-03	1,73E-02
E5 7_213	2,02E-05	2,24E-05	2,16E-06	5,43E-07	8,91E-02	9,55E-02	6,38E-03	4,98E-03	6,13E-03
E6 1_1042	5,80E-05	5,95E-05	1,52E-06	1,92E-08	2,07E-01	2,10E-01	2,89E-03	5,34E-05	2,42E-02
E6 1_1043	4,85E-05	4,98E-05	1,27E-06	1,61E-08	1,73E-01	1,75E-01	2,41E-03	4,46E-05	2,03E-02
E6 1_1044	2,41E-05	2,47E-05	6,32E-07	7,99E-09	8,58E-02	8,70E-02	1,20E-03	2,22E-05	1,01E-02
E6 1_1063	3,20E-05	3,28E-05	8,98E-07	1,00E-08	6,23E-02	6,43E-02	2,07E-03	2,78E-05	7,65E-03
E6 1_1064	4,86E-05	5,00E-05	1,37E-06	1,52E-08	9,48E-02	9,79E-02	3,14E-03	4,23E-05	1,16E-02
E6 1_1067	5,29E-05	5,37E-05	8,03E-07	8,60E-09	3,91E-01	3,92E-01	1,95E-03	2,39E-05	4,32E-02
E6 1_1068	2,63E-05	2,69E-05	5,44E-07	6,34E-09	1,89E-01	1,90E-01	1,18E-03	1,76E-05	2,09E-02
E6 1_1073	1,46E-05	1,53E-05	6,97E-07	1,77E-07	8,77E-02	8,89E-02	1,18E-03	7,59E-04	9,61E-03

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E6_1_1074	1,42E-05	1,49E-05	6,97E-07	1,77E-07	8,17E-02	8,29E-02	1,18E-03	7,59E-04	9,02E-03
E6_1_1075	1,31E-05	1,38E-05	6,95E-07	1,77E-07	6,63E-02	6,75E-02	1,16E-03	7,59E-04	7,52E-03
E6_1_1076	1,30E-05	1,37E-05	6,95E-07	1,77E-07	6,39E-02	6,50E-02	1,16E-03	7,59E-04	7,28E-03
Element-index	Neubau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Erneuerung Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Rückbau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Unterhalt Ozonabbau [kg CFC11 Äq./Jahr]	Neubau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Versauer. [kg SO2 Äq.]	Rückbau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Versauer. [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Überdüng. [kg PO4 Äq.]
I0_4_236	9,80E-05	1,02E-04	4,19E-06	0,00E+00	6,14E-01	6,82E-01	6,82E-02	0,00E+00	1,99E-02
I0_4_237	7,21E-05	7,85E-05	6,35E-06	0,00E+00	3,69E-01	4,12E-01	4,34E-02	0,00E+00	1,55E-02
I0_4_239	1,19E-04	1,33E-04	1,47E-05	0,00E+00	1,24E+00	1,29E+00	5,09E-02	0,00E+00	8,37E-02
I0_4_244	4,84E-04	5,39E-04	5,51E-05	0,00E+00	5,05E+00	5,31E+00	2,64E-01	0,00E+00	3,30E-01
I0_4_245	2,16E-04	2,38E-04	2,21E-05	0,00E+00	2,21E+00	2,34E+00	1,25E-01	0,00E+00	1,34E-01
I2_1_258	2,74E-04	2,76E-04	2,56E-06	0,00E+00	8,55E-01	9,19E-01	6,38E-02	0,00E+00	5,71E-02
I2_2_261	3,87E-04	4,03E-04	1,59E-05	0,00E+00	4,33E+00	4,39E+00	6,46E-02	0,00E+00	1,87E-01
I2_2_265	1,11E-05	1,15E-05	3,81E-07	0,00E+00	1,31E-01	1,34E-01	2,64E-03	0,00E+00	4,04E-03
I2_4_270	1,66E-05	1,67E-05	2,48E-08	0,00E+00	2,13E-01	2,13E-01	1,34E-04	0,00E+00	1,50E-02
I2_4_271	4,16E-05	4,17E-05	6,20E-08	0,00E+00	5,32E-01	5,32E-01	3,35E-04	0,00E+00	3,74E-02
I2_4_274	1,47E-05	1,48E-05	1,12E-07	0,00E+00	3,46E-01	3,55E-01	8,80E-03	0,00E+00	2,40E-03
I2_5_276	1,35E-04	1,37E-04	2,60E-06	0,00E+00	1,01E+00	1,03E+00	1,69E-02	0,00E+00	1,08E-01
I5_2_308	5,92E-05	6,28E-05	3,53E-06	0,00E+00	5,00E-01	5,11E-01	1,12E-02	0,00E+00	3,30E-02
I5_3_310	3,92E-04	3,93E-04	8,28E-07	0,00E+00	4,40E+00	4,42E+00	1,36E-02	0,00E+00	1,89E-01
M1_6_333	5,79E-05	6,37E-05	5,82E-06	1,42E-07	4,22E-01	4,45E-01	2,24E-02	1,30E-03	2,79E-02
M³_1_1005	1,20E-05	1,25E-05	5,00E-07	5,49E-09	9,53E-02	9,64E-02	1,18E-03	1,52E-05	9,86E-03
M³_1_1090	1,29E-05	1,34E-05	5,10E-07	5,49E-09	1,03E-01	1,05E-01	1,23E-03	1,52E-05	1,07E-02
M³_3_1054	3,19E-06	3,62E-06	4,34E-07	5,64E-09	1,43E-02	1,69E-02	2,62E-03	1,56E-05	1,98E-03
M³_3_1055	5,50E-05	5,58E-05	8,63E-07	1,01E-08	1,26E-01	1,38E-01	1,22E-02	2,80E-05	7,80E-03
M³_6_1056	7,54E-06	8,18E-06	6,35E-07	0,00E+00	5,96E-02	6,07E-02	1,01E-03	0,00E+00	5,25E-03
M4_1_1029	8,29E-06	8,64E-06	3,54E-07	3,47E-07	6,21E-02	6,28E-02	6,53E-04	3,19E-03	3,96E-03
M4_6_370	7,42E-06	8,00E-06	5,79E-07	0,00E+00	6,77E-02	6,89E-02	1,13E-03	0,00E+00	6,49E-03
M5_1_1028	8,23E-06	8,61E-06	3,82E-07	3,47E-07	6,31E-02	6,38E-02	6,96E-04	3,19E-03	4,04E-03
M5_3_1024	1,18E-05	1,22E-05	3,70E-07	3,31E-07	6,35E-02	6,42E-02	6,15E-04	3,00E-03	4,61E-03
M8_1_1011	3,00E-06	3,01E-06	4,26E-09	0,00E+00	4,37E-02	4,38E-02	2,30E-05	0,00E+00	4,26E-03
M8_1_1012	5,01E-06	5,01E-06	7,10E-09	0,00E+00	7,29E-02	7,29E-02	3,83E-05	0,00E+00	7,10E-03
M8_1_1013	8,01E-06	8,02E-06	1,14E-08	0,00E+00	1,17E-01	1,17E-01	6,14E-05	0,00E+00	1,14E-02
M8_1_1015	1,20E-05	1,20E-05	1,70E-08	0,00E+00	1,75E-01	1,75E-01	9,20E-05	0,00E+00	1,70E-02
M8_1_1016	1,40E-05	1,40E-05	1,99E-08	0,00E+00	2,04E-01	2,04E-01	1,07E-04	0,00E+00	1,99E-02
M8_1_1018	3,79E-06	3,79E-06	5,68E-09	0,00E+00	5,52E-02	5,52E-02	3,07E-05	0,00E+00	5,37E-03
Element-index	Neubau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Erneuerung Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Rückbau Ozonabbau [kg CFC11 Äq.]	Unterhalt Ozonabbau [kg CFC11 Äq./Jahr]	Neubau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Versauer. [kg SO2 Äq.]	Rückbau Versauer. [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Versauer. [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Überdüng. [kg PO4 Äq.]
M8_1_1019	4,93E-06	5,24E-06	3,03E-07	0,00E+00	3,57E-02	5,58E-02	2,01E-02	0,00E+00	2,98E-03
M8_1_1020	3,65E-07	4,29E-07	6,39E-08	0,00E+00	2,55E-01	2,60E-01	5,01E-03	0,00E+00	4,05E-04
M8_1_1021	2,38E-06	2,39E-06	1,60E-08	0,00E+00	2,68E-02	2,81E-02	1,25E-03	0,00E+00	2,01E-03
M8_1_1085	3,36E-06	3,39E-06	3,22E-08	0,00E+00	4,50E-02	4,52E-02	1,74E-04	0,00E+00	4,55E-03
M8_1_1088	2,07E-06	2,07E-06	2,94E-09	0,00E+00	3,02E-02	3,02E-02	1,59E-05	0,00E+00	2,94E-03
M8_1_1089	4,14E-06	4,15E-06	5,88E-09	0,00E+00	6,03E-02	6,04E-02	3,17E-05	0,00E+00	5,87E-03
M8_1_1094	7,35E-06	7,38E-06	3,90E-08	0,00E+00	8,72E-02	9,01E-02	2,93E-03	0,00E+00	6,94E-03

Tabelle A1.93 Werte für Sommersmog und Wintersmog und Karzinogene Substanzen aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m², m³ etc.) findet sich in Tabelle A1.70. Als Lebensdauer wird die in Tabelle A1.70 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.

Element-index	Neubau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Erneuerung Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Rückbau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Unterhalt Sommersm. [kg Eth. Äq./Jahr]	Neubau Wintersmog [kg SO ₂ Äq.]	Erneuerung Wintersmog [kg SO ₂ Äq.]	Rückbau Wintersmog [kg SO ₂ Äq.]	Unterhalt Wintersmog [kg SO ₂ Äq./Jahr]	Neubau Karz. Subst. [kg PAH Äq.]
D0 1_29	3,40E-03	3,50E-03	1,05E-04	0,00E+00	6,06E-03	6,19E-03	1,33E-04	0,00E+00	3,24E-08
D2 1_35	4,79E-02	4,94E-02	1,56E-03	0,00E+00	6,31E-01	6,34E-01	3,02E-03	0,00E+00	1,21E-05
D2 1_1000	2,85E-02	2,94E-02	9,85E-04	4,46E-06	3,80E-01	3,82E-01	2,10E-03	1,26E-05	7,26E-06
D2 1_1001	3,12E-02	3,23E-02	1,06E-03	4,90E-06	4,18E-01	4,20E-01	2,22E-03	1,39E-05	7,98E-06
D2 1_1002	6,58E-02	6,77E-02	1,95E-03	1,04E-05	8,81E-01	8,85E-01	3,70E-03	2,94E-05	1,69E-05
D2 1_1003	6,39E-02	6,58E-02	1,91E-03	1,01E-05	8,56E-01	8,59E-01	3,63E-03	2,86E-05	1,64E-05
D2 1_1004	7,98E-02	8,21E-02	2,32E-03	1,26E-05	1,07E+00	1,07E+00	4,31E-03	3,57E-05	2,05E-05
D2 2_41	2,53E-02	2,64E-02	1,06E-03	0,00E+00	2,79E-01	2,81E-01	1,94E-03	0,00E+00	5,23E-06
D2 2_1006	3,16E-02	3,29E-02	1,32E-03	4,36E-06	3,49E-01	3,52E-01	2,40E-03	1,23E-05	6,54E-06
D2 2_1007	3,79E-02	3,95E-02	1,57E-03	5,23E-06	4,19E-01	4,22E-01	2,86E-03	1,48E-05	7,84E-06
D2 2_1008	4,21E-02	4,39E-02	1,74E-03	5,81E-06	4,65E-01	4,69E-01	3,16E-03	1,64E-05	8,71E-06
D2 2_1009	5,27E-02	5,48E-02	2,17E-03	7,26E-06	5,82E-01	5,85E-01	3,92E-03	2,05E-05	1,09E-05
E0 1_1037	6,42E-02	6,50E-02	8,47E-04	9,47E-06	9,80E-01	9,82E-01	1,21E-03	2,68E-05	1,78E-05
E0 1_1077	6,44E-02	6,61E-02	1,68E-03	5,72E-05	4,73E-01	4,78E-01	4,81E-03	3,09E-04	3,07E-06
E0 1_1078	4,66E-02	4,82E-02	1,55E-03	5,72E-05	3,72E-01	3,77E-01	4,36E-03	3,09E-04	2,31E-06
E0 1_1079	2,15E-02	2,28E-02	1,37E-03	6,56E-05	2,02E-01	2,05E-01	3,76E-03	3,42E-04	1,12E-06
E0 1_1091	6,26E-02	6,35E-02	8,40E-04	9,47E-06	9,62E-01	9,64E-01	1,19E-03	2,68E-05	1,77E-05
E0 1_52	3,47E-02	3,82E-02	3,49E-03	0,00E+00	4,64E-01	4,74E-01	1,06E-02	0,00E+00	8,72E-06
E0 1_53	3,83E-02	4,19E-02	3,58E-03	0,00E+00	5,16E-01	5,27E-01	1,08E-02	0,00E+00	9,84E-06
E0 2_66	4,89E-02	5,11E-02	2,19E-03	0,00E+00	3,12E-01	3,15E-01	3,12E-03	0,00E+00	2,65E-06
E0 2_67	1,58E-02	2,11E-02	5,25E-03	0,00E+00	1,58E-01	1,66E-01	8,40E-03	0,00E+00	3,06E-06
E0 3_1025	3,82E-02	4,35E-02	5,30E-03	1,21E-05	4,42E-01	4,57E-01	1,44E-02	3,44E-05	7,75E-06
E1 1_1039	9,08E-02	9,44E-02	3,61E-03	3,45E-04	9,74E-01	9,80E-01	5,88E-03	1,96E-03	1,78E-05
E1 1_1040	8,66E-02	9,01E-02	3,59E-03	3,45E-04	9,15E-01	9,20E-01	5,83E-03	1,96E-03	1,76E-05
E1 1_1080	7,60E-02	8,19E-02	5,92E-03	3,25E-04	2,88E-01	2,98E-01	9,80E-03	1,59E-03	1,53E-06
Element-index	Neubau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Erneuerung Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Rückbau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Unterhalt Sommersm. [kg Eth. Äq./Jahr]	Neubau Wintersmog [kg SO ₂ Äq.]	Erneuerung Wintersmog [kg SO ₂ Äq.]	Rückbau Wintersmog [kg SO ₂ Äq.]	Unterhalt Wintersmog [kg SO ₂ Äq./Jahr]	Neubau Karz. Subst. [kg PAH Äq.]
E1 1_1081	7,80E-02	8,39E-02	5,94E-03	3,25E-04	3,01E-01	3,11E-01	9,85E-03	1,59E-03	1,62E-06
E1 1_1082	7,48E-02	8,05E-02	5,72E-03	3,25E-04	2,69E-01	2,78E-01	9,09E-03	1,59E-03	1,48E-06
E1 1_1083	7,95E-02	8,56E-02	6,04E-03	3,25E-04	3,17E-01	3,27E-01	1,02E-02	1,59E-03	1,70E-06
E1 3_600	7,82E-03	8,19E-03	3,68E-04	0,00E+00	1,95E-01	1,96E-01	6,27E-04	0,00E+00	8,60E-07
E1 3_601	1,93E-03	2,01E-03	8,73E-05	0,00E+00	4,21E-02	4,23E-02	1,49E-04	0,00E+00	4,25E-07
E1 7_104	5,97E-02	6,68E-02	7,10E-03	0,00E+00	5,37E-01	5,46E-01	9,46E-03	0,00E+00	2,21E-04
E1 7_105	1,17E-01	1,29E-01	1,24E-02	0,00E+00	1,23E+00	1,25E+00	1,68E-02	0,00E+00	5,42E-04
E1 8_113	1,13E-03	1,20E-03	6,90E-05	0,00E+00	1,55E-02	1,56E-02	1,02E-04	0,00E+00	3,90E-07
E2 1_1026	6,17E-02	6,62E-02	4,52E-03	8,30E-06	5,85E-01	5,92E-01	7,16E-03	2,35E-05	4,27E-06
E3 1_1027	4,00E-02	4,27E-02	2,70E-03	1,08E-05	4,95E-01	5,00E-01	4,89E-03	3,07E-05	9,11E-06
E3 1_1087	4,04E-02	4,33E-02	2,85E-03	1,08E-05	8,69E-01	8,76E-01	7,55E-03	3,07E-05	9,12E-06
E3 5_125	9,18E-02	9,80E-02	6,23E-03	0,00E+00	9,60E-01	9,72E-01	1,18E-02	0,00E+00	1,55E-05
E4 1_1030	4,23E-02	4,33E-02	9,97E-04	1,17E-05	4,49E-01	4,51E-01	1,39E-03	3,31E-05	2,93E-06

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E4 1_1031	4,12E-02	4,22E-02	9,69E-04	1,14E-05	4,38E-01	4,39E-01	1,36E-03	3,22E-05	2,88E-06
E4 1_1032	3,44E-02	3,52E-02	8,03E-04	9,31E-06	3,68E-01	3,69E-01	1,13E-03	2,64E-05	2,56E-06
E4 1_1033	2,90E-02	2,97E-02	6,74E-04	7,72E-06	3,14E-01	3,15E-01	9,52E-04	2,19E-05	2,31E-06
E4 1_1034	2,14E-02	2,19E-02	4,90E-04	5,45E-06	2,37E-01	2,38E-01	6,99E-04	1,54E-05	1,96E-06
E4 1_1035	1,77E-02	1,80E-02	3,97E-04	4,32E-06	1,98E-01	1,99E-01	5,72E-04	1,22E-05	1,78E-06
E4 1_1036	1,61E-02	1,65E-02	3,60E-04	3,86E-06	1,83E-01	1,83E-01	5,21E-04	1,09E-05	1,71E-06
E4 1_1045	1,67E-02	1,78E-02	1,07E-03	8,41E-06	3,02E-01	3,05E-01	2,88E-03	2,38E-05	6,39E-07
E4 1_1046	1,41E-02	1,53E-02	1,21E-03	8,41E-06	6,56E-01	6,62E-01	5,54E-03	2,38E-05	5,13E-07
E4 1_1047	6,77E-03	7,27E-03	4,98E-04	4,21E-06	4,81E-02	4,89E-02	7,71E-04	1,19E-05	2,47E-07
E4 1_1048	9,76E-03	1,05E-02	7,54E-04	6,01E-06	6,81E-02	6,92E-02	1,13E-03	1,70E-05	3,33E-07
E4 1_1049	6,18E-03	6,63E-03	4,56E-04	3,87E-06	4,38E-02	4,45E-02	7,05E-04	1,10E-05	2,25E-07
E4 1_1050	1,49E-02	1,61E-02	1,17E-03	8,41E-06	1,07E-01	1,09E-01	1,74E-03	2,38E-05	5,15E-07
E4 1_1051	1,31E-02	1,42E-02	1,02E-03	8,08E-06	2,79E-01	2,81E-01	2,81E-03	2,29E-05	4,78E-07
E4 1_1052	1,54E-02	1,66E-02	1,16E-03	8,08E-06	3,94E-01	3,98E-01	3,67E-03	2,29E-05	5,89E-07
E4 1_1053	1,71E-02	1,81E-02	9,99E-04	8,41E-06	1,19E-01	1,20E-01	1,55E-03	2,38E-05	6,60E-07
E4 1_1057	4,40E-02	4,52E-02	1,13E-03	8,53E-05	4,72E-01	4,73E-01	1,69E-03	5,03E-04	1,13E-06
Element- index	Neubau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Erneuerung Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Rückbau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Unterhalt Sommersm. [kg Eth. Äq./Jahr]	Neubau Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Rückbau Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Wintersmog [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Karz. Subst. [kg PAH Äq.]
E4 1_1058	3,43E-02	3,52E-02	9,23E-04	8,36E-05	3,56E-01	3,57E-01	1,35E-03	4,98E-04	9,07E-07
E4 1_1059	2,63E-02	2,69E-02	5,69E-04	4,42E-06	3,12E-01	3,13E-01	8,99E-04	1,25E-05	5,96E-07
E4 1_1060	1,81E-02	1,84E-02	3,90E-04	3,03E-06	2,14E-01	2,15E-01	6,17E-04	8,58E-06	4,09E-07
E4 1_1061	2,20E-02	2,26E-02	5,67E-04	4,26E-05	2,36E-01	2,37E-01	8,44E-04	2,51E-04	5,64E-07
E4 1_1062	1,73E-02	1,77E-02	3,74E-04	2,90E-06	2,05E-01	2,06E-01	5,91E-04	8,22E-06	3,92E-07
E4 1_1065	7,10E-02	7,16E-02	6,76E-04	6,51E-06	2,64E-01	2,65E-01	1,01E-03	1,84E-05	6,16E-07
E4 1_1066	2,82E-02	2,86E-02	3,81E-04	4,27E-06	1,03E-01	1,03E-01	5,43E-04	1,21E-05	2,47E-07
E4 1_1069	3,05E-02	3,18E-02	1,21E-03	5,92E-05	1,85E-01	1,89E-01	3,34E-03	3,14E-04	1,14E-06
E4 1_1070	2,86E-02	2,98E-02	1,20E-03	5,92E-05	1,73E-01	1,76E-01	3,16E-03	3,14E-04	1,05E-06
E4 1_1071	3,01E-02	3,16E-02	1,55E-03	5,92E-05	2,42E-01	2,46E-01	4,27E-03	3,14E-04	1,33E-06
E4 1_1072	3,46E-02	3,81E-02	3,52E-03	3,49E-04	1,56E-01	1,95E-01	3,94E-02	1,87E-03	1,23E-06
E4 1_1086	4,76E-02	4,84E-02	7,53E-04	4,42E-06	5,51E-01	5,52E-01	1,26E-03	1,25E-05	1,19E-06
E4 1_1092	1,71E-02	1,83E-02	1,21E-03	8,41E-06	1,19E-01	1,25E-01	5,54E-03	2,38E-05	6,63E-07
E4 3_1084	5,65E-03	5,94E-03	2,93E-04	1,45E-05	2,80E-02	2,84E-02	3,73E-04	1,16E-04	2,04E-07
E4 4_183	6,97E-03	7,59E-03	6,21E-04	4,40E-05	6,71E-02	6,85E-02	1,44E-03	6,03E-04	1,47E-06
E5 1_189	2,62E-02	2,90E-02	2,77E-03	9,38E-05	2,27E-01	2,31E-01	4,09E-03	1,28E-03	5,66E-05
E5 1_193	2,66E-02	2,94E-02	2,83E-03	9,86E-05	2,29E-01	2,33E-01	4,16E-03	1,35E-03	5,67E-05
E5 1_198	3,65E-02	4,23E-02	5,72E-03	0,00E+00	3,98E-01	4,64E-01	6,58E-02	0,00E+00	3,32E-05
E5 5_206	4,11E-02	4,59E-02	4,79E-03	2,13E-04	2,45E-01	2,53E-01	7,81E-03	2,92E-03	4,59E-06
E5 7_213	1,50E-02	1,65E-02	1,50E-03	3,30E-04	8,94E-02	9,16E-02	2,20E-03	4,52E-03	5,01E-06
E6 1_1042	3,96E-02	4,07E-02	1,04E-03	1,29E-05	3,96E-01	3,98E-01	1,41E-03	3,67E-05	1,81E-06
E6 1_1043	3,31E-02	3,40E-02	8,66E-04	1,08E-05	3,31E-01	3,33E-01	1,18E-03	3,07E-05	1,52E-06
E6 1_1044	1,65E-02	1,69E-02	4,30E-04	5,38E-06	1,65E-01	1,65E-01	5,86E-04	1,52E-05	7,53E-07
E6 1_1063	1,99E-02	2,05E-02	6,39E-04	6,75E-06	2,07E-01	2,08E-01	9,29E-04	1,91E-05	4,15E-07
E6 1_1064	3,02E-02	3,12E-02	9,72E-04	1,03E-05	3,14E-01	3,16E-01	1,41E-03	2,91E-05	6,32E-07
E6 1_1067	5,75E-02	5,81E-02	5,80E-04	5,79E-06	2,12E-01	2,13E-01	8,59E-04	1,64E-05	5,01E-07
E6 1_1068	2,82E-02	2,86E-02	3,81E-04	4,27E-06	1,03E-01	1,03E-01	5,43E-04	1,21E-05	2,47E-07
E6 1_1073	1,29E-02	1,34E-02	4,62E-04	1,24E-04	6,46E-02	6,52E-02	6,07E-04	6,64E-04	7,17E-07
E6 1_1074	1,23E-02	1,28E-02	4,61E-04	1,24E-04	6,08E-02	6,14E-02	6,05E-04	6,64E-04	6,89E-07

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

Element-index	Neubau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Erneuerung Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Rückbau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Unterhalt Sommersm. [kg Eth. Äq./Jahr]	Neubau Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Rückbau Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Wintersmog [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Karz. Subst. [kg PAH Äq.]
E6 1_1075	1,08E-02	1,13E-02	4,59E-04	1,24E-04	5,12E-02	5,18E-02	6,02E-04	6,64E-04	6,18E-07
E6 1_1076	1,06E-02	1,10E-02	4,59E-04	1,24E-04	4,97E-02	5,03E-02	6,01E-04	6,64E-04	6,07E-07
I0 4_236	6,51E-02	6,81E-02	3,06E-03	0,00E+00	5,53E-01	5,82E-01	2,90E-02	0,00E+00	1,54E-06
I0 4_237	4,79E-02	5,23E-02	4,32E-03	0,00E+00	3,23E-01	3,42E-01	1,92E-02	0,00E+00	1,12E-06
I0 4_239	1,39E-01	1,50E-01	1,16E-02	0,00E+00	2,29E+00	2,32E+00	2,11E-02	0,00E+00	6,58E-05
I0 4_244	5,55E-01	5,99E-01	4,40E-02	0,00E+00	9,16E+00	9,27E+00	1,10E-01	0,00E+00	2,58E-04
I0 4_245	2,34E-01	2,52E-01	1,76E-02	0,00E+00	3,79E+00	3,84E+00	5,22E-02	0,00E+00	1,01E-04
I2 1_258	1,94E-01	1,97E-01	2,83E-03	0,00E+00	8,74E-01	8,99E-01	2,52E-02	0,00E+00	1,14E-05
I2 2_261	3,00E-01	3,13E-01	1,31E-02	0,00E+00	6,07E+00	6,09E+00	2,61E-02	0,00E+00	2,15E-04
I2 2_265	8,42E-03	8,74E-03	3,26E-04	0,00E+00	1,63E-01	1,64E-01	1,06E-03	0,00E+00	2,30E-06
I2 4_270	1,77E-02	1,78E-02	2,38E-05	0,00E+00	4,38E-01	4,38E-01	4,62E-05	0,00E+00	1,34E-05
I2 4_271	4,43E-02	4,44E-02	5,96E-05	0,00E+00	1,09E+00	1,09E+00	1,15E-04	0,00E+00	3,36E-05
I2 4_274	9,69E-03	9,88E-03	1,88E-04	0,00E+00	3,39E-01	3,43E-01	3,51E-03	0,00E+00	1,28E-07
I2 5_276	1,48E-01	1,51E-01	2,20E-03	0,00E+00	6,48E-01	6,52E-01	4,14E-03	0,00E+00	4,51E-06
I5 2_308	3,94E-02	4,18E-02	2,35E-03	0,00E+00	5,53E-01	5,58E-01	5,17E-03	0,00E+00	1,76E-04
I5 3_310	3,04E-01	3,05E-01	8,21E-04	0,00E+00	6,18E+00	6,19E+00	5,36E-03	0,00E+00	2,19E-04
M1 6_333	4,99E-02	5,44E-02	4,46E-03	8,62E-05	6,29E-01	6,37E-01	7,35E-03	1,18E-03	7,64E-05
M³ 1_1005	1,05E-02	1,08E-02	3,58E-04	3,69E-06	6,03E-02	6,08E-02	5,25E-04	1,05E-05	4,54E-07
M³ 1_1090	1,13E-02	1,17E-02	3,68E-04	3,69E-06	6,54E-02	6,59E-02	5,44E-04	1,05E-05	4,93E-07
M³ 3_1054	2,38E-03	2,72E-03	3,45E-04	3,79E-06	5,73E-03	6,35E-03	6,20E-04	1,07E-05	5,19E-08
M³ 3_1055	6,55E-02	6,62E-02	7,07E-04	6,78E-06	1,06E-01	1,11E-01	5,04E-03	1,92E-05	5,44E-07
M³ 6_1056	9,34E-03	9,75E-03	4,16E-04	0,00E+00	3,77E-02	3,83E-02	5,38E-04	0,00E+00	2,05E-07
M4 1_1029	5,70E-03	5,94E-03	2,39E-04	2,11E-04	5,39E-02	5,43E-02	3,23E-04	2,89E-03	3,70E-06
M4 6_370	6,49E-03	6,88E-03	3,96E-04	0,00E+00	4,94E-02	5,00E-02	5,46E-04	0,00E+00	2,45E-07
M5 1_1028	5,67E-03	5,93E-03	2,58E-04	2,11E-04	5,46E-02	5,50E-02	3,47E-04	2,89E-03	3,70E-06
M5 3_1024	7,97E-03	8,21E-03	2,44E-04	2,01E-04	5,57E-02	5,61E-02	3,20E-04	2,72E-03	3,72E-06
M8 1_1011	4,30E-03	4,30E-03	4,09E-06	0,00E+00	2,73E-02	2,73E-02	7,93E-06	0,00E+00	2,02E-07
M8 1_1012	7,16E-03	7,17E-03	6,82E-06	0,00E+00	4,55E-02	4,55E-02	1,32E-05	0,00E+00	3,36E-07
M8 1_1013	1,15E-02	1,15E-02	1,09E-05	0,00E+00	7,29E-02	7,29E-02	2,11E-05	0,00E+00	5,38E-07
Element-index	Neubau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Erneuerung Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Rückbau Sommersm. [kg Eth. Äq.]	Unterhalt Sommersm. [kg Eth. Äq./Jahr]	Neubau Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Erneuerung Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Rückbau Wintersmog [kg SO2 Äq.]	Unterhalt Wintersmog [kg SO2 Äq./Jahr]	Neubau Karz. Subst. [kg PAH Äq.]
M8 1_1015	1,72E-02	1,72E-02	1,64E-05	0,00E+00	1,09E-01	1,09E-01	3,17E-05	0,00E+00	8,07E-07
M8 1_1016	2,00E-02	2,01E-02	1,91E-05	0,00E+00	1,27E-01	1,28E-01	3,70E-05	0,00E+00	9,42E-07
M8 1_1018	5,42E-03	5,42E-03	5,46E-06	0,00E+00	3,44E-02	3,45E-02	1,06E-05	0,00E+00	2,55E-07
M8 1_1019	3,83E-03	4,66E-03	8,28E-04	0,00E+00	2,50E-02	2,78E-02	2,87E-03	0,00E+00	1,37E-07
M8 1_1020	2,56E-04	3,64E-04	1,07E-04	0,00E+00	2,53E-01	2,55E-01	2,00E-03	0,00E+00	6,40E-09
M8 1_1021	1,46E-03	1,48E-03	2,68E-05	0,00E+00	3,74E-02	3,79E-02	5,00E-04	0,00E+00	9,67E-08
M8 1_1085	4,01E-03	4,04E-03	3,10E-05	0,00E+00	2,89E-02	2,89E-02	6,00E-05	0,00E+00	1,77E-07
M8 1_1088	2,96E-03	2,97E-03	2,82E-06	0,00E+00	1,88E-02	1,88E-02	5,47E-06	0,00E+00	1,39E-07
M8 1_1089	5,93E-03	5,93E-03	5,65E-06	0,00E+00	3,77E-02	3,77E-02	1,09E-05	0,00E+00	2,78E-07
M8 1_1094	5,49E-03	5,56E-03	6,42E-05	0,00E+00	1,08E-01	1,09E-01	1,17E-03	0,00E+00	3,32E-07

Tabelle A1.94 Werte für Schwermetalle, Ecoindikator 95 und Abfälle in die Inertstoffdeponie, aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m², m³ etc.) findet sich in Tabelle A1.70. Als Lebensdauer wurde die in Tabelle A1.70 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.

Element-index	Neubau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Erneuerung Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Rückbau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Unterhalt Schwermetalle II [kg Pb Äq./Jahr]	Neubau Ecoindicator [Punkte]	Erneuerung Ecoindicator [Punkte]	Rückbau Ecoindicator [Punkte]	Unterhalt Ecoindicator [Punkte/Jahr]	Neubau Inertstoffe [m ³]
D0 1_29	8,10E-06	8,41E-06	3,08E-07	0,00E+00	4,13E-03	4,23E-03	1,00E-04	0,00E+00	1,00E+00
D2 1_35	3,81E-03	3,86E-03	5,49E-05	0,00E+00	4,95E-01	5,04E-01	9,75E-03	0,00E+00	2,97E-01
D2 1_1000	2,28E-03	2,34E-03	5,34E-05	1,80E-08	2,97E-01	3,06E-01	9,10E-03	6,03E-06	1,78E-01
D2 1_1001	2,51E-03	2,57E-03	5,36E-05	1,98E-08	3,26E-01	3,35E-01	9,19E-03	6,63E-06	1,96E-01
D2 1_1002	5,33E-03	5,38E-03	5,58E-05	4,20E-08	6,91E-01	7,02E-01	1,02E-02	1,41E-05	4,16E-01
D2 1_1003	5,17E-03	5,23E-03	5,57E-05	4,08E-08	6,72E-01	6,82E-01	1,02E-02	1,37E-05	4,04E-01
D2 1_1004	6,47E-03	6,52E-03	5,67E-05	5,10E-08	8,40E-01	8,50E-01	1,06E-02	1,71E-05	5,05E-01
D2 2_41	1,64E-03	1,64E-03	8,54E-06	0,00E+00	2,18E-01	2,20E-01	2,24E-03	0,00E+00	5,33E-02
D2 2_1006	2,05E-03	2,05E-03	9,13E-06	1,76E-08	2,72E-01	2,75E-01	2,55E-03	5,90E-06	6,67E-02
D2 2_1007	2,45E-03	2,46E-03	9,72E-06	2,11E-08	3,26E-01	3,29E-01	2,86E-03	7,07E-06	8,00E-02
D2 2_1008	2,73E-03	2,74E-03	1,01E-05	2,34E-08	3,63E-01	3,66E-01	3,07E-03	7,86E-06	8,89E-02
D2 2_1009	3,41E-03	3,42E-03	1,11E-05	2,93E-08	4,53E-01	4,57E-01	3,58E-03	9,82E-06	1,11E-01
E0 1_1037	5,01E-03	5,01E-03	2,33E-06	3,82E-08	6,23E-01	6,24E-01	8,75E-04	1,28E-05	1,77E-02
E0 1_1077	7,00E-04	1,11E-03	4,11E-04	2,50E-06	1,47E-01	2,00E-01	5,31E-02	3,23E-04	1,42E-02
E0 1_1078	5,27E-04	7,43E-04	2,16E-04	2,50E-06	9,87E-02	1,34E-01	3,49E-02	3,23E-04	1,19E-02
E0 1_1079	2,06E-04	3,90E-04	1,84E-04	2,54E-06	2,55E-02	5,52E-02	2,97E-02	3,36E-04	3,10E-03
E0 1_1091	5,00E-03	5,00E-03	2,31E-06	3,82E-08	6,19E-01	6,20E-01	8,66E-04	1,28E-05	1,71E-02
E0 1_52	2,69E-03	3,23E-03	5,40E-04	0,00E+00	3,42E-01	4,29E-01	8,70E-02	0,00E+00	2,83E-02
E0 1_53	3,04E-03	3,58E-03	5,40E-04	0,00E+00	3,85E-01	4,72E-01	8,71E-02	0,00E+00	3,15E-02
E0 2_66	7,78E-04	7,84E-04	6,00E-06	0,00E+00	1,66E-01	1,68E-01	2,26E-03	0,00E+00	1,56E-02
E0 2_67	5,39E-04	7,08E-04	1,68E-04	0,00E+00	5,89E-02	8,80E-02	2,91E-02	0,00E+00	1,00E-04
E0 3_1025	2,39E-03	3,04E-03	6,46E-04	4,90E-08	3,11E-01	4,16E-01	1,05E-01	1,64E-05	2,79E-02
E1 1_1039	5,08E-03	5,20E-03	1,15E-04	2,80E-06	6,38E-01	6,58E-01	2,00E-02	6,66E-04	2,00E-02
E1 1_1040	5,06E-03	5,18E-03	1,15E-04	2,80E-06	6,27E-01	6,47E-01	1,99E-02	6,66E-04	2,08E-02
E1 1_1080	3,29E-04	7,21E-04	3,93E-04	2,06E-06	8,84E-02	1,41E-01	5,22E-02	5,85E-04	9,56E-03
Element-index	Neubau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Erneuerung Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Rückbau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Unterhalt Schwermetalle II [kg Pb Äq./Jahr]	Neubau Ecoindicator [Punkte]	Erneuerung Ecoindicator [Punkte]	Rückbau Ecoindicator [Punkte]	Unterhalt Ecoindicator [Punkte/Jahr]	Neubau Inertstoffe [m ³]
E1 1_1081	3,54E-04	7,49E-04	3,95E-04	2,06E-06	9,41E-02	1,47E-01	5,26E-02	5,85E-04	1,30E-02
E1 1_1082	3,36E-04	6,88E-04	3,51E-04	2,06E-06	9,36E-02	1,39E-01	4,56E-02	5,85E-04	1,46E-02
E1 1_1083	3,64E-04	7,79E-04	4,16E-04	2,06E-06	9,47E-02	1,51E-01	5,60E-02	5,85E-04	1,24E-02
E1 3_600	2,48E-02	2,48E-02	1,98E-06	0,00E+00	2,33E+00	2,33E+00	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00
E1 3_601	4,15E-03	4,15E-03	4,69E-07	0,00E+00	3,90E-01	3,91E-01	1,26E-04	0,00E+00	0,00E+00
E1 7_104	7,67E-04	8,56E-04	8,83E-05	0,00E+00	3,84E-01	4,00E-01	1,64E-02	0,00E+00	1,50E-04
E1 7_105	1,76E-03	1,96E-03	2,01E-04	0,00E+00	9,01E-01	9,37E-01	3,52E-02	0,00E+00	3,60E-04
E1 8_113	2,70E-04	2,70E-04	2,83E-07	0,00E+00	2,76E-02	2,77E-02	8,20E-05	0,00E+00	0,00E+00
E2 1_1026	1,64E-03	1,73E-03	9,02E-05	3,35E-08	3,26E-01	3,42E-01	1,60E-02	1,12E-05	8,99E-02
E3 1_1027	2,87E-03	2,99E-03	1,20E-04	4,37E-08	3,78E-01	3,98E-01	2,01E-02	1,47E-05	3,76E-02
E3 1_1087	3,12E-03	5,58E-03	2,45E-03	4,37E-08	4,56E-01	6,93E-01	2,37E-01	1,47E-05	3,76E-02
E3 5_125	4,71E-03	4,97E-03	2,56E-04	0,00E+00	6,15E-01	6,59E-01	4,39E-02	0,00E+00	5,35E-02
E4 1_1030	6,12E-04	6,15E-04	2,77E-06	4,72E-08	1,37E-01	1,38E-01	1,02E-03	1,58E-05	1,77E-02

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E4 1_1031	6,05E-04	6,07E-04	2,70E-06	4,59E-08	1,34E-01	1,35E-01	9,89E-04	1,54E-05	1,73E-02
E4 1_1032	5,58E-04	5,60E-04	2,23E-06	3,76E-08	1,18E-01	1,18E-01	8,22E-04	1,26E-05	1,47E-02
E4 1_1033	5,22E-04	5,24E-04	1,86E-06	3,12E-08	1,05E-01	1,06E-01	6,92E-04	1,05E-05	1,28E-02
E4 1_1034	4,70E-04	4,72E-04	1,34E-06	2,20E-08	8,67E-02	8,72E-02	5,06E-04	7,38E-06	9,93E-03
E4 1_1035	4,45E-04	4,46E-04	1,08E-06	1,74E-08	7,76E-02	7,80E-02	4,13E-04	5,84E-06	8,52E-03
E4 1_1036	4,34E-04	4,35E-04	9,81E-07	1,56E-08	7,39E-02	7,43E-02	3,76E-04	5,23E-06	7,95E-03
E4 1_1045	2,59E-04	1,43E-03	1,17E-03	3,40E-08	8,79E-02	1,97E-01	1,09E-01	1,14E-05	3,57E-02
E4 1_1046	4,73E-04	3,98E-03	3,50E-03	3,40E-08	1,57E-01	4,83E-01	3,26E-01	1,14E-05	2,99E-02
E4 1_1047	4,70E-05	4,83E-05	1,29E-06	1,70E-08	1,99E-02	2,04E-02	5,45E-04	5,69E-06	1,50E-02
E4 1_1048	8,60E-05	8,90E-05	2,95E-06	2,43E-08	3,01E-02	3,10E-02	9,20E-04	8,14E-06	1,50E-02
E4 1_1049	4,28E-05	4,40E-05	1,18E-06	1,56E-08	1,81E-02	1,86E-02	4,98E-04	5,24E-06	1,36E-02
E4 1_1050	1,43E-04	1,48E-04	5,40E-06	3,40E-08	4,80E-02	4,95E-02	1,52E-03	1,14E-05	2,11E-02
E4 1_1051	2,16E-04	1,39E-03	1,17E-03	3,26E-08	7,69E-02	1,86E-01	1,09E-01	1,09E-05	2,86E-02
E4 1_1052	2,99E-04	2,05E-03	1,75E-03	3,26E-08	1,05E-01	2,69E-01	1,64E-01	1,09E-05	3,59E-02
E4 1_1053	1,41E-04	1,44E-04	2,58E-06	3,40E-08	5,09E-02	5,20E-02	1,09E-03	1,14E-05	3,68E-02

Element-index	Neubau Schwermetalle [kg Pb Äq.]	Erneuerung Schwermetalle [kg Pb Äq.]	Rückbau Schwermetalle [kg Pb Äq.]	Unterhalt Schwermetalle [kg Pb Äq./Jahr]	Neubau Ecoindicator [Punkte]	Erneuerung Ecoindicator [Punkte]	Rückbau Ecoindicator [Punkte]	Unterhalt Ecoindicator [Punkte/Jahr]	Neubau Inertstoffe [m³]
E4 1_1057	2,20E-04	2,23E-04	3,02E-06	1,02E-06	9,30E-02	9,42E-02	1,21E-03	2,48E-04	3,19E-02
E4 1_1058	1,84E-04	1,86E-04	2,49E-06	1,02E-06	7,36E-02	7,46E-02	9,73E-04	2,45E-04	2,64E-02
E4 1_1059	9,71E-05	9,86E-05	1,45E-06	1,78E-08	5,23E-02	5,29E-02	6,31E-04	5,98E-06	1,49E-02
E4 1_1060	6,66E-05	6,76E-05	9,92E-07	1,22E-08	3,58E-02	3,63E-02	4,33E-04	4,10E-06	1,02E-02
E4 1_1061	1,10E-04	1,11E-04	1,51E-06	5,12E-07	4,65E-02	4,71E-02	6,04E-04	1,24E-04	1,60E-02
E4 1_1062	6,38E-05	6,48E-05	9,51E-07	1,17E-08	3,44E-02	3,48E-02	4,15E-04	3,93E-06	9,78E-03
E4 1_1065	1,77E-04	1,79E-04	1,80E-06	2,63E-08	1,18E-01	1,19E-01	7,22E-04	8,82E-06	1,28E-02
E4 1_1066	7,07E-05	7,18E-05	1,05E-06	1,72E-08	4,62E-02	4,65E-02	3,94E-04	5,78E-06	4,89E-03
E4 1_1069	2,56E-04	8,60E-04	6,04E-04	2,51E-06	4,50E-02	1,09E-01	6,43E-02	3,25E-04	1,46E-02
E4 1_1070	2,30E-04	6,78E-04	4,48E-04	2,51E-06	3,89E-02	8,88E-02	4,99E-02	3,25E-04	1,09E-02
E4 1_1071	2,81E-04	6,66E-04	3,85E-04	2,51E-06	3,85E-02	8,74E-02	4,89E-02	3,25E-04	1,01E-02
E4 1_1072	6,51E-03	3,74E-02	3,09E-02	4,68E-04	6,43E-01	3,52E+00	2,88E+00	4,40E-02	4,89E-03
E4 1_1086	2,18E-04	2,19E-04	1,83E-06	1,78E-08	1,00E-01	1,01E-01	8,69E-04	5,98E-06	3,37E-02
E4 1_1092	3,42E-04	3,85E-03	3,50E-03	3,40E-08	6,96E-02	3,96E-01	3,26E-01	1,14E-05	3,68E-02
E4 3_1084	4,03E-05	4,12E-05	8,62E-07	1,73E-07	1,31E-02	1,33E-02	2,81E-04	4,41E-05	2,17E-03
E4 4_183	2,63E-04	3,23E-04	6,03E-05	1,09E-05	2,95E-02	3,94E-02	9,82E-03	1,19E-03	5,00E-05
E5 1_189	6,01E-04	6,77E-04	7,54E-05	2,33E-05	1,50E-01	1,63E-01	1,27E-02	2,53E-03	1,92E-04
E5 1_193	6,18E-04	6,93E-04	7,56E-05	2,45E-05	1,52E-01	1,65E-01	1,27E-02	2,66E-03	2,62E-04
E5 1_198	2,96E-03	3,13E-03	1,77E-04	0,00E+00	3,87E-01	4,26E-01	3,92E-02	0,00E+00	1,92E-04
E5 5_206	9,05E-04	1,07E-03	1,67E-04	5,28E-05	1,20E-01	1,48E-01	2,87E-02	5,74E-03	1,54E-04
E5 7_213	9,19E-04	9,49E-04	2,99E-05	8,19E-05	1,07E-01	1,12E-01	5,45E-03	8,90E-03	2,00E-04
E6 1_1042	2,66E-04	2,69E-04	2,93E-06	5,23E-08	9,41E-02	9,51E-02	1,04E-03	1,75E-05	1,45E-02
E6 1_1043	2,23E-04	2,25E-04	2,45E-06	4,37E-08	7,87E-02	7,95E-02	8,69E-04	1,47E-05	1,21E-02
E6 1_1044	1,11E-04	1,12E-04	1,22E-06	2,17E-08	3,91E-02	3,95E-02	4,31E-04	7,28E-06	6,01E-03
E6 1_1063	7,01E-05	7,19E-05	1,73E-06	2,72E-08	3,64E-02	3,70E-02	6,70E-04	9,13E-06	9,78E-03
E6 1_1064	1,07E-04	1,09E-04	2,64E-06	4,14E-08	5,53E-02	5,63E-02	1,02E-03	1,39E-05	1,49E-02
E6 1_1067	1,44E-04	1,45E-04	1,55E-06	2,34E-08	9,51E-02	9,57E-02	6,16E-04	7,83E-06	1,02E-02
E6 1_1068	7,07E-05	7,18E-05	1,05E-06	1,72E-08	4,62E-02	4,65E-02	3,94E-04	5,78E-06	4,89E-03

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

Element-index	Neubau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Erneuerung Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Rückbau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Unterhalt Schwermetalle II [kg Pb Äq./Jahr]	Neubau Ecoindicator [Punkte]	Erneuerung Ecoindicator [Punkte]	Rückbau Ecoindicator [Punkte]	Unterhalt Ecoindicator [Punkte/Jahr]	Neubau Inertstoffe [m³]
E6 1_1073	1,50E-04	1,51E-04	1,49E-06	5,04E-06	3,30E-02	3,35E-02	4,75E-04	6,62E-04	1,41E-02
E6 1_1074	1,42E-04	1,43E-04	1,47E-06	5,04E-06	3,11E-02	3,16E-02	4,71E-04	6,62E-04	1,30E-02
E6 1_1075	1,22E-04	1,23E-04	1,44E-06	5,04E-06	2,64E-02	2,69E-02	4,65E-04	6,62E-04	1,00E-02
E6 1_1076	1,19E-04	1,20E-04	1,43E-06	5,04E-06	2,57E-02	2,61E-02	4,64E-04	6,62E-04	9,59E-03
I0 4_236	2,47E-03	7,87E-03	5,40E-03	0,00E+00	3,43E-01	8,53E-01	5,10E-01	0,00E+00	0,00E+00
I0 4_237	1,42E-03	4,24E-03	2,82E-03	0,00E+00	2,03E-01	4,71E-01	2,68E-01	0,00E+00	0,00E+00
I0 4_239	1,98E-02	2,19E-02	2,11E-03	0,00E+00	2,21E+00	2,42E+00	2,06E-01	0,00E+00	0,00E+00
I0 4_244	7,83E-02	8,67E-02	8,42E-03	0,00E+00	8,76E+00	9,59E+00	8,30E-01	0,00E+00	2,47E-05
I0 4_245	3,14E-02	3,62E-02	4,84E-03	0,00E+00	3,53E+00	4,01E+00	4,70E-01	0,00E+00	1,47E-05
I2 1_258	9,54E-03	2,90E-02	1,95E-02	0,00E+00	1,10E+00	2,91E+00	1,81E+00	0,00E+00	5,75E-02
I2 2_261	3,04E-02	3,42E-02	3,77E-03	0,00E+00	3,93E+00	4,29E+00	3,63E-01	0,00E+00	0,00E+00
I2 2_265	9,59E-04	1,45E-03	4,88E-04	0,00E+00	1,16E-01	1,62E-01	4,56E-02	0,00E+00	0,00E+00
I2 4_270	3,99E-03	3,99E-03	4,96E-08	0,00E+00	4,38E-01	4,38E-01	3,06E-05	0,00E+00	6,91E-04
I2 4_271	9,97E-03	9,97E-03	1,24E-07	0,00E+00	1,09E+00	1,09E+00	7,66E-05	0,00E+00	1,73E-03
I2 4_274	3,87E-04	3,46E-03	3,07E-03	0,00E+00	8,95E-02	3,75E-01	2,85E-01	0,00E+00	0,00E+00
I2 5_276	9,12E-04	1,01E-03	9,78E-05	0,00E+00	2,93E-01	3,09E-01	1,67E-02	0,00E+00	2,40E-02
I5 2_308	9,84E-04	2,98E-03	1,99E-03	0,00E+00	3,56E-01	5,43E-01	1,87E-01	0,00E+00	1,01E-03
I5 3_310	3,10E-02	3,47E-02	3,78E-03	0,00E+00	4,00E+00	4,35E+00	3,51E-01	0,00E+00	4,61E-03
M1 6_333	4,21E-03	4,31E-03	9,20E-05	2,14E-05	5,61E-01	5,77E-01	1,69E-02	2,32E-03	6,13E-05
M³ 1_1005	8,61E-05	8,70E-05	9,67E-07	1,49E-08	2,79E-02	2,83E-02	3,78E-04	5,00E-06	0,00E+00
M³ 1_1090	9,33E-05	9,43E-05	9,86E-07	1,49E-08	3,03E-02	3,07E-02	3,90E-04	5,00E-06	0,00E+00
M³ 3_1054	1,31E-05	3,04E-05	1,73E-05	1,53E-08	4,46E-03	7,36E-03	2,89E-03	5,13E-06	0,00E+00
M³ 3_1055	5,99E-04	4,49E-03	3,89E-03	2,74E-08	9,16E-02	4,53E-01	3,62E-01	9,18E-06	0,00E+00
M³ 6_1056	4,14E-05	4,26E-05	1,22E-06	0,00E+00	1,52E-02	1,56E-02	4,03E-04	0,00E+00	9,69E-04
M4 1_1029	6,75E-04	6,76E-04	6,80E-07	5,24E-05	7,81E-02	7,84E-02	2,38E-04	5,69E-03	1,77E-03
M4 6_370	4,70E-05	4,81E-05	1,11E-06	0,00E+00	1,86E-02	1,90E-02	4,00E-04	0,00E+00	4,29E-03
M5 1_1028	6,76E-04	6,77E-04	7,35E-07	5,24E-05	7,83E-02	7,86E-02	2,56E-04	5,69E-03	1,77E-03
M5 3_1024	6,78E-04	6,79E-04	7,09E-07	4,92E-05	7,92E-02	7,94E-02	2,39E-04	5,34E-03	2,67E-03

Element-index	Neubau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Erneuerung Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Rückbau Schwermetalle II [kg Pb Äq.]	Unterhalt Schwermetalle II [kg Pb Äq./Jahr]	Neubau Ecoindicator [Punkte]	Erneuerung Ecoindicator [Punkte]	Rückbau Ecoindicator [Punkte]	Unterhalt Ecoindicator [Punkte/Jahr]	Neubau Inertstoffe [m³]
M8 1_1011	5,68E-05	5,68E-05	8,52E-09	0,00E+00	1,35E-02	1,35E-02	5,26E-06	0,00E+00	1,73E-03
M8 1_1012	9,46E-05	9,46E-05	1,42E-08	0,00E+00	2,25E-02	2,25E-02	8,77E-06	0,00E+00	2,88E-03
M8 1_1013	1,51E-04	1,51E-04	2,27E-08	0,00E+00	3,59E-02	3,60E-02	1,40E-05	0,00E+00	4,60E-03
M8 1_1015	2,27E-04	2,27E-04	3,41E-08	0,00E+00	5,39E-02	5,39E-02	2,11E-05	0,00E+00	6,90E-03
M8 1_1016	2,65E-04	2,65E-04	3,97E-08	0,00E+00	6,29E-02	6,29E-02	2,46E-05	0,00E+00	8,05E-03
M8 1_1018	7,16E-05	7,16E-05	1,14E-08	0,00E+00	1,70E-02	1,70E-02	7,02E-06	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1019	3,55E-05	2,00E-04	1,65E-04	0,00E+00	5,89E-03	3,23E-02	2,64E-02	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1020	1,13E-06	1,75E-03	1,75E-03	0,00E+00	3,69E-02	2,00E-01	1,63E-01	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1021	3,94E-05	4,77E-04	4,38E-04	0,00E+00	9,26E-03	4,99E-02	4,06E-02	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1085	5,85E-05	5,85E-05	6,44E-08	0,00E+00	1,43E-02	1,43E-02	3,98E-05	0,00E+00	3,09E-03
M8 1_1088	3,92E-05	3,92E-05	5,87E-09	0,00E+00	9,30E-03	9,30E-03	3,63E-06	0,00E+00	5,75E-03
M8 1_1089	7,83E-05	7,83E-05	1,17E-08	0,00E+00	1,86E-02	1,86E-02	7,26E-06	0,00E+00	1,15E-02
M8 1_1094	2,34E-04	1,26E-03	1,02E-03	0,00E+00	3,95E-02	1,34E-01	9,48E-02	0,00E+00	6,90E-04

Tabelle A1.95 Werte für Abfälle in die Reststoffdeponie und in die Müllverbrennungsanlage (MVA) und in die Sonderabfallverbrennung (SAVA) aller im Fallbeispiel verwendeten Elemente. Die Elementbeschreibung und die zugehörige Einheit (m, m², m³ etc.) findet sich in Tabelle A1.70. Als Lebensdauer wurde die in Tabelle A1.70 genannte mittlere Lebensdauer zugrundegelegt.

Element-index	Neubau Reststoffe [m ³]	Erneuerung Reststoffe [m ³]	Rückbau Reststoffe [m ³]	Unterhalt Reststoffe [m ³ /Jahr]	Neubau MVA [m ³]	Erneuerung MVA [m ³]	Rückbau MVA [m ³]	Unterhalt MVA [m ³ /Jahr]	Neubau SAVA [m ³]
D0 1_29	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
D2 1_35	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-04	2,04E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
D2 1_1000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-04	2,04E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
D2 1_1001	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-04	2,04E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
D2 1_1002	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-04	2,04E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
D2 1_1003	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-04	2,04E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
D2 1_1004	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,10E-04	2,04E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
D2 2_41	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,92E-05	2,45E-03	2,40E-03	0,00E+00	0,00E+00
D2 2_1006	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,92E-05	2,45E-03	2,40E-03	0,00E+00	0,00E+00
D2 2_1007	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,92E-05	2,45E-03	2,40E-03	0,00E+00	0,00E+00
D2 2_1008	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,92E-05	2,45E-03	2,40E-03	0,00E+00	0,00E+00
D2 2_1009	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,92E-05	2,45E-03	2,40E-03	0,00E+00	0,00E+00
E0 1_1037	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E0 1_1077	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-02	8,94E-02	7,42E-02	0,00E+00	0,00E+00
E0 1_1078	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-02	8,92E-02	7,40E-02	0,00E+00	0,00E+00
E0 1_1079	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,26E-02	7,41E-02	6,15E-02	0,00E+00	0,00E+00
E0 1_1091	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E0 1_52	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,27E-03	2,12E-01	2,08E-01	0,00E+00	0,00E+00
E0 1_53	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,27E-03	2,12E-01	2,08E-01	0,00E+00	0,00E+00
E0 2_66	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E0 2_67	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,23E-02	7,23E-02	6,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E0 3_1025	3,55E-04	2,01E-03	1,65E-03	0,00E+00	5,06E-03	2,52E-01	2,47E-01	0,00E+00	0,00E+00
E1 1_1039	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,41E-03	4,94E-02	4,10E-02	6,18E-04	0,00E+00
E1 1_1040	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,41E-03	4,94E-02	4,10E-02	6,18E-04	0,00E+00
E1 1_1080	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,46E-02	8,58E-02	7,12E-02	3,77E-04	0,00E+00
E1 1_1081	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,48E-02	8,70E-02	7,22E-02	3,77E-04	0,00E+00
E1 1_1082	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,13E-02	6,65E-02	5,52E-02	3,77E-04	0,00E+00
Element-index	Neubau Reststoffe [m ³]	Erneuerung Reststoffe [m ³]	Rückbau Reststoffe [m ³]	Unterhalt Reststoffe [m ³ /Jahr]	Neubau MVA [m ³]	Erneuerung MVA [m ³]	Rückbau MVA [m ³]	Unterhalt MVA [m ³ /Jahr]	Neubau SAVA [m ³]
E1 1_1083	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,64E-02	9,66E-02	8,02E-02	3,77E-04	0,00E+00
E1 3_600	1,61E-05	8,26E-04	8,10E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E1 3_601	4,37E-06	1,89E-04	1,85E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E1 7_104	2,81E-04	1,62E-03	1,34E-03	0,00E+00	5,68E-03	2,17E-02	1,60E-02	0,00E+00	1,77E-04
E1 7_105	6,89E-04	3,97E-03	3,28E-03	0,00E+00	1,38E-02	5,28E-02	3,90E-02	0,00E+00	4,34E-04
E1 8_113	1,35E-05	7,76E-05	6,41E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E2 1_1026	1,14E-04	6,42E-04	5,29E-04	0,00E+00	4,10E-04	2,04E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E3 1_1027	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,20E-04	4,08E-02	4,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E3 1_1087	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,42E-03	1,29E-01	1,20E-01	0,00E+00	0,00E+00

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E3 5_125	6,85E-04	3,87E-03	3,18E-03	0,00E+00	1,89E-02	1,11E-01	9,20E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1030	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1031	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1032	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1033	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1034	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1035	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1036	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1045	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,30E-03	4,43E-02	4,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1046	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,29E-02	1,33E-01	1,20E-01	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1047	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1048	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1049	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1050	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1051	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,30E-03	4,43E-02	4,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1052	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,45E-03	6,65E-02	6,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1053	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1057	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1058	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1059	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1060	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1061	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Element- index	Neubau Reststoffe [m³]	Erneuerung Reststoffe [m³]	Rückbau Reststoffe [m³]	Unterhalt Reststoffe [m³/Jahr]	Neubau MVA [m³]	Erneuerung MVA [m³]	Rückbau MVA [m³]	Unterhalt MVA [m³/Jahr]	Neubau SAVA [m³]
E4 1_1062	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1065	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1066	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1069	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,59E-03	4,48E-02	3,72E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1070	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,59E-03	4,48E-02	3,72E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1071	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-02	6,95E-02	5,77E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1072	1,44E-02	8,44E-02	7,00E-02	1,05E-03	3,08E-03	1,81E-02	1,50E-02	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1086	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 1_1092	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 3_1084	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E4 4_183	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,72E-03	2,77E-02	2,30E-02	0,00E+00	0,00E+00
E5 1_189	6,92E-05	3,99E-04	3,30E-04	0,00E+00	7,52E-03	2,97E-02	2,22E-02	1,02E-04	9,26E-05
E5 1_193	6,92E-05	3,99E-04	3,30E-04	0,00E+00	7,46E-03	2,85E-02	2,10E-02	0,00E+00	9,26E-05
E5 1_198	2,91E-04	1,65E-03	1,36E-03	0,00E+00	4,54E-04	4,68E-03	4,23E-03	0,00E+00	1,88E-04
E5 5_206	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,23E-02	7,23E-02	6,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E5 7_213	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,05E-03	1,21E-02	1,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1042	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1043	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1044	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1063	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1064	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1067	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1068	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1073	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,24E-05	7,31E-05	6,06E-05	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1074	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,08E-05	6,35E-05	5,27E-05	0,00E+00	0,00E+00

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

E6 1_1075	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,83E-06	5,19E-05	4,31E-05	0,00E+00	0,00E+00
E6 1_1076	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,18E-06	4,81E-05	3,99E-05	0,00E+00	0,00E+00
I0 4_236	4,34E-05	3,12E-04	2,68E-04	0,00E+00	8,82E-04	8,63E-03	7,75E-03	0,00E+00	0,00E+00
I0 4_237	3,22E-05	2,19E-04	1,87E-04	0,00E+00	5,12E-04	4,83E-03	4,31E-03	0,00E+00	0,00E+00
I0 4_239	1,71E-05	1,16E-04	9,91E-05	0,00E+00	3,23E-04	2,87E-03	2,55E-03	0,00E+00	0,00E+00
I0 4_244	6,18E-05	4,48E-04	3,87E-04	0,00E+00	1,18E-03	1,21E-02	1,10E-02	0,00E+00	0,00E+00
Element-index	Neubau Reststoffe [m³]	Erneuerung Reststoffe [m³]	Rückbau Reststoffe [m³]	Unterhalt Reststoffe [m³/Jahr]	Neubau MVA [m³]	Erneuerung MVA [m³]	Rückbau MVA [m³]	Unterhalt MVA [m³/Jahr]	Neubau SAVA [m³]
I0 4_245	4,40E-05	3,19E-04	2,75E-04	0,00E+00	6,96E-04	7,17E-03	6,48E-03	0,00E+00	0,00E+00
I2 1_258	3,23E-04	1,86E-03	1,54E-03	0,00E+00	2,29E-03	2,36E-02	2,13E-02	0,00E+00	0,00E+00
I2 2_261	8,85E-03	1,09E-01	9,99E-02	0,00E+00	5,63E-04	6,93E-03	6,37E-03	0,00E+00	0,00E+00
I2 2_265	1,19E-04	6,84E-04	5,66E-04	0,00E+00	5,72E-05	5,89E-04	5,32E-04	0,00E+00	0,00E+00
I2 4_270	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
I2 4_271	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
I2 4_274	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-02	1,12E-01	1,01E-01	0,00E+00	0,00E+00
I2 5_276	7,05E-04	1,28E-02	1,21E-02	0,00E+00	7,38E-03	4,34E-02	3,60E-02	0,00E+00	0,00E+00
I5 2_308	2,22E-04	1,28E-03	1,06E-03	0,00E+00	7,31E-03	7,53E-02	6,80E-02	0,00E+00	2,50E-05
I5 3_310	4,52E-03	8,06E-02	7,61E-02	0,00E+00	4,44E-04	4,57E-03	4,13E-03	0,00E+00	0,00E+00
M1 6_333	7,78E-05	4,48E-04	3,70E-04	0,00E+00	4,10E-03	2,41E-02	2,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
M3 1_1005	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M3 1_1090	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M3 3_1054	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,15E-04	3,62E-03	3,00E-03	0,00E+00	0,00E+00
M3 3_1055	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M3 6_1056	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M4 1_1029	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M4 6_370	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M5 1_1028	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M5 3_1024	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1011	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1012	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1013	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1015	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1016	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1018	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1019	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,50E-02	7,50E-02	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1020	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,00E-02	6,00E-02	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1021	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,50E-02	1,50E-02	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1085	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1088	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Element-index	Neubau Reststoffe [m³]	Erneuerung Reststoffe [m³]	Rückbau Reststoffe [m³]	Unterhalt Reststoffe [m³/Jahr]	Neubau MVA [m³]	Erneuerung MVA [m³]	Rückbau MVA [m³]	Unterhalt MVA [m³/Jahr]	Neubau SAVA [m³]
M8 1_1089	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
M8 1_1094	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,76E-03	3,88E-02	3,50E-02	0,00E+00	0,00E+00

Tabelle A1.96 Prozessdaten für Heizwärme- und Elektrizitätsbereitstellung

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

	Einheit	PEB nicht erneuerbar [TJ]	PEB erneuerbar [TJ]	Treibhauspotenzial [kg CO2 Äq.]	Ozonabbau [kg CO2 Äq.]	Versauerung [kg SO2 Äq.]	Überdüngung [kg PO4 Äq.]	Sommersmog [kg Ethen Äq.]	Wintersmog [kg SO2 Äq.]
Erdgas in Heizung atm. Brenner <100 kW	TJ	1,32E+00	1,91E-02	6,90E+04	6,98E-03	8,85E+01	1,16E+01	2,70E+01	3,78E+01
Erdgas in Heizung atm. LowNOx Brennwert <100kW	TJ	1,32E+00	1,91E-02	6,89E+04	6,98E-03	6,75E+01	7,70E+00	2,63E+01	3,78E+01
Erdgas in Heizung Gebläsebr LowNOx <100kW	TJ	1,33E+00	2,82E-02	6,90E+04	7,07E-03	6,49E+01	7,06E+00	2,64E+01	3,87E+01
Heizöl EL in Heizung 10 kW Brennwert	TJ	1,35E+00	3,35E-02	8,81E+04	1,60E-01	1,86E+02	1,83E+01	9,00E+01	1,35E+02
Strom Niederspannung - Bezug in UCPT	TJ	3,54E+00	2,58E-01	1,63E+05	5,84E-02	1,20E+03	4,24E+01	3,89E+01	1,09E+03

Anhang 3: Faktoren für die Berechnung der Wirkungsbilanz

Nachfolgend sind die Charakterisierungsfaktoren aufgelistet, die zur Erstellung der Wirkungsbilanz verwendet wurden. Sie wurden Goedkoop (1995, Anhang 3) entnommen.

Kategorie	Substanz	Faktor	Einheit
Treibhauspotential			
Luft	1,1,1-Trichlorethan	100	kg
Luft	CFC (hart)	7100	kg
Luft	CFC (weich)	1600	kg
Luft	CFC-11	3400	kg
Luft	CFC-113	4500	kg
Luft	CFC-114	7000	kg
Luft	CFC-115	7000	kg
Luft	CFC-12	7100	kg
Luft	CFC-13	13000	kg
Luft	CO2	1	kg
Luft	Dichlormethan	15	kg
Luft	Halon-1211	4900	kg
Luft	Halon-1301	4900	kg
Luft	HCFC-123	90	kg
Luft	HCFC-124	440	kg
Luft	HCFC-141b	580	kg
Luft	HCFC-142b	1800	kg
Luft	HCFC-22	1600	kg
Luft	HFC-125	3400	kg
Luft	HFC-134a	1200	kg
Luft	HFC-143a	3800	kg
Luft	HFC-152a	150	kg
Luft	Methan	11	kg
Luft	N2O	270	kg
Luft	Tetrachlormethan	1300	kg
Luft	Trichloromethan	25	kg
Ozonabbaupotential			
Luft	1,1,1-trichlorethan	0,12	kg
Luft	CFC (hart)	1	kg
Luft	CFC (weich)	0,055	kg
Luft	CFC-11	1	kg
Luft	CFC-113	1,07	kg
Luft	CFC-114	0,8	kg
Luft	CFC-115	0,5	kg
Luft	CFC-12	1	kg
Luft	CFC-13	1	kg
Luft	Halon 1201	1,4	kg

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 3: Faktoren für die Berechnung der Wirkungsbilanz

Kategorie	Substanz	Faktor	Einheit
Luft	Halon 1202	1,25	kg
Luft	Halon 1211	4	kg
Luft	Halon1301	16	kg
Luft	Halon 2311	0,14	kg
Luft	Halon 2401	0,25	kg
Luft	Halon 2402	7	kg
Luft	HCFC-123	0,02	kg
Luft	HCFC-124	0,022	kg
Luft	HCFC-141b	0,11	kg
Luft	HCFC-142b	0,065	kg
Luft	HCFC-22	0,055	kg
Luft	HCFC-225ca	0,025	kg
Luft	HCFC-225cb	0,033	kg
Luft	Methylbromid	0,6	kg
Luft	Tetrachlormethan	1,08	kg
Versauerung			
Luft	Ammonium	1,88	kg
Luft	HCL	0,88	kg
Luft	HF	1,6	kg
Luft	NO	1,07	kg
Luft	NO2	0,7	kg
Luft	NOx	0,7	kg
Luft	SO2	1	kg
Luft	Sox	1	kg
Überdüngung			
Luft	Ammonium	0,33	kg
Luft	Nitrat	0,42	kg
Luft	NO	0,2	kg
Luft	NO2	0,13	kg
Luft	NOx	0,13	kg
Luft	Phosphat	1	kg
Wasser	COD	0,022	kg
Wasser	NH3	0,33	kg
Wasser	NH4+	0,33	kg
Wasser	Ntot	0,42	kg
Wasser	Phosphat	1	kg
Wasser	Ptot	3,06	kg
Sommersmog			
Luft	1,1,1-Trichlorethan	0,021	kg
Luft	1,2-Dichlorethan	0,021	kg
Luft	Aceton	0,178	kg
Luft	Acetylen	0,168	kg
Luft	Alkohole	0,196	kg

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 3 : Faktoren für die Berechnung der Wirkungsbilanz

Kategorie	Substanz	Faktor	Einheit
Luft	Aldehyde	0,443	kg
Luft	Benzol	0,189	kg
Luft	Caprolactum	0,761	kg
Luft	Chlorphenole	0,761	kg
Luft	Rohöl	0,398	kg
Luft	CxHy	0,398	kg
Luft	CxHy Aliphate	0,398	kg
Luft	CxHy Aromate	0,761	kg
Luft	CxHy Chloro	0,021	kg
Luft	Dichlormethan	0,021	kg
Luft	Diethylether	0,398	kg
Luft	Diphenyle	0,761	kg
Luft	Ethanol	0,268	kg
Luft	Ethen	1	kg
Luft	Ethylenglykol	0,196	kg
Luft	Ethylenoxid	0,377	kg
Luft	Formaldehyd	0,421	kg
Luft	Hexaclorobiphenyl	0,761	kg
Luft	Hydroxi Komponenten	0,377	kg
Luft	Isopropanol	0,196	kg
Luft	Ketone	0,326	kg
Luft	Methan	0,007	kg
Luft	Methyl Ethyl Ketone	0,473	kg
Luft	Methylmercaptan	0,377	kg
Luft	Naphtalin	0,761	kg
Luft	nicht Methan VOC	0,416	kg
Luft	PAH	0,761	kg
Luft	Pentan	0,408	kg
Luft	Benzin	0,398	kg
Luft	Phenol	0,761	kg
Luft	Phtalsäureanhydrid	0,761	kg
Luft	Propan	0,42	kg
Luft	Propen	1,03	kg
Luft	Propionaldehyd	0,603	kg
Luft	Styrol	0,761	kg
Luft	Terpentin	0,377	kg
Luft	Tetrachlormethan	0,021	kg
Luft	Toluol	0,563	kg
Luft	Trichlorethen	0,066	kg
Luft	Vinylacetat	0,223	kg
Luft	Vinylchlorid	0,021	kg
Luft	VOC	0,398	kg

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 3: Faktoren für die Berechnung der Wirkungsbilanz

Luft	Xylol	0,85	kg
------	-------	------	----

Kategorie	Substanz	Faktor	Einheit
Wintersmog			
Luft	Staub	1	kg
Luft	SO ₂	1	kg
Luft	Ruß	1	kg
Karzinogene Substanzen			
Luft	As	0,044	kg
Luft	Benzol	0,000011	kg
Luft	Benzoapyrene	1	kg
Luft	Cr (6+)	0,44	kg
Luft	CxHyAromate	0,000011	kg
Luft	Ethylbenzol	0,000011	kg
Luft	Fluoranthen	1	kg
Luft	Ni	0,44	kg
Luft	PAH	1	kg
Luft	tar	0,000011	kg
Schwermetalle			
Luft	Cadmiumoxyd	50	kg
Luft	Cd	50	kg
Luft	Schwermetalle	1	kg
Luft	Hg	1	kg
Luft	Mn	1	kg
Luft	Pb	1	kg
Wasser	As	1	kg
Wasser	B	0,3	kg
Wasser	Ba	0,14	kg
Wasser	Cd	3	kg
Wasser	Cr	0,2	kg
Wasser	Cu	0,005	kg
Wasser	Hg	10	kg
Wasser	Mn	0,02	kg
Wasser	Mo	0,14	kg
Wasser	Ni	0,5	kg
Wasser	Pb	1	kg
Wasser	Sb	2	kg

Anhang 4: Bilanzdaten der Hausvarianten

Zusammengestellt sind im Folgenden die im Fallbeispiel ermittelten Bilanzdaten der untersuchten Hausvarianten. Es wird eine Gebäudelebensdauer von 80 Jahren angenommen.

Teil 1:

In den Tabellen A4.97 bis A4.110 auf den Seiten 276 bis 294 sind die Werte der einzelnen Kategorien aller Hausvarianten nach Lebenswegphasen und die jeweilige Gesamtsumme dargestellt mit

- mittlerer Lebensdauer der Elemente und
- Energieverbrauch der Nutzungsphase entsprechend der Simulationsrechnung.

In den Tabellen A4.111 und A4.112 sind die Gesamtergebnisse ohne Verschnitt bzw. mit einem Recycling von 100 Prozent dargestellt.

Teil 2:

Die Tabelle A4.113 auf der Seite 296 zeigt im Vergleich dazu die Werte der Nutzungsphase mit einem zugrunde gelegten Energieverbrauch der Nutzungsphase entsprechend der Messung in der Heizperiode 1992/93, hochgerechnet auf 80 Jahre bei einer mittleren Lebensdauer der Elemente. Daneben sind die Minimal- und Maximalwerte der Nutzungsphase auf der Basis des statistischen Streubereichs des Nutzerverhaltens um den Simulationswert angegeben.

Auf die Darstellung der Abfallkategorien wird jeweils verzichtet, da die Abfallmengen aus der Energiebereitstellung nicht in die Berechnungen eingehen, d.h. die Werte gleichermaßen Null sind (siehe auch die entsprechenden Tabellen in Teil 1).

Teil 3:

In den Tabellen A4.115 bis A4.120 auf den Seiten 299 bis 304 sind die Werte für die Erneuerungsphase dargestellt mit einer zugrunde gelegten

- kurzen Lebensdauer der Elemente, was einem worst-case-Szenario entspricht, bzw. einer
- langen Lebensdauer der Elemente, die einem best-case-Szenario entspricht, wobei wie in Teil 1 der Energieverbrauch der Nutzungsphase entsprechend der Simulationsrechnung verwendet wird.

Teil 4:

In den Tabellen A4.121 bis A4.131 auf den Seiten 305 bis 307 ist der zeitliche Verlauf der Belastungen dargestellt. Zugrunde gelegt werden dabei

- die mittlere Lebensdauer der Elemente und
- die Simulationsdaten zur Nutzungsphase.

Die Daten sind jeweils bis zum angegebenen Zeitpunkt kumuliert.

Tabellenverzeichnis:

Teil 1: Gesamtergebnis nach Phasen

Tabelle A4.1 PEB nicht erneuerbar	276
Tabelle A4.2 PEB erneuerbar	278
Tabelle A4.3 Treibhauspotenzial	279
Tabelle A4.4 Ozonabbau	280
Tabelle A4.5 Versauerung	281
Tabelle A4.6 Überdüngung	283
Tabelle A4.7 Sommersmog	285
Tabelle A4.8 Wintersmog	287
Tabelle A4.9 Karzinogene Substanzen	288
Tabelle A4.10 Schwermetalle	289
Tabelle A4.11 Ökoindikatorpunkte	290
Tabelle A4.12 Stofffluss	292
Tabelle A4.13 Abfälle in Inertstoffdeponie	293
Tabelle A4.14 Abfälle in Müllverbrennungsanlage (MVA)	294
Tabelle A4.15 Gesamtergebnis ohne Verschnitt	295
Tabelle A4.16 Gesamtergebnis mit 100prozentigem Recycling	295

Teil 2 Belastungen der Nutzungsphase

Tabelle A4.15 Belastungen der Nutzungsphase basierend auf den Simulationswerten, des gemessenen Energieverbrauchs für die einzelnen Haushälften während der Heizperiode 1992/93 und des Minimal- bzw. Maximalwertes entsprechend der Streuung des Nutzerverhaltens (50 bzw. 150 Prozent des Simulationswertes)	296
Tabelle A4.16 Wirkungsbilanz der Nutzungsphase getrennt nach Heizwärmebedarf und Warmwasserbereitstellung sowie Stromverbrauch. Basis: Simulationswerte für den Heizwärmebedarf und gemessene Stromverbräuche	298

Teil 3 Ergebnisse bei Variation der Elementlebensdauern

Tabelle A4.17 Belastungen der Erneuerung bei einer kurzen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 1	299
Tabelle A4.18 Belastungen der Erneuerung bei einer kurzen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 2	300
Tabelle A4.19 Belastungen der Erneuerung bei einer kurzen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 3	301
Tabelle A4.20 Belastungen der Erneuerung bei einer langen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 1	302
Tabelle A4.21 Belastungen der Erneuerung bei einer langen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 2	303
Tabelle A4.22 Belastungen der Erneuerung bei einer langen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 3	304

Teil 4 Zeitlicher Verlauf der Belastungen

Tabelle A4.23 PEB nicht erneuerbar	305
Tabelle A4.24 Treibhauspotenzial	305
Tabelle A4.25 Ozonabbaupotenzial	305
Tabelle A4.26 Versauerung	305
Tabelle A4.27 Überdüngung	306
Tabelle A4.28 Sommersmog	306
Tabelle A4.29 Wintersmog	306
Tabelle A4.30 Karzinogene Substanzen	306
Tabelle A4.31 Schwermetalle	307
Tabelle A4.32 Eco-Indicator	307
Tabelle A4.33 Stofffluss	307

Tabelle A4.97 PEB nicht erneuerbar für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [TJ]	Erneuerung [TJ]	Entsorgung [TJ]	Nutzung [TJ]	Gesamtsumme [TJ]
Referenzhaus	Gebäude total	9,94E-01	5,47E-01	2,49E-02	8,50E+00	1,01E+01
	Fassade	2,26E-01	1,89E-02	3,78E-03	0	2,49E-01
	Öffnungen	1,89E-02	2,20E-02	1,38E-03	0	4,22E-02
	Innenwände	1,21E-01	3,81E-02	3,71E-03	0	1,63E-01
	Decken/Böden	3,02E-01	2,66E-01	1,11E-02	0	5,79E-01
	Dächer	8,62E-02	2,76E-02	1,46E-03	0	1,15E-01
	Technik	1,08E-01	1,41E-01	5,08E-04	0	2,49E-01
	Sonstiges	1,31E-01	3,44E-02	2,96E-03	0	1,69E-01
Haus A	Gebäude total	9,36E-01	5,58E-01	2,75E-02	3,80E+00	5,32E+00
	Fassade	1,28E-01	1,72E-02	3,13E-03	0	1,48E-01
	Öffnungen	3,51E-02	4,09E-02	3,86E-03	0	7,99E-02
	Innenwände	1,19E-01	4,50E-02	3,94E-03	0	1,67E-01
	Decken/Böden	3,71E-01	2,64E-01	1,16E-02	0	6,47E-01
	Dächer	8,87E-02	2,50E-02	1,45E-03	0	1,15E-01
	Technik	4,85E-02	1,29E-01	3,73E-04	0	1,78E-01
	Sonstiges	1,46E-01	3,65E-02	3,11E-03	0	1,85E-01
Haus B	Gebäude total	9,21E-01	5,89E-01	2,76E-02	5,00E+00	6,54E+00
	Fassade	9,06E-02	2,01E-02	2,57E-03	0	1,13E-01
	Öffnungen	8,28E-02	8,83E-02	3,87E-03	0	1,75E-01
	Innenwände	9,45E-02	3,95E-02	4,54E-03	0	1,39E-01
	Decken/Böden	3,44E-01	2,73E-01	1,16E-02	0	6,29E-01
	Dächer	8,99E-02	2,76E-02	1,39E-03	0	1,19E-01
	Technik	6,63E-02	1,04E-01	4,39E-04	0	1,70E-01
	Sonstiges	1,52E-01	3,75E-02	3,22E-03	0	1,93E-01
Haus C	Gebäude total	1,20E+00	5,55E-01	2,79E-02	5,30E+00	7,08E+00
	Fassade	1,74E-01	2,26E-02	4,69E-03	0	2,01E-01
	Öffnungen	3,04E-02	3,41E-02	1,87E-03	0	6,64E-02
	Innenwände	1,48E-01	4,34E-02	6,05E-03	0	1,98E-01
	Decken/Böden	4,34E-01	2,30E-01	1,10E-02	0	6,75E-01
	Dächer	1,52E-01	1,48E-02	7,57E-04	0	1,67E-01
	Technik	8,83E-02	1,64E-01	7,03E-04	0	2,53E-01
	Sonstiges	1,70E-01	4,58E-02	2,78E-03	0	2,18E-01
Haus DI	Gebäude total	1,06E+00	4,56E-01	2,37E-02	4,90E+00	6,44E+00
	Fassade	1,84E-01	1,56E-02	3,07E-03	0	2,02E-01
	Öffnungen	1,54E-02	1,77E-02	1,11E-03	0	3,42E-02
	Innenwände	1,28E-01	1,74E-02	2,88E-03	0	1,48E-01
	Decken/Böden	4,18E-01	2,23E-01	1,14E-02	0	6,52E-01
	Dächer	9,72E-02	2,13E-02	1,78E-03	0	1,20E-01
	Technik	8,21E-02	1,34E-01	5,41E-04	0	2,17E-01
	Sonstiges	1,35E-01	2,62E-02	2,94E-03	0	1,64E-01
Haus DII	Gebäude total	1,00E+00	3,83E-01	2,35E-02	1,00E+01	1,14E+01
	Fassade	1,80E-01	1,56E-02	3,07E-03	0	1,99E-01
	Öffnungen	1,54E-02	1,77E-02	1,11E-03	0	3,42E-02
	Innenwände	1,28E-01	1,74E-02	2,88E-03	0	1,48E-01
	Decken/Böden	4,18E-01	2,23E-01	1,14E-02	0	6,52E-01
	Dächer	9,72E-02	2,13E-02	1,78E-03	0	1,20E-01
	Technik	2,82E-02	6,18E-02	3,93E-04	0	9,04E-02
	Sonstiges	1,34E-01	2,60E-02	2,94E-03	0	1,63E-01
Haus E	Gebäude total	1,13E+00	5,37E-01	2,70E-02	5,70E+00	7,39E+00
	Fassade	1,45E-01	1,78E-02	3,84E-03	0	1,66E-01
	Öffnungen	2,14E-02	2,47E-02	1,55E-03	0	4,76E-02
	Innenwände	1,24E-01	3,77E-02	5,15E-03	0	1,67E-01
	Decken/Böden	4,21E-01	2,64E-01	1,23E-02	0	6,98E-01
	Dächer	1,42E-01	1,42E-02	7,04E-04	0	1,57E-01
Technik	1,04E-01	1,33E-01	6,50E-04	0	2,37E-01	

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
Anhang 4: Bilanzdaten der Hausvarianten

	Sonstiges	1,70E-01	4,60E-02	2,80E-03	0	2,19E-01
--	-----------	----------	----------	----------	---	----------

Tabelle A4.98 PEB erneuerbar für alle Hausvarianten nach Phasen und Element-kategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [TJ]	Erneuerung [TJ]	Entsorgung [TJ]	Nutzung [TJ]	Gesamtsumme [TJ]
Referenzhaus	Gebäude total	3,50E-01	7,65E-02	2,55E-03	1,50E-01	5,79E-01
	Fassade	1,16E-02	1,60E-02	5,00E-04	0	2,81E-02
	Öffnungen	2,05E-02	2,51E-02	1,49E-04	0	4,57E-02
	Innenwände	2,39E-03	1,22E-03	6,47E-04	0	4,25E-03
	Decken/Böden	1,39E-01	4,18E-03	6,76E-04	0	1,44E-01
	Dächer	1,35E-01	1,99E-03	1,04E-04	0	1,37E-01
	Technik	1,33E-02	3,38E-03	4,15E-05	0	1,67E-02
	Sonstiges	2,85E-02	2,47E-02	4,32E-04	0	5,36E-02
Haus A	Gebäude total	3,40E-01	8,88E-02	3,00E-03	1,20E-01	5,52E-01
	Fassade	1,19E-02	1,93E-02	4,66E-04	0	3,16E-02
	Öffnungen	2,71E-02	3,31E-02	5,86E-04	0	6,08E-02
	Innenwände	3,47E-03	1,55E-03	6,30E-04	0	5,65E-03
	Decken/Böden	1,31E-01	4,22E-03	7,17E-04	0	1,36E-01
	Dächer	1,36E-01	1,88E-03	1,04E-04	0	1,38E-01
	Technik	1,20E-03	3,22E-03	4,05E-05	0	4,46E-03
	Sonstiges	2,96E-02	2,56E-02	4,55E-04	0	5,56E-02
Haus B	Gebäude total	2,96E-01	9,66E-02	2,57E-03	1,60E-01	5,55E-01
	Fassade	1,68E-02	4,60E-02	2,87E-04	0	6,31E-02
	Öffnungen	9,34E-03	1,43E-02	2,19E-04	0	2,38E-02
	Innenwände	1,77E-03	1,26E-03	6,98E-04	0	3,73E-03
	Decken/Böden	1,24E-01	4,59E-03	7,33E-04	0	1,29E-01
	Dächer	1,06E-01	2,06E-03	1,20E-04	0	1,09E-01
	Technik	7,16E-03	2,58E-03	4,10E-05	0	9,78E-03
	Sonstiges	3,00E-02	2,58E-02	4,70E-04	0	5,63E-02
Haus C	Gebäude total	1,72E-01	8,67E-02	3,32E-03	1,30E-01	3,92E-01
	Fassade	1,14E-02	1,82E-02	8,08E-04	0	3,03E-02
	Öffnungen	3,13E-02	3,66E-02	1,76E-04	0	6,80E-02
	Innenwände	4,53E-03	1,38E-03	1,07E-03	0	6,98E-03
	Decken/Böden	1,35E-02	3,50E-03	8,05E-04	0	1,78E-02
	Dächer	8,20E-02	3,81E-03	7,05E-06	0	8,58E-02
	Technik	8,21E-03	7,37E-03	7,84E-05	0	1,57E-02
	Sonstiges	2,09E-02	1,59E-02	3,76E-04	0	3,71E-02
Haus DI	Gebäude total	6,91E-01	5,31E-02	2,24E-03	1,30E-01	8,76E-01
	Fassade	1,55E-01	4,64E-04	2,87E-04	0	1,56E-01
	Öffnungen	1,65E-02	2,02E-02	1,20E-04	0	3,69E-02
	Innenwände	4,91E-03	5,33E-04	4,99E-04	0	5,94E-03
	Decken/Böden	3,02E-01	4,15E-03	7,21E-04	0	3,07E-01
	Dächer	1,78E-01	3,08E-03	1,25E-04	0	1,81E-01
	Technik	7,59E-03	2,88E-03	4,23E-05	0	1,05E-02
	Sonstiges	2,62E-02	2,18E-02	4,43E-04	0	4,84E-02
Haus DII	Gebäude total	6,84E-01	5,18E-02	2,24E-03	7,50E-01	1,49E+00
	Fassade	1,55E-01	4,64E-04	2,87E-04	0	1,56E-01
	Öffnungen	1,65E-02	2,02E-02	1,20E-04	0	3,69E-02
	Innenwände	4,91E-03	5,33E-04	4,99E-04	0	5,94E-03
	Decken/Böden	3,02E-01	4,15E-03	7,21E-04	0	3,07E-01
	Dächer	1,78E-01	3,08E-03	1,25E-04	0	1,81E-01
	Technik	6,93E-04	1,54E-03	4,05E-05	0	2,28E-03
	Sonstiges	2,62E-02	2,18E-02	4,43E-04	0	4,84E-02
Haus E	Gebäude total	1,71E-01	6,89E-02	3,22E-03	1,70E-01	4,13E-01
	Fassade	9,21E-03	1,44E-02	6,59E-04	0	2,42E-02
	Öffnungen	2,30E-02	2,81E-02	1,67E-04	0	5,13E-02
	Innenwände	3,77E-03	1,21E-03	9,13E-04	0	5,89E-03
	Decken/Böden	1,41E-02	3,93E-03	1,06E-03	0	1,91E-02
	Dächer	8,57E-02	1,48E-03	7,27E-06	0	8,72E-02
	Technik	1,30E-02	2,74E-03	4,35E-05	0	1,57E-02
	Sonstiges	2,22E-02	1,71E-02	3,68E-04	0	3,96E-02

Tabelle A4.99 Treibhauspotenzial für alle Hausvarianten nach Phasen und Element-kategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg CO2 Äq.]	Erneuerung [kg CO2 Äq.]	Entsorgung [kg CO2 Äq.]	Nutzung [kg CO2 Äq.]	Gesamts. [kg CO2 Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	5,64E+04	3,25E+04	1,60E+04	4,40E+05	5,45E+05
	Fassade	1,90E+04	6,49E+02	3,77E+02	0	2,00E+04
	Öffnungen	-4,34E+02	3,64E+02	9,11E+02	0	8,41E+02
	Innenwände	9,92E+03	3,22E+03	6,92E+01	0	1,32E+04
	Decken/Böden	1,73E+04	1,66E+04	5,98E+03	0	3,99E+04
	Dächer	-5,78E+03	1,59E+03	6,54E+03	0	2,35E+03
	Technik	6,35E+03	8,03E+03	8,49E+02	0	1,52E+04
	Sonstiges	1,01E+04	2,11E+03	1,31E+03	0	1,35E+04
Haus A	Gebäude total	5,83E+04	3,31E+04	1,50E+04	1,90E+05	2,96E+05
	Fassade	1,35E+04	3,79E+02	6,21E+02	0	1,45E+04
	Öffnungen	2,55E+02	1,27E+03	1,17E+03	0	2,69E+03
	Innenwände	1,26E+04	3,69E+03	8,95E+01	0	1,64E+04
	Decken/Böden	2,41E+04	1,65E+04	4,78E+03	0	4,54E+04
	Dächer	-5,71E+03	1,44E+03	6,62E+03	0	2,35E+03
	Technik	2,53E+03	7,50E+03	3,60E+02	0	1,04E+04
	Sonstiges	1,10E+04	2,27E+03	1,37E+03	0	1,47E+04
Haus B	Gebäude total	5,68E+04	3,48E+04	1,56E+04	2,50E+05	3,57E+05
	Fassade	8,58E+03	-6,37E+02	2,14E+03	0	1,01E+04
	Öffnungen	4,03E+03	5,15E+03	1,25E+03	0	1,04E+04
	Innenwände	9,41E+03	3,32E+03	5,23E+02	0	1,33E+04
	Decken/Böden	2,22E+04	1,70E+04	4,51E+03	0	4,36E+04
	Dächer	-2,83E+03	1,59E+03	5,14E+03	0	3,90E+03
	Technik	3,79E+03	6,03E+03	6,07E+02	0	1,04E+04
	Sonstiges	1,16E+04	2,35E+03	1,41E+03	0	1,54E+04
Haus C	Gebäude total	9,41E+04	3,37E+04	8,72E+03	2,70E+05	4,06E+05
	Fassade	1,81E+04	8,21E+02	3,71E+02	0	1,93E+04
	Öffnungen	-5,45E+02	6,94E+02	1,38E+03	0	1,52E+03
	Innenwände	1,52E+04	3,65E+03	1,08E+02	0	1,90E+04
	Decken/Böden	3,63E+04	1,45E+04	1,52E+03	0	5,22E+04
	Dächer	5,20E+03	7,61E+02	3,73E+03	0	9,68E+03
	Technik	5,02E+03	9,77E+03	6,79E+02	0	1,55E+04
	Sonstiges	1,48E+04	3,51E+03	9,38E+02	0	1,93E+04
Haus DI	Gebäude total	1,52E+04	2,88E+04	3,26E+04	2,50E+05	3,27E+05
	Fassade	-2,85E+03	1,11E+03	6,10E+03	0	4,36E+03
	Öffnungen	-3,44E+02	2,95E+02	7,35E+02	0	6,85E+02
	Innenwände	1,07E+04	1,41E+03	5,88E+01	0	1,22E+04
	Decken/Böden	1,16E+03	1,34E+04	1,41E+04	0	2,87E+04
	Dächer	-8,77E+03	1,17E+03	8,65E+03	0	1,05E+03
	Technik	4,88E+03	1,00E+04	1,59E+03	0	1,65E+04
	Sonstiges	1,04E+04	1,34E+03	1,40E+03	0	1,32E+04
Haus DII	Gebäude total	1,14E+04	2,23E+04	3,14E+04	4,70E+05	5,35E+05
	Fassade	-3,12E+03	1,11E+03	6,10E+03	0	4,10E+03
	Öffnungen	-3,44E+02	2,95E+02	7,35E+02	0	6,85E+02
	Innenwände	1,07E+04	1,41E+03	5,88E+01	0	1,22E+04
	Decken/Böden	1,16E+03	1,34E+04	1,41E+04	0	2,87E+04
	Dächer	-8,77E+03	1,17E+03	8,65E+03	0	1,05E+03
	Technik	1,37E+03	3,60E+03	3,32E+02	0	5,30E+03
	Sonstiges	1,04E+04	1,33E+03	1,40E+03	0	1,31E+04
Haus E	Gebäude total	8,73E+04	3,58E+04	1,05E+04	2,90E+05	4,24E+05
	Fassade	1,52E+04	6,44E+02	2,96E+02	0	1,61E+04
	Öffnungen	-4,79E+02	4,10E+02	1,02E+03	0	9,53E+02
	Innenwände	1,27E+04	3,19E+03	9,16E+01	0	1,60E+04
	Decken/Böden	3,43E+04	1,64E+04	2,04E+03	0	5,28E+04
	Dächer	3,96E+03	8,00E+02	3,95E+03	0	8,71E+03
	Technik	6,39E+03	1,08E+04	2,17E+03	0	1,93E+04
	Sonstiges	1,52E+04	3,54E+03	9,73E+02	0	1,97E+04

Tabelle A4.100 Ozonabbau für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg R11 Äq.]	Erneuerung [kg R11 Äq.]	Entsorgung [kg R11 Äq.]	Nutzung [kg R11 Äq.]	Gesamts. [kg R11 Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	5,40E-02	3,92E-02	2,37E-03	5,10E-02	1,47E-01
	Fassade	1,42E-02	7,92E-04	3,52E-04	0	1,53E-02
	Öffnungen	6,10E-04	8,43E-04	1,31E-04	0	1,58E-03
	Innenwände	7,59E-03	1,59E-03	3,14E-04	0	9,49E-03
	Decken/Böden	1,41E-02	2,77E-02	1,17E-03	0	4,30E-02
	Dächer	3,95E-03	1,16E-03	1,09E-04	0	5,21E-03
	Technik	4,87E-03	4,97E-03	3,56E-05	0	9,87E-03
	Sonstiges	8,74E-03	2,12E-03	2,58E-04	0	1,11E-02
Haus A	Gebäude total	5,38E-02	4,04E-02	2,59E-03	3,20E-02	1,29E-01
	Fassade	9,71E-03	7,29E-04	2,77E-04	0	1,07E-02
	Öffnungen	1,13E-03	1,59E-03	3,39E-04	0	3,06E-03
	Innenwände	9,73E-03	1,98E-03	3,45E-04	0	1,21E-02
	Decken/Böden	1,67E-02	2,74E-02	1,23E-03	0	4,52E-02
	Dächer	4,06E-03	1,10E-03	1,08E-04	0	5,27E-03
	Technik	2,47E-03	5,36E-03	2,30E-05	0	7,85E-03
	Sonstiges	1,01E-02	2,25E-03	2,71E-04	0	1,26E-02
Haus B	Gebäude total	4,39E-02	4,32E-02	2,49E-03	4,40E-02	1,34E-01
	Fassade	2,75E-03	8,83E-04	2,39E-04	0	3,87E-03
	Öffnungen	4,22E-03	4,55E-03	2,21E-04	0	8,99E-03
	Innenwände	3,02E-03	1,63E-03	3,97E-04	0	5,05E-03
	Decken/Böden	1,59E-02	2,82E-02	1,22E-03	0	4,53E-02
	Dächer	4,16E-03	1,26E-03	1,07E-04	0	5,53E-03
	Technik	3,40E-03	4,33E-03	2,91E-05	0	7,76E-03
	Sonstiges	1,05E-02	2,31E-03	2,80E-04	0	1,31E-02
Haus C	Gebäude total	6,59E-02	3,67E-02	2,61E-03	3,90E-02	1,44E-01
	Fassade	1,17E-02	9,48E-04	3,96E-04	0	1,30E-02
	Öffnungen	9,74E-04	1,27E-03	1,83E-04	0	2,43E-03
	Innenwände	9,43E-03	1,80E-03	5,07E-04	0	1,17E-02
	Decken/Böden	2,23E-02	2,35E-02	1,17E-03	0	4,69E-02
	Dächer	7,22E-03	3,88E-04	6,40E-05	0	7,67E-03
	Technik	4,04E-03	6,26E-03	5,07E-05	0	1,04E-02
	Sonstiges	1,03E-02	2,60E-03	2,50E-04	0	1,32E-02
Haus DI	Gebäude total	5,64E-02	3,53E-02	2,17E-03	3,20E-02	1,26E-01
	Fassade	1,10E-02	6,52E-04	2,71E-04	0	1,19E-02
	Öffnungen	4,94E-04	6,78E-04	1,06E-04	0	1,28E-03
	Innenwände	7,06E-03	6,79E-04	2,44E-04	0	7,98E-03
	Decken/Böden	1,93E-02	2,31E-02	1,13E-03	0	4,35E-02
	Dächer	4,68E-03	1,14E-03	1,29E-04	0	5,95E-03
	Technik	4,95E-03	7,41E-03	3,77E-05	0	1,24E-02
	Sonstiges	8,94E-03	1,68E-03	2,53E-04	0	1,09E-02
Haus DII	Gebäude total	5,30E-02	3,10E-02	2,16E-03	1,70E-01	2,56E-01
	Fassade	1,09E-02	6,53E-04	2,71E-04	0	1,18E-02
	Öffnungen	4,94E-04	6,78E-04	1,06E-04	0	1,28E-03
	Innenwände	7,06E-03	6,79E-04	2,44E-04	0	7,98E-03
	Decken/Böden	1,93E-02	2,31E-02	1,13E-03	0	4,35E-02
	Dächer	4,68E-03	1,14E-03	1,29E-04	0	5,95E-03
	Technik	1,74E-03	3,07E-03	2,60E-05	0	4,83E-03
	Sonstiges	8,86E-03	1,66E-03	2,53E-04	0	1,08E-02
Haus E	Gebäude total	6,42E-02	4,20E-02	2,51E-03	4,70E-02	1,56E-01
	Fassade	9,71E-03	7,47E-04	3,25E-04	0	1,08E-02
	Öffnungen	6,87E-04	9,43E-04	1,47E-04	0	1,78E-03
	Innenwände	7,84E-03	1,58E-03	4,32E-04	0	9,85E-03
	Decken/Böden	2,30E-02	2,75E-02	1,25E-03	0	5,17E-02
	Dächer	6,59E-03	3,41E-04	5,57E-05	0	6,99E-03
	Technik	6,54E-03	8,32E-03	4,64E-05	0	1,49E-02
	Sonstiges	9,87E-03	2,58E-03	2,54E-04	0	1,27E-02

Tabelle A4.101 Versauerung für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg SO ₂ Äq.]	Erneuerung [kg SO ₂ Äq.]	Entsorgung [kg SO ₂ Äq.]	Nutzung [kg SO ₂ Äq.]	Gesamtsumme [kg SO ₂ Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	4,05E+02	2,34E+02	1,24E+01	7,20E+02	1,37E+03
	Fassade	6,86E+01	7,02E+00	9,15E-01	0	7,66E+01
	Öffnungen	6,06E+00	7,21E+00	5,69E-01	0	1,38E+01
	Innenwände	3,54E+01	1,35E+01	6,11E-01	0	4,95E+01
	Decken/Böden	1,53E+02	1,29E+02	5,02E+00	0	2,87E+02
	Dächer	3,75E+01	1,15E+01	3,15E+00	0	5,21E+01
	Technik	4,20E+01	5,09E+01	1,01E+00	0	9,38E+01
	Sonstiges	6,28E+01	1,47E+01	1,16E+00	0	7,86E+01
Haus A	Gebäude total	3,90E+02	2,44E+02	1,27E+01	5,50E+02	1,20E+03
	Fassade	5,21E+01	6,63E+00	9,19E-01	0	5,96E+01
	Öffnungen	1,13E+01	1,29E+01	9,81E-01	0	2,52E+01
	Innenwände	3,22E+01	1,64E+01	8,09E-01	0	4,93E+01
	Decken/Böden	1,64E+02	1,28E+02	4,83E+00	0	2,97E+02
	Dächer	3,86E+01	1,02E+01	3,18E+00	0	5,20E+01
	Technik	2,16E+01	5,41E+01	7,31E-01	0	7,64E+01
	Sonstiges	7,00E+01	1,55E+01	1,22E+00	0	8,68E+01
Haus B	Gebäude total	4,66E+02	2,59E+02	2,22E+01	7,00E+02	1,45E+03
	Fassade	1,02E+02	8,69E+00	1,47E+00	0	1,12E+02
	Öffnungen	2,46E+01	3,54E+01	1,02E+01	0	7,02E+01
	Innenwände	4,70E+01	1,39E+01	1,21E+00	0	6,21E+01
	Decken/Böden	1,52E+02	1,31E+02	4,64E+00	0	2,88E+02
	Dächer	3,93E+01	1,13E+01	2,51E+00	0	5,30E+01
	Technik	2,84E+01	4,28E+01	8,69E-01	0	7,20E+01
	Sonstiges	7,31E+01	1,59E+01	1,26E+00	0	9,03E+01
Haus CI	Gebäude total	4,37E+02	2,32E+02	9,68E+00	6,30E+02	1,31E+03
	Fassade	5,56E+01	8,36E+00	9,08E-01	0	6,48E+01
	Öffnungen	9,68E+00	1,12E+01	8,34E-01	0	2,17E+01
	Innenwände	4,67E+01	1,53E+01	9,44E-01	0	6,29E+01
	Decken/Böden	1,59E+02	1,11E+02	3,05E+00	0	2,73E+02
	Dächer	5,30E+01	5,92E+00	1,86E+00	0	6,08E+01
	Technik	3,50E+01	6,30E+01	1,04E+00	0	9,90E+01
	Sonstiges	7,80E+01	1,77E+01	1,06E+00	0	9,67E+01
Haus CII	Gebäude total	4,37E+02	2,32E+02	9,68E+00	5,60E+02	1,24E+03
	Fassade	5,56E+01	8,36E+00	9,08E-01	0	6,48E+01
	Öffnungen	9,68E+00	1,12E+01	8,34E-01	0	2,17E+01
	Innenwände	4,67E+01	1,53E+01	9,44E-01	0	6,29E+01
	Decken/Böden	1,59E+02	1,11E+02	3,05E+00	0	2,73E+02
	Dächer	5,30E+01	5,92E+00	1,86E+00	0	6,08E+01
	Technik	3,50E+01	6,30E+01	1,04E+00	0	9,90E+01
	Sonstiges	7,80E+01	1,77E+01	1,06E+00	0	9,67E+01

Teil 2 Tabelle A4.101 Versauerung für alle Hausvarianten nach Phasen und Element-kategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg SO ₂ Äq.]	Erneuerung [kg SO ₂ Äq.]	Entsorgung [kg SO ₂ Äq.]	Nutzung [kg SO ₂ Äq.]	Gesamtsumme [kg SO ₂ Äq.]
Haus DI	Gebäude total	4,78E+02	2,58E+02	1,95E+01	3,90E+02	1,15E+03
	Fassade	6,58E+01	5,25E+00	3,23E+00	0	7,43E+01
	Öffnungen	4,93E+00	5,82E+00	4,58E-01	0	1,12E+01
	Innenwände	4,98E+01	5,94E+00	4,86E-01	0	5,62E+01
	Decken/Böden	1,86E+02	1,07E+02	8,85E+00	0	3,02E+02
	Dächer	4,15E+01	7,68E+00	4,11E+00	0	5,32E+01
	Technik	6,51E+01	1,16E+02	1,16E+00	0	1,83E+02
	Sonstiges	6,42E+01	1,06E+01	1,18E+00	0	7,60E+01
Haus DII	Gebäude total	4,24E+02	1,71E+02	1,90E+01	3,50E+03	4,11E+03
	Fassade	6,40E+01	5,26E+00	3,23E+00	0	7,25E+01
	Öffnungen	4,93E+00	5,82E+00	4,58E-01	0	1,12E+01
	Innenwände	4,98E+01	5,94E+00	4,86E-01	0	5,62E+01
	Decken/Böden	1,86E+02	1,07E+02	8,85E+00	0	3,02E+02
	Dächer	4,15E+01	7,68E+00	4,11E+00	0	5,32E+01
	Technik	1,37E+01	2,88E+01	6,98E-01	0	4,32E+01
	Sonstiges	6,38E+01	1,05E+01	1,18E+00	0	7,55E+01
Haus E	Gebäude total	4,58E+02	3,20E+02	1,03E+01	7,80E+02	1,57E+03
	Fassade	4,63E+01	6,59E+00	7,45E-01	0	5,37E+01
	Öffnungen	6,85E+00	8,10E+00	6,38E-01	0	1,56E+01
	Innenwände	3,91E+01	1,34E+01	8,03E-01	0	5,33E+01
	Decken/Böden	1,50E+02	1,29E+02	3,59E+00	0	2,82E+02
	Dächer	5,23E+01	6,03E+00	1,94E+00	0	6,03E+01
	Technik	8,55E+01	1,39E+02	1,44E+00	0	2,26E+02
	Sonstiges	7,77E+01	1,80E+01	1,10E+00	0	9,68E+01

Tabelle A4.102 Überdüngung für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg PO4 Äq.]	Erneuerung [kg PO4 Äq.]	Entsorgung [kg PO4 Äq.]	Nutzung [kg PO4 Äq.]	Gesamtsumme [kg PO4 Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	3,84E+01	2,32E+01	2,28E+00	7,70E+01	1,41E+02
	Fassade	6,46E+00	7,36E-01	1,64E-01	0	7,36E+00
	Öffnungen	4,66E-01	6,56E-01	1,20E-01	0	1,24E+00
	Innenwände	3,34E+00	1,34E+00	9,06E-02	0	4,77E+00
	Decken/Böden	1,36E+01	1,58E+01	1,01E+00	0	3,04E+01
	Dächer	3,68E+00	7,90E-01	6,07E-01	0	5,07E+00
	Technik	3,09E+00	2,34E+00	8,46E-02	0	5,52E+00
	Sonstiges	7,77E+00	1,55E+00	2,02E-01	0	9,53E+00
Haus A	Gebäude total	3,90E+01	2,36E+01	2,28E+00	3,70E+01	1,02E+02
	Fassade	4,23E+00	6,99E-01	1,51E-01	0	5,08E+00
	Öffnungen	8,08E-01	1,08E+00	1,88E-01	0	2,08E+00
	Innenwände	3,54E+00	1,64E+00	1,24E-01	0	5,30E+00
	Decken/Böden	1,69E+01	1,56E+01	9,63E-01	0	3,34E+01
	Dächer	3,85E+00	7,24E-01	6,13E-01	0	5,19E+00
	Technik	8,22E-01	2,20E+00	3,26E-02	0	3,06E+00
	Sonstiges	8,86E+00	1,63E+00	2,11E-01	0	1,07E+01
Haus B	Gebäude total	3,86E+01	2,43E+01	2,32E+00	3,90E+01	1,04E+02
	Fassade	3,29E+00	9,39E-01	2,64E-01	0	4,50E+00
	Öffnungen	1,43E+00	1,69E+00	1,87E-01	0	3,30E+00
	Innenwände	3,35E+00	1,38E+00	1,77E-01	0	4,91E+00
	Decken/Böden	1,57E+01	1,61E+01	9,27E-01	0	3,27E+01
	Dächer	3,85E+00	8,10E-01	4,84E-01	0	5,15E+00
	Technik	1,79E+00	1,77E+00	5,88E-02	0	3,62E+00
	Sonstiges	9,22E+00	1,65E+00	2,18E-01	0	1,11E+01
Haus CI	Gebäude total	4,46E+01	2,21E+01	1,69E+00	4,90E+01	1,17E+02
	Fassade	6,26E+00	8,76E-01	1,41E-01	0	7,28E+00
	Öffnungen	7,38E-01	9,99E-01	1,79E-01	0	1,92E+00
	Innenwände	5,13E+00	1,52E+00	1,39E-01	0	6,78E+00
	Decken/Böden	1,60E+01	1,35E+01	6,23E-01	0	3,01E+01
	Dächer	5,04E+00	3,67E-01	3,60E-01	0	5,77E+00
	Technik	2,18E+00	3,03E+00	7,03E-02	0	5,28E+00
	Sonstiges	9,25E+00	1,78E+00	1,81E-01	0	1,12E+01
Haus CII	Gebäude total	4,46E+01	2,21E+01	1,69E+00	3,70E+01	1,05E+02
	Fassade	6,26E+00	8,76E-01	1,41E-01	0	7,28E+00
	Öffnungen	7,38E-01	9,99E-01	1,79E-01	0	1,92E+00
	Innenwände	5,13E+00	1,52E+00	1,39E-01	0	6,78E+00
	Decken/Böden	1,60E+01	1,35E+01	6,23E-01	0	3,01E+01
	Dächer	5,04E+00	3,67E-01	3,60E-01	0	5,77E+00
	Technik	2,18E+00	3,03E+00	7,03E-02	0	5,28E+00
	Sonstiges	9,25E+00	1,78E+00	1,81E-01	0	1,12E+01

Teil 2 Tabelle A4.102 Überdüngung für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg PO4 Äq.]	Erneuerung [kg PO4 Äq.]	Entsorgung [kg PO4 Äq.]	Nutzung [kg PO4 Äq.]	Gesamtsumme [kg PO4 Äq.]
Haus DI	Gebäude total	4,64E+01	1,88E+01	3,65E+00	2,90E+01	9,78E+01
	Fassade	6,73E+00	5,40E-01	6,32E-01	0	7,90E+00
	Öffnungen	3,77E-01	5,29E-01	9,65E-02	0	1,00E+00
	Innenwände	5,39E+00	5,87E-01	7,24E-02	0	6,05E+00
	Decken/Böden	1,95E+01	1,30E+01	1,72E+00	0	3,42E+01
	Dächer	4,40E+00	6,49E-01	7,96E-01	0	5,84E+00
	Technik	2,10E+00	2,44E+00	1,26E-01	0	4,66E+00
	Sonstiges	7,89E+00	1,03E+00	2,06E-01	0	9,13E+00
Haus DII	Gebäude total	4,45E+01	1,74E+01	3,56E+00	1,20E+02	1,85E+02
	Fassade	6,56E+00	5,40E-01	6,31E-01	0	7,73E+00
	Öffnungen	3,77E-01	5,29E-01	9,65E-02	0	1,00E+00
	Innenwände	5,39E+00	5,87E-01	7,24E-02	0	6,05E+00
	Decken/Böden	1,95E+01	1,30E+01	1,72E+00	0	3,42E+01
	Dächer	4,40E+00	6,49E-01	7,96E-01	0	5,84E+00
	Technik	4,77E-01	1,07E+00	3,24E-02	0	1,57E+00
	Sonstiges	7,83E+00	1,02E+00	2,06E-01	0	9,05E+00
Haus E	Gebäude total	4,19E+01	2,31E+01	1,77E+00	5,50E+01	1,22E+02
	Fassade	5,22E+00	6,90E-01	1,16E-01	0	6,03E+00
	Öffnungen	5,25E-01	7,35E-01	1,34E-01	0	1,39E+00
	Innenwände	4,29E+00	1,33E+00	1,18E-01	0	5,73E+00
	Decken/Böden	1,48E+01	1,57E+01	6,65E-01	0	3,12E+01
	Dächer	5,01E+00	3,44E-01	3,75E-01	0	5,73E+00
	Technik	3,08E+00	2,48E+00	1,73E-01	0	5,73E+00
	Sonstiges	8,97E+00	1,79E+00	1,88E-01	0	1,10E+01

Tabelle A4.103 Sommersmog für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg C2H4 Äq.]	Erneuerung [kg C2H4 Äq.]	Entsorgung [kg C2H4 Äq.]	Nutzung [kg C2H4 Äq.]	Gesamts. [kg C2H4 Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	5,10E+01	5,74E+01	1,79E+00	1,70E+02	2,80E+02
	Fassade	9,62E+00	8,68E-01	2,49E-01	0	1,07E+01
	Öffnungen	7,13E-01	9,30E-01	9,21E-02	0	1,73E+00
	Innenwände	5,17E+00	1,35E+00	2,14E-01	0	6,74E+00
	Decken/Böden	1,71E+01	4,75E+01	8,27E-01	0	6,54E+01
	Dächer	5,68E+00	9,28E-01	1,70E-01	0	6,78E+00
	Technik	4,68E+00	3,93E+00	3,86E-02	0	8,65E+00
	Sonstiges	8,05E+00	1,92E+00	2,03E-01	0	1,02E+01
Haus A	Gebäude total	5,13E+01	5,77E+01	1,96E+00	6,70E+01	1,78E+02
	Fassade	6,80E+00	8,52E-01	2,10E-01	0	7,87E+00
	Öffnungen	1,16E+00	1,55E+00	2,29E-01	0	2,94E+00
	Innenwände	6,49E+00	1,73E+00	2,47E-01	0	8,47E+00
	Decken/Böden	1,99E+01	4,67E+01	8,67E-01	0	6,74E+01
	Dächer	5,90E+00	8,83E-01	1,70E-01	0	6,95E+00
	Technik	1,78E+00	4,01E+00	2,05E-02	0	5,82E+00
	Sonstiges	9,28E+00	2,02E+00	2,13E-01	0	1,15E+01
Haus B	Gebäude total	4,56E+01	6,00E+01	1,91E+00	8,60E+01	1,93E+02
	Fassade	2,67E+00	1,28E+00	2,08E-01	0	4,16E+00
	Öffnungen	2,81E+00	3,11E+00	1,67E-01	0	6,08E+00
	Innenwände	2,73E+00	1,39E+00	2,89E-01	0	4,42E+00
	Decken/Böden	1,91E+01	4,79E+01	8,53E-01	0	6,78E+01
	Dächer	5,65E+00	1,00E+00	1,48E-01	0	6,80E+00
	Technik	3,00E+00	3,26E+00	2,94E-02	0	6,29E+00
	Sonstiges	9,65E+00	2,06E+00	2,20E-01	0	1,19E+01
Haus CI	Gebäude total	5,77E+01	5,14E+01	1,86E+00	9,80E+01	2,09E+02
	Fassade	8,37E+00	1,03E+00	2,76E-01	0	9,67E+00
	Öffnungen	1,12E+00	1,39E+00	1,29E-01	0	2,64E+00
	Innenwände	6,82E+00	1,53E+00	3,43E-01	0	8,70E+00
	Decken/Böden	2,15E+01	4,01E+01	7,68E-01	0	6,24E+01
	Dächer	7,09E+00	3,96E-01	1,02E-01	0	7,59E+00
	Technik	3,51E+00	4,73E+00	4,44E-02	0	8,29E+00
	Sonstiges	9,26E+00	2,19E+00	1,98E-01	0	1,16E+01
Haus CII	Gebäude total	5,77E+01	5,14E+01	1,86E+00	9,60E+01	2,07E+02
	Fassade	8,37E+00	1,03E+00	2,76E-01	0	9,67E+00
	Öffnungen	1,12E+00	1,39E+00	1,29E-01	0	2,64E+00
	Innenwände	6,82E+00	1,53E+00	3,43E-01	0	8,70E+00
	Decken/Böden	2,15E+01	4,01E+01	7,68E-01	0	6,24E+01
	Dächer	7,09E+00	3,96E-01	1,02E-01	0	7,59E+00
	Technik	3,51E+00	4,73E+00	4,44E-02	0	8,29E+00
	Sonstiges	9,26E+00	2,19E+00	1,98E-01	0	1,16E+01

Teil 2 Tabelle A4.103 Sommersmog für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg C2H4 Äq.]	Erneuerung [kg C2H4 Äq.]	Entsorgung [kg C2H4 Äq.]	Nutzung [kg C2H4 Äq.]	Gesamts. [kg C2H4 Äq.]
Haus DI	Gebäude total	6,17E+01	4,86E+01	1,91E+00	9,20E+01	2,04E+02
	Fassade	9,73E+00	5,68E-01	2,69E-01	0	1,06E+01
	Öffnungen	5,76E-01	7,49E-01	7,42E-02	0	1,40E+00
	Innenwände	7,00E+00	5,84E-01	1,68E-01	0	7,75E+00
	Decken/Böden	2,51E+01	3,90E+01	9,44E-01	0	6,50E+01
	Dächer	7,05E+00	9,29E-01	2,12E-01	0	8,19E+00
	Technik	4,07E+00	5,34E+00	4,65E-02	0	9,45E+00
	Sonstiges	8,17E+00	1,46E+00	1,99E-01	0	9,83E+00
Haus DII	Gebäude total	5,86E+01	4,55E+01	1,89E+00	1,10E+02	2,16E+02
	Fassade	9,55E+00	5,69E-01	2,69E-01	0	1,04E+01
	Öffnungen	5,76E-01	7,49E-01	7,42E-02	0	1,40E+00
	Innenwände	7,00E+00	5,84E-01	1,68E-01	0	7,75E+00
	Decken/Böden	2,51E+01	3,90E+01	9,44E-01	0	6,50E+01
	Dächer	7,05E+00	9,29E-01	2,12E-01	0	8,19E+00
	Technik	1,22E+00	2,24E+00	2,25E-02	0	3,48E+00
	Sonstiges	8,09E+00	1,44E+00	1,99E-01	0	9,74E+00
Haus E	Gebäude total	5,62E+01	5,89E+01	1,80E+00	1,00E+02	2,17E+02
	Fassade	6,97E+00	8,11E-01	2,26E-01	0	8,00E+00
	Öffnungen	8,02E-01	1,04E+00	1,03E-01	0	1,95E+00
	Innenwände	5,68E+00	1,35E+00	2,92E-01	0	7,32E+00
	Decken/Böden	2,14E+01	4,73E+01	8,18E-01	0	6,96E+01
	Dächer	6,91E+00	3,39E-01	1,00E-01	0	7,35E+00
	Technik	5,63E+00	5,87E+00	6,08E-02	0	1,16E+01
	Sonstiges	8,81E+00	2,18E+00	2,03E-01	0	1,12E+01

Tabelle A4.104 Wintersmog für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg SO ₂ Äq.]	Erneuerung [kg SO ₂ Äq.]	Entsorgung [kg SO ₂ Äq.]	Nutzung [kg SO ₂ Äq.]	Gesamts. [kg SO ₂ Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	3,29E+02	1,88E+02	3,64E+00	3,90E+02	9,10E+02
	Fassade	4,83E+01	6,32E+00	3,73E-01	0	5,50E+01
	Öffnungen	7,70E+00	8,72E+00	1,51E-01	0	1,66E+01
	Innenwände	2,62E+01	1,08E+01	2,95E-01	0	3,73E+01
	Decken/Böden	1,23E+02	6,60E+01	1,63E+00	0	1,90E+02
	Dächer	4,20E+01	1,07E+01	4,99E-01	0	5,32E+01
	Technik	4,32E+01	7,26E+01	3,43E-01	0	1,16E+02
	Sonstiges	3,85E+01	1,27E+01	3,45E-01	0	5,15E+01
Haus A	Gebäude total	4,09E+02	1,93E+02	3,84E+00	4,20E+02	1,03E+03
	Fassade	8,88E+01	6,47E+00	3,47E-01	0	9,56E+01
	Öffnungen	1,35E+01	1,48E+01	3,36E-01	0	2,86E+01
	Innenwände	7,42E+01	1,29E+01	3,61E-01	0	8,74E+01
	Decken/Böden	1,22E+02	6,57E+01	1,64E+00	0	1,89E+02
	Dächer	4,26E+01	9,66E+00	5,01E-01	0	5,28E+01
	Technik	2,63E+01	7,06E+01	2,94E-01	0	9,72E+01
	Sonstiges	4,17E+01	1,34E+01	3,62E-01	0	5,55E+01
Haus B	Gebäude total	3,81E+02	2,01E+02	8,00E+00	5,80E+02	1,17E+03
	Fassade	9,25E+01	1,10E+01	4,66E-01	0	1,04E+02
	Öffnungen	2,58E+01	3,10E+01	4,31E+00	0	6,11E+01
	Innenwände	3,74E+01	1,12E+01	5,18E-01	0	4,91E+01
	Decken/Böden	1,13E+02	6,78E+01	1,61E+00	0	1,82E+02
	Dächer	3,96E+01	1,06E+01	4,13E-01	0	5,06E+01
	Technik	2,87E+01	5,60E+01	3,18E-01	0	8,50E+01
	Sonstiges	4,36E+01	1,37E+01	3,74E-01	0	5,77E+01
Haus C	Gebäude total	5,04E+02	1,95E+02	3,42E+00	4,30E+02	1,13E+03
	Fassade	9,49E+01	7,43E+00	3,92E-01	0	1,03E+02
	Öffnungen	1,21E+01	1,34E+01	2,15E-01	0	2,57E+01
	Innenwände	7,72E+01	1,23E+01	4,66E-01	0	8,99E+01
	Decken/Böden	1,64E+02	5,66E+01	1,32E+00	0	2,22E+02
	Dächer	6,90E+01	6,32E+00	3,00E-01	0	7,56E+01
	Technik	3,93E+01	8,51E+01	3,90E-01	0	1,25E+02
	Sonstiges	4,82E+01	1,40E+01	3,37E-01	0	6,26E+01
Haus DI	Gebäude total	4,05E+02	2,17E+02	4,46E+00	2,90E+02	9,15E+02
	Fassade	6,23E+01	3,37E+00	6,19E-01	0	6,62E+01
	Öffnungen	6,24E+00	7,03E+00	1,22E-01	0	1,34E+01
	Innenwände	3,09E+01	4,72E+00	2,32E-01	0	3,59E+01
	Decken/Böden	1,52E+02	5,50E+01	2,11E+00	0	2,09E+02
	Dächer	4,89E+01	7,84E+00	6,37E-01	0	5,74E+01
	Technik	6,49E+01	1,29E+02	3,97E-01	0	1,94E+02
	Sonstiges	3,94E+01	1,01E+01	3,42E-01	0	4,98E+01
Haus DII	Gebäude total	3,54E+02	1,22E+02	4,35E+00	3,20E+03	3,68E+03
	Fassade	6,11E+01	3,37E+00	6,19E-01	0	6,51E+01
	Öffnungen	6,24E+00	7,03E+00	1,22E-01	0	1,34E+01
	Innenwände	3,09E+01	4,72E+00	2,32E-01	0	3,59E+01
	Decken/Böden	1,52E+02	5,50E+01	2,11E+00	0	2,09E+02
	Dächer	4,89E+01	7,84E+00	6,37E-01	0	5,74E+01
	Technik	1,53E+01	3,44E+01	2,82E-01	0	5,00E+01
	Sonstiges	3,92E+01	1,00E+01	3,42E-01	0	4,96E+01
Haus E	Gebäude total	5,22E+02	2,60E+02	3,59E+00	5,70E+02	1,36E+03
	Fassade	7,91E+01	5,86E+00	3,22E-01	0	8,52E+01
	Öffnungen	8,69E+00	9,79E+00	1,70E-01	0	1,86E+01
	Innenwände	6,41E+01	1,08E+01	3,96E-01	0	7,52E+01
	Decken/Böden	1,77E+02	6,57E+01	1,58E+00	0	2,44E+02
	Dächer	6,38E+01	6,21E+00	3,06E-01	0	7,03E+01
	Technik	8,05E+01	1,47E+02	4,73E-01	0	2,28E+02
	Sonstiges	4,95E+01	1,44E+01	3,48E-01	0	6,43E+01

Tabelle A4.105 Karzinogene Substanzen für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg PAH Äq.]	Erneuerung [kg PAH Äq.]	Entsorgung [kg PAH Äq.]	Nutzung [kg PAH Äq.]	Gesamts. [kg PAH Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	5,87E-03	6,30E-03	1,19E-04	6,50E-02	7,73E-02
	Fassade	3,10E-04	9,99E-05	4,20E-06	0	4,14E-04
	Öffnungen	1,71E-03	1,73E-03	6,92E-06	0	3,45E-03
	Innenwände	1,62E-04	6,20E-05	2,33E-06	0	2,27E-04
	Decken/Böden	5,43E-04	2,78E-04	4,12E-05	0	8,63E-04
	Dächer	2,42E-04	1,00E-04	4,79E-05	0	3,90E-04
	Technik	8,70E-04	2,19E-03	5,54E-06	0	3,06E-03
	Sonstiges	2,04E-03	1,84E-03	1,12E-05	0	3,88E-03
Haus A	Gebäude total	8,42E-03	8,97E-03	1,14E-04	2,40E-02	4,15E-02
	Fassade	2,30E-04	1,12E-04	5,11E-06	0	3,48E-04
	Öffnungen	4,15E-03	4,18E-03	9,94E-06	0	8,34E-03
	Innenwände	1,88E-04	7,59E-05	2,59E-06	0	2,66E-04
	Decken/Böden	6,69E-04	2,78E-04	3,47E-05	0	9,81E-04
	Dächer	2,50E-04	9,56E-05	4,84E-05	0	3,94E-04
	Technik	6,85E-04	2,21E-03	1,91E-06	0	2,90E-03
	Sonstiges	2,25E-03	2,02E-03	1,17E-05	0	4,27E-03
Haus B	Gebäude total	8,59E-03	9,00E-03	1,16E-04	3,10E-02	4,87E-02
	Fassade	1,82E-04	2,37E-04	1,16E-05	0	4,30E-04
	Öffnungen	4,46E-03	4,49E-03	1,34E-05	0	8,97E-03
	Innenwände	1,35E-04	6,38E-05	4,70E-06	0	2,03E-04
	Decken/Böden	6,18E-04	2,89E-04	3,26E-05	0	9,40E-04
	Dächer	2,38E-04	1,02E-04	3,77E-05	0	3,78E-04
	Technik	5,72E-04	1,68E-03	3,77E-06	0	2,25E-03
	Sonstiges	2,38E-03	2,14E-03	1,20E-05	0	4,53E-03
Haus C	Gebäude total	9,03E-03	1,26E-02	7,03E-05	3,60E-02	5,77E-02
	Fassade	4,55E-04	1,15E-04	5,00E-06	0	5,75E-04
	Öffnungen	2,75E-03	2,78E-03	1,03E-05	0	5,55E-03
	Innenwände	3,59E-04	7,01E-05	3,77E-06	0	4,33E-04
	Decken/Böden	8,52E-04	2,40E-04	1,13E-05	0	1,10E-03
	Dächer	6,24E-04	3,32E-04	2,74E-05	0	9,83E-04
	Technik	1,78E-03	7,09E-03	4,26E-06	0	8,88E-03
	Sonstiges	2,20E-03	1,96E-03	8,37E-06	0	4,17E-03
Haus DI	Gebäude total	6,07E-03	5,71E-03	2,37E-04	3,60E-02	4,80E-02
	Fassade	3,44E-04	2,53E-05	4,46E-05	0	4,14E-04
	Öffnungen	1,38E-03	1,40E-03	5,58E-06	0	2,78E-03
	Innenwände	1,51E-04	2,88E-05	1,85E-06	0	1,82E-04
	Decken/Böden	9,09E-04	2,37E-04	1,03E-04	0	1,25E-03
	Dächer	4,15E-04	2,23E-04	6,31E-05	0	7,00E-04
	Technik	6,06E-04	1,75E-03	7,33E-06	0	2,36E-03
	Sonstiges	2,27E-03	2,05E-03	1,17E-05	0	4,32E-03
Haus DII	Gebäude total	5,73E-03	4,75E-03	2,31E-04	1,80E-02	2,87E-02
	Fassade	3,36E-04	2,54E-05	4,46E-05	0	4,06E-04
	Öffnungen	1,38E-03	1,40E-03	5,58E-06	0	2,78E-03
	Innenwände	1,51E-04	2,88E-05	1,85E-06	0	1,82E-04
	Decken/Böden	9,09E-04	2,37E-04	1,03E-04	0	1,25E-03
	Dächer	4,15E-04	2,23E-04	6,31E-05	0	7,00E-04
	Technik	2,75E-04	7,95E-04	1,86E-06	0	1,07E-03
	Sonstiges	2,26E-03	2,05E-03	1,17E-05	0	4,32E-03
Haus E	Gebäude total	6,65E-03	6,11E-03	7,73E-05	3,70E-02	4,98E-02
	Fassade	3,78E-04	9,11E-05	4,03E-06	0	4,73E-04
	Öffnungen	1,92E-03	1,94E-03	7,76E-06	0	3,87E-03
	Innenwände	2,99E-04	6,16E-05	3,21E-06	0	3,64E-04
	Decken/Böden	8,43E-04	2,74E-04	1,44E-05	0	1,13E-03
	Dächer	3,50E-04	7,90E-05	2,90E-05	0	4,58E-04
	Technik	5,72E-04	1,60E-03	1,03E-05	0	2,18E-03
	Sonstiges	2,29E-03	2,06E-03	8,67E-06	0	4,36E-03

Tabelle A4.106 Schwermetalle für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg Pb Äq.]	Erneuerung [kg Pb Äq.]	Entsorgung [kg Pb Äq.]	Nutzung [kg Pb Äq.]	Gesamts. [kg Pb Äq.]
Referenzhaus	Gebäude total	1,47E+00	3,53E+00	3,63E-01	6,50E-01	6,01E+00
	Fassade	6,42E-02	1,99E-02	2,02E-03	0	8,62E-02
	Öffnungen	1,99E-02	2,76E-02	3,85E-03	0	5,13E-02
	Innenwände	2,86E-02	1,16E-02	6,03E-04	0	4,08E-02
	Decken/Böden	1,91E-01	2,14E+00	3,00E-01	0	2,63E+00
	Dächer	8,74E-01	8,47E-01	2,95E-02	0	1,75E+00
	Technik	2,06E-01	4,62E-01	2,13E-02	0	6,90E-01
	Sonstiges	8,17E-02	3,00E-02	5,21E-03	0	1,17E-01
Haus A	Gebäude total	1,30E+00	3,28E+00	3,45E-01	5,80E-01	5,51E+00
	Fassade	5,21E-02	2,25E-02	1,30E-02	0	8,76E-02
	Öffnungen	3,08E-02	3,98E-02	5,13E-03	0	7,57E-02
	Innenwände	3,25E-02	1,50E-02	6,66E-04	0	4,81E-02
	Decken/Böden	2,30E-01	2,09E+00	2,70E-01	0	2,59E+00
	Dächer	7,42E-01	7,11E-01	2,98E-02	0	1,48E+00
	Technik	1,25E-01	3,69E-01	2,02E-02	0	5,15E-01
	Sonstiges	9,01E-02	3,14E-02	5,46E-03	0	1,27E-01
Haus B	Gebäude total	1,39E+00	3,41E+00	4,85E-01	8,00E-01	6,08E+00
	Fassade	4,19E-02	4,77E-02	6,51E-02	0	1,55E-01
	Öffnungen	8,41E-02	9,85E-02	1,11E-02	0	1,94E-01
	Innenwände	3,14E-02	1,19E-02	8,32E-02	0	1,27E-01
	Decken/Böden	2,16E-01	2,14E+00	2,75E-01	0	2,63E+00
	Dächer	7,98E-01	7,69E-01	2,43E-02	0	1,59E+00
	Technik	1,22E-01	3,11E-01	2,04E-02	0	4,53E-01
	Sonstiges	9,39E-02	3,20E-02	5,60E-03	0	1,31E-01
Haus C	Gebäude total	1,10E+00	2,83E+00	2,83E-01	6,40E-01	4,85E+00
	Fassade	7,35E-02	2,30E-02	1,83E-03	0	9,83E-02
	Öffnungen	3,12E-02	4,11E-02	5,82E-03	0	7,82E-02
	Innenwände	5,38E-02	1,31E-02	9,74E-04	0	6,79E-02
	Decken/Böden	2,03E-01	1,80E+00	2,22E-01	0	2,22E+00
	Dächer	4,50E-01	4,01E-01	1,41E-02	0	8,65E-01
	Technik	1,93E-01	5,24E-01	3,40E-02	0	7,51E-01
	Sonstiges	9,90E-02	3,10E-02	3,78E-03	0	1,34E-01
Haus DI	Gebäude total	9,70E-01	2,56E+00	4,51E-01	4,60E-01	4,44E+00
	Fassade	7,83E-02	4,84E-03	3,25E-02	0	1,16E-01
	Öffnungen	1,61E-02	2,17E-02	3,11E-03	0	4,09E-02
	Innenwände	3,31E-02	5,37E-03	4,85E-04	0	3,90E-02
	Decken/Böden	2,55E-01	1,73E+00	2,98E-01	0	2,28E+00
	Dächer	3,67E-01	3,30E-01	3,83E-02	0	7,35E-01
	Technik	1,38E-01	4,50E-01	7,28E-02	0	6,61E-01
	Sonstiges	8,25E-02	2,45E-02	5,54E-03	0	1,13E-01
Haus DII	Gebäude total	9,03E-01	2,33E+00	4,01E-01	4,10E+00	7,73E+00
	Fassade	7,60E-02	4,84E-03	3,25E-02	0	1,13E-01
	Öffnungen	1,61E-02	2,17E-02	3,11E-03	0	4,09E-02
	Innenwände	3,31E-02	5,37E-03	4,85E-04	0	3,90E-02
	Decken/Böden	2,55E-01	1,73E+00	2,98E-01	0	2,28E+00
	Dächer	3,67E-01	3,30E-01	3,83E-02	0	7,35E-01
	Technik	7,32E-02	2,12E-01	2,30E-02	0	3,09E-01
	Sonstiges	8,21E-02	2,44E-02	5,54E-03	0	1,12E-01
Haus E	Gebäude total	1,12E+00	3,17E+00	5,49E-01	8,10E-01	5,65E+00
	Fassade	6,12E-02	1,82E-02	1,47E-03	0	8,08E-02
	Öffnungen	2,24E-02	3,02E-02	4,32E-03	0	5,69E-02
	Innenwände	4,50E-02	1,15E-02	8,30E-04	0	5,73E-02
	Decken/Böden	2,17E-01	2,14E+00	4,31E-01	0	2,78E+00
	Dächer	5,45E-01	4,97E-01	1,49E-02	0	1,06E+00
	Technik	1,28E-01	4,48E-01	9,24E-02	0	6,69E-01
	Sonstiges	9,93E-02	3,14E-02	3,91E-03	0	1,35E-01

Tabelle A4.107 Öko-Indikatorpunkte für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [Punkte]	Erneuerung [Punkte]	Entsorgung [Punkte]	Nutzung [Punkte]	Gesamts. [Punkte]
Referenzhaus	Gebäude total	2,23E+02	3,83E+02	3,87E+01	3,30E+02	9,74E+02
	Fassade	2,22E+01	3,31E+00	4,57E-01	0	2,60E+01
	Öffnungen	4,49E+00	5,61E+00	6,36E-01	0	1,07E+01
	Innenwände	1,12E+01	4,05E+00	2,16E-01	0	1,55E+01
	Decken/Böden	4,72E+01	2,27E+02	2,97E+01	0	3,03E+02
	Dächer	8,68E+01	8,02E+01	4,43E+00	0	1,71E+02
	Technik	2,86E+01	5,59E+01	2,26E+00	0	8,67E+01
	Sonstiges	2,20E+01	7,53E+00	9,43E-01	0	3,05E+01
Haus A	Gebäude total	2,13E+02	3,64E+02	3,68E+01	2,00E+02	8,14E+02
	Fassade	1,95E+01	3,47E+00	1,50E+00	0	2,44E+01
	Öffnungen	8,81E+00	1,02E+01	9,02E-01	0	1,99E+01
	Innenwände	1,48E+01	4,96E+00	2,60E-01	0	2,00E+01
	Decken/Böden	5,42E+01	2,22E+02	2,67E+01	0	3,03E+02
	Dächer	7,48E+01	6,75E+01	4,48E+00	0	1,47E+02
	Technik	1,66E+01	4,74E+01	2,02E+00	0	6,60E+01
	Sonstiges	2,44E+01	8,00E+00	9,89E-01	0	3,34E+01
Haus B	Gebäude total	2,24E+02	3,79E+02	5,09E+01	2,60E+02	9,14E+02
	Fassade	2,07E+01	6,24E+00	6,65E+00	0	3,36E+01
	Öffnungen	1,72E+01	2,01E+01	2,48E+00	0	3,98E+01
	Innenwände	1,21E+01	4,17E+00	8,00E+00	0	2,43E+01
	Decken/Böden	5,05E+01	2,28E+02	2,70E+01	0	3,05E+02
	Dächer	8,04E+01	7,31E+01	3,60E+00	0	1,57E+02
	Technik	1,75E+01	3,92E+01	2,11E+00	0	5,88E+01
	Sonstiges	2,55E+01	8,25E+00	1,02E+00	0	3,48E+01
Haus CI	Gebäude total	2,14E+02	3,23E+02	2,96E+01	2,50E+02	8,17E+02
	Fassade	2,39E+01	3,88E+00	4,45E-01	0	2,82E+01
	Öffnungen	7,16E+00	8,64E+00	9,54E-01	0	1,68E+01
	Innenwände	1,91E+01	4,59E+00	3,43E-01	0	2,40E+01
	Decken/Böden	5,67E+01	1,91E+02	2,14E+01	0	2,69E+02
	Dächer	5,38E+01	3,83E+01	2,29E+00	0	9,44E+01
	Technik	2,68E+01	6,84E+01	3,40E+00	0	9,86E+01
	Sonstiges	2,71E+01	8,46E+00	7,24E-01	0	3,62E+01
Haus CII	Gebäude total	2,14E+02	3,23E+02	2,96E+01	2,40E+02	8,07E+02
	Fassade	2,39E+01	3,88E+00	4,45E-01	0	2,82E+01
	Öffnungen	7,16E+00	8,64E+00	9,54E-01	0	1,68E+01
	Innenwände	1,91E+01	4,59E+00	3,43E-01	0	2,40E+01
	Decken/Böden	5,67E+01	1,91E+02	2,14E+01	0	2,69E+02
	Dächer	5,38E+01	3,83E+01	2,29E+00	0	9,44E+01
	Technik	2,68E+01	6,84E+01	3,40E+00	0	9,86E+01
	Sonstiges	2,71E+01	8,46E+00	7,24E-01	0	3,62E+01

Teil 2 Tabelle A4.107 Öko-Indikatorpunkte für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [Punkte]	Erneuerung [Punkte]	Entsorgung [Punkte]	Nutzung [Punkte]	Gesamts. [Punkte]
Haus DI	Gebäude total	1,82E+02	2,94E+02	5,09E+01	1,90E+02	7,17E+02
	Fassade	1,95E+01	1,55E+00	4,66E+00	0	2,57E+01
	Öffnungen	3,63E+00	4,47E+00	5,13E-01	0	8,62E+00
	Innenwände	1,37E+01	1,80E+00	1,72E-01	0	1,57E+01
	Decken/Böden	5,72E+01	1,84E+02	3,16E+01	0	2,73E+02
	Dächer	4,08E+01	3,22E+01	5,78E+00	0	7,88E+01
	Technik	2,48E+01	6,40E+01	7,16E+00	0	9,59E+01
	Sonstiges	2,26E+01	6,39E+00	9,94E-01	0	3,00E+01
Haus DII	Gebäude total	1,67E+02	2,56E+02	4,60E+01	1,00E+03	1,47E+03
	Fassade	1,90E+01	1,55E+00	4,66E+00	0	2,52E+01
	Öffnungen	3,63E+00	4,47E+00	5,13E-01	0	8,62E+00
	Innenwände	1,37E+01	1,80E+00	1,72E-01	0	1,57E+01
	Decken/Böden	5,72E+01	1,84E+02	3,16E+01	0	2,73E+02
	Dächer	4,08E+01	3,22E+01	5,78E+00	0	7,88E+01
	Technik	9,70E+00	2,61E+01	2,27E+00	0	3,81E+01
	Sonstiges	2,25E+01	6,36E+00	9,94E-01	0	2,98E+01
Haus E	Gebäude total	2,14E+02	3,62E+02	5,44E+01	2,90E+02	9,21E+02
	Fassade	1,99E+01	3,06E+00	3,60E-01	0	2,33E+01
	Öffnungen	5,05E+00	6,22E+00	7,13E-01	0	1,20E+01
	Innenwände	1,59E+01	4,02E+00	2,92E-01	0	2,02E+01
	Decken/Böden	5,74E+01	2,27E+02	4,08E+01	0	3,25E+02
	Dächer	6,16E+01	4,69E+01	2,41E+00	0	1,11E+02
	Technik	2,73E+01	6,70E+01	9,11E+00	0	1,03E+02
	Sonstiges	2,71E+01	8,63E+00	7,50E-01	0	3,65E+01

Tabelle A4.108 Stofffluss für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [kg]	Erneuerung [kg]	Entsorgung [kg]	Nutzung [kg]	Gesamts. [kg]
Referenzhaus	Gebäude total	3,83E+05	4,63E+04	0	0	4,29E+05
	Fassade	8,13E+04	5,92E+03	0	0	8,72E+04
	Öffnungen	1,15E+03	1,30E+03	0	0	2,46E+03
	Innenwände	3,52E+04	1,78E+04	0	0	5,30E+04
	Decken/Böden	1,93E+05	8,24E+03	0	0	2,01E+05
	Dächer	1,31E+04	1,61E+03	0	0	1,47E+04
	Technik	1,16E+04	3,71E+03	0	0	1,53E+04
	Sonstiges	4,74E+04	7,64E+03	0	0	5,50E+04
Haus A	Gebäude total	4,69E+05	4,79E+04	0	0	5,17E+05
	Fassade	7,91E+04	5,12E+03	0	0	8,42E+04
	Öffnungen	1,76E+03	1,95E+03	0	0	3,71E+03
	Innenwände	7,48E+04	1,87E+04	0	0	9,35E+04
	Decken/Böden	2,49E+05	9,45E+03	0	0	2,59E+05
	Dächer	1,33E+04	1,57E+03	0	0	1,49E+04
	Technik	1,68E+03	3,15E+03	0	0	4,83E+03
	Sonstiges	4,92E+04	7,93E+03	0	0	5,72E+04
Haus B	Gebäude total	4,87E+05	4,78E+04	0	0	5,34E+05
	Fassade	9,56E+04	4,81E+03	0	0	1,00E+05
	Öffnungen	1,91E+03	2,07E+03	0	0	3,98E+03
	Innenwände	8,66E+04	1,84E+04	0	0	1,05E+05
	Decken/Böden	2,32E+05	9,97E+03	0	0	2,41E+05
	Dächer	1,27E+04	1,83E+03	0	0	1,46E+04
	Technik	6,52E+03	2,75E+03	0	0	9,27E+03
	Sonstiges	5,18E+04	7,95E+03	0	0	5,98E+04
Haus C	Gebäude total	3,97E+05	5,40E+04	0	0	4,51E+05
	Fassade	5,34E+04	7,13E+03	0	0	6,05E+04
	Öffnungen	1,79E+03	1,97E+03	0	0	3,77E+03
	Innenwände	4,54E+04	2,02E+04	0	0	6,56E+04
	Decken/Böden	1,96E+05	8,36E+03	0	0	2,04E+05
	Dächer	2,46E+04	4,21E+02	0	0	2,50E+04
	Technik	6,91E+03	3,94E+03	0	0	1,09E+04
	Sonstiges	6,92E+04	1,20E+04	0	0	8,11E+04
Haus DI	Gebäude total	3,84E+05	2,73E+04	0	0	4,11E+05
	Fassade	5,33E+04	5,47E+03	0	0	5,87E+04
	Öffnungen	9,29E+02	1,05E+03	0	0	1,98E+03
	Innenwände	2,96E+04	7,54E+03	0	0	3,72E+04
	Decken/Böden	2,28E+05	5,23E+03	0	0	2,33E+05
	Dächer	1,61E+04	1,84E+03	0	0	1,80E+04
	Technik	7,12E+03	3,48E+03	0	0	1,06E+04
	Sonstiges	4,89E+04	2,69E+03	0	0	5,16E+04
Haus DII	Gebäude total	3,78E+05	2,58E+04	0	0	4,04E+05
	Fassade	5,31E+04	5,47E+03	0	0	5,85E+04
	Öffnungen	9,29E+02	1,05E+03	0	0	1,98E+03
	Innenwände	2,96E+04	7,54E+03	0	0	3,72E+04
	Decken/Böden	2,28E+05	5,23E+03	0	0	2,33E+05
	Dächer	1,61E+04	1,84E+03	0	0	1,80E+04
	Technik	1,32E+03	1,94E+03	0	0	3,26E+03
	Sonstiges	4,89E+04	2,69E+03	0	0	5,16E+04
Haus E	Gebäude total	3,47E+05	4,93E+04	0	0	3,97E+05
	Fassade	4,48E+04	5,61E+03	0	0	5,04E+04
	Öffnungen	1,29E+03	1,46E+03	0	0	2,75E+03
	Innenwände	3,84E+04	1,77E+04	0	0	5,61E+04
	Decken/Böden	1,55E+05	8,48E+03	0	0	1,64E+05
	Dächer	2,24E+04	3,05E+02	0	0	2,27E+04
	Technik	1,15E+04	3,41E+03	0	0	1,49E+04
	Sonstiges	7,37E+04	1,23E+04	0	0	8,60E+04

Tabelle A4.109 Abfälle in Inertstoffdeponie für alle Hausvarianten nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [m³]	Erneuerung [m³]	Entsorgung [m³]	Nutzung [m³]	Gesamts. [m³]
Referenzhaus	Gebäude total	2,08E+02	2,44E+01	2,30E+02	0	4,62E+02
	Fassade	5,88E+00	3,03E+00	6,45E+01	0	7,34E+01
	Öffnungen	6,12E-03	2,12E-01	1,99E-01	0	4,17E-01
	Innenwände	2,72E+00	1,10E+01	2,92E+01	0	4,29E+01
	Decken/Böden	1,05E+01	3,74E+00	8,89E+01	0	1,03E+02
	Dächer	1,55E+00	1,73E+00	2,14E+01	0	2,47E+01
	Technik	5,89E-01	1,53E+00	6,76E+00	0	8,88E+00
	Sonstiges	1,86E+02	3,17E+00	1,88E+01	0	2,08E+02
Haus A	Gebäude total	2,18E+02	3,27E+01	2,96E+02	0	5,46E+02
	Fassade	5,57E+00	2,78E+00	6,52E+01	0	7,36E+01
	Öffnungen	1,12E-02	3,87E-01	3,66E-01	0	7,64E-01
	Innenwände	4,53E+00	1,83E+01	5,18E+01	0	7,47E+01
	Decken/Böden	1,47E+01	4,52E+00	1,28E+02	0	1,48E+02
	Dächer	2,01E+00	1,73E+00	2,93E+01	0	3,31E+01
	Technik	8,52E-02	1,67E+00	8,11E-01	0	2,57E+00
	Sonstiges	1,91E+02	3,29E+00	1,96E+01	0	2,14E+02
Haus B	Gebäude total	2,20E+02	2,56E+01	3,19E+02	0	5,64E+02
	Fassade	6,22E+00	1,90E+00	7,61E+01	0	8,42E+01
	Öffnungen	1,16E-02	4,00E-01	3,80E-01	0	7,92E-01
	Innenwände	5,67E+00	1,14E+01	6,59E+01	0	8,30E+01
	Decken/Böden	1,37E+01	5,20E+00	1,18E+02	0	1,37E+02
	Dächer	2,30E+00	2,05E+00	3,37E+01	0	3,80E+01
	Technik	3,36E-01	1,37E+00	3,81E+00	0	5,52E+00
	Sonstiges	1,91E+02	3,28E+00	2,06E+01	0	2,15E+02
Haus C	Gebäude total	2,49E+02	2,74E+01	3,39E+02	0	6,16E+02
	Fassade	4,42E+00	3,67E+00	6,38E+01	0	7,18E+01
	Öffnungen	9,72E-03	3,36E-01	3,18E-01	0	6,63E-01
	Innenwände	3,66E+00	1,25E+01	5,32E+01	0	6,93E+01
	Decken/Böden	1,21E+01	3,58E+00	1,49E+02	0	1,65E+02
	Dächer	2,47E+00	9,48E-02	4,09E+01	0	4,35E+01
	Technik	3,48E-01	2,07E+00	3,92E+00	0	6,33E+00
	Sonstiges	2,26E+02	5,17E+00	2,78E+01	0	2,59E+02
Haus DI	Gebäude total	2,28E+02	1,55E+01	3,04E+02	0	5,47E+02
	Fassade	5,72E+00	3,09E+00	6,02E+01	0	6,91E+01
	Öffnungen	4,93E-03	1,71E-01	1,60E-01	0	3,36E-01
	Innenwände	2,58E+00	4,68E+00	3,33E+01	0	4,06E+01
	Decken/Böden	1,45E+01	3,22E+00	1,54E+02	0	1,72E+02
	Dächer	2,27E+00	2,09E+00	3,29E+01	0	3,72E+01
	Technik	3,50E-01	1,38E+00	3,97E+00	0	5,70E+00
	Sonstiges	2,02E+02	8,24E-01	1,94E+01	0	2,23E+02
Haus DII	Gebäude total	2,27E+02	1,50E+01	2,95E+02	0	5,37E+02
	Fassade	5,38E+00	3,09E+00	5,44E+01	0	6,28E+01
	Öffnungen	4,93E-03	1,71E-01	1,60E-01	0	3,36E-01
	Innenwände	2,58E+00	4,68E+00	3,33E+01	0	4,06E+01
	Decken/Böden	1,45E+01	3,22E+00	1,54E+02	0	1,72E+02
	Dächer	2,27E+00	2,09E+00	3,29E+01	0	3,72E+01
	Technik	6,74E-02	9,01E-01	6,08E-01	0	1,58E+00
	Sonstiges	2,02E+02	8,24E-01	1,94E+01	0	2,23E+02
Haus E	Gebäude total	2,20E+02	2,43E+01	3,05E+02	0	5,49E+02
	Fassade	3,71E+00	2,89E+00	5,33E+01	0	5,98E+01
	Öffnungen	6,86E-03	2,38E-01	2,23E-01	0	4,67E-01
	Innenwände	3,07E+00	1,10E+01	4,44E+01	0	5,84E+01
	Decken/Böden	9,43E+00	3,47E+00	1,24E+02	0	1,37E+02
	Dächer	2,80E+00	7,02E-02	4,65E+01	0	4,94E+01
	Technik	5,73E-01	1,33E+00	6,68E+00	0	8,58E+00
	Sonstiges	2,00E+02	5,34E+00	2,96E+01	0	2,35E+02

Tabelle A4.110 Abfälle in Müllverbrennungsanlage (MVA) nach Phasen und Elementkategorien.

Hausvariante	Elementkategorie	Neubau [m³]	Erneuerung [m³]	Entsorgung [m³]	Nutzung [m³]	Gesamts. [m³]
Referenzhaus	Gebäude total	9,83E+00	8,63E+00	2,45E+01	0	4,30E+01
	Fassade	2,49E-01	1,32E+00	3,64E-01	0	1,93E+00
	Öffnungen	3,99E-01	2,04E+00	1,28E+00	0	3,72E+00
	Innenwände	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00
	Decken/Böden	6,16E+00	2,74E+00	1,10E+01	0	1,99E+01
	Dächer	1,93E+00	4,99E-02	9,44E+00	0	1,14E+01
	Technik	1,63E-01	1,91E-01	8,54E-01	0	1,21E+00
	Sonstiges	9,29E-01	2,29E+00	1,56E+00	0	4,78E+00
Haus A	Gebäude total	9,58E+00	9,48E+00	2,05E+01	0	3,95E+01
	Fassade	5,63E-01	1,60E+00	3,10E+00	0	5,26E+00
	Öffnungen	4,96E-01	2,54E+00	1,59E+00	0	4,63E+00
	Innenwände	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00
	Decken/Böden	5,58E+00	2,70E+00	4,46E+00	0	1,27E+01
	Dächer	1,95E+00	4,98E-02	9,55E+00	0	1,16E+01
	Technik	1,50E-02	2,05E-01	1,35E-01	0	3,54E-01
	Sonstiges	9,67E-01	2,39E+00	1,62E+00	0	4,97E+00
Haus B	Gebäude total	1,03E+01	1,04E+01	3,24E+01	0	5,31E+01
	Fassade	1,78E+00	3,87E+00	1,56E+01	0	2,12E+01
	Öffnungen	9,79E-02	1,11E+00	6,18E-01	0	1,82E+00
	Innenwände	2,70E-01	0,00E+00	2,51E+00	0	2,78E+00
	Decken/Böden	5,58E+00	2,74E+00	4,11E+00	0	1,24E+01
	Dächer	1,51E+00	5,04E-02	7,40E+00	0	8,96E+00
	Technik	9,13E-02	1,91E-01	5,05E-01	0	7,87E-01
	Sonstiges	9,73E-01	2,42E+00	1,65E+00	0	5,04E+00
Haus C	Gebäude total	2,82E+00	1,10E+01	1,01E+01	0	2,39E+01
	Fassade	8,47E-02	1,49E+00	4,13E-01	0	1,99E+00
	Öffnungen	6,17E-01	2,98E+00	1,94E+00	0	5,53E+00
	Innenwände	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00
	Decken/Böden	1,07E-01	2,40E+00	4,51E-01	0	2,95E+00
	Dächer	1,13E+00	2,82E-01	5,42E+00	0	6,83E+00
	Technik	1,33E-01	2,35E+00	9,00E-01	0	3,39E+00
	Sonstiges	7,43E-01	1,51E+00	9,88E-01	0	3,24E+00
Haus DI	Gebäude total	9,81E+00	2,99E+01	5,01E+01	0	8,98E+01
	Fassade	1,63E+00	0,00E+00	6,84E+00	0	8,47E+00
	Öffnungen	3,22E-01	1,65E+00	1,03E+00	0	3,00E+00
	Innenwände	1,22E-03	0,00E+00	5,95E-03	0	7,17E-03
	Decken/Böden	3,46E+00	2,20E+00	1,69E+01	0	2,25E+01
	Dächer	2,57E+00	1,60E-01	1,25E+01	0	1,52E+01
	Technik	1,24E+00	2,39E+01	1,12E+01	0	3,63E+01
	Sonstiges	5,87E-01	2,04E+00	1,67E+00	0	4,29E+00
Haus DII	Gebäude total	8,58E+00	6,22E+00	3,90E+01	0	5,38E+01
	Fassade	1,63E+00	0,00E+00	6,84E+00	0	8,47E+00
	Öffnungen	3,22E-01	1,65E+00	1,03E+00	0	3,00E+00
	Innenwände	1,22E-03	0,00E+00	5,95E-03	0	7,17E-03
	Decken/Böden	3,46E+00	2,20E+00	1,69E+01	0	2,25E+01
	Dächer	2,57E+00	1,60E-01	1,25E+01	0	1,52E+01
	Technik	1,37E-02	1,81E-01	1,22E-01	0	3,17E-01
	Sonstiges	5,87E-01	2,04E+00	1,67E+00	0	4,29E+00
Haus E	Gebäude total	4,88E+00	3,96E+01	2,98E+01	0	7,43E+01
	Fassade	6,70E-02	1,18E+00	3,27E-01	0	1,57E+00
	Öffnungen	4,47E-01	2,29E+00	1,44E+00	0	4,17E+00
	Innenwände	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0	0,00E+00
	Decken/Böden	6,65E-01	2,71E+00	6,21E+00	0	9,58E+00
	Dächer	1,18E+00	8,65E-02	5,74E+00	0	7,01E+00
	Technik	1,69E+00	3,17E+01	1,51E+01	0	4,84E+01
	Sonstiges	8,37E-01	1,64E+00	1,02E+00	0	3,49E+00

Tabelle A4.111 Gesamtergebnis ohne Verschnitt.

Kriterium	Einheit	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CI	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	TJ	9,90E+00	5,15E+00	6,37E+00	6,91E+00	6,91E+00	6,28E+00	1,13E+01	7,23E+00
PEB erneuerbar	TJ	5,04E-01	4,75E-01	4,88E-01	3,45E-01	3,45E-01	7,48E-01	1,36E+00	3,71E-01
Treibhauspotenzial	kg CO2-Äq.	5,35E+05	2,86E+05	3,47E+05	3,95E+05	3,95E+05	3,22E+05	5,32E+05	4,13E+05
Ozonabbau-potenzial	kg CFC11-Äq.	1,37E-01	1,19E-01	1,24E-01	1,35E-01	1,35E-01	1,16E-01	2,47E-01	1,46E-01
Versauerungspotenzial	kg SO2-Äq.	1,31E+03	1,13E+03	1,37E+03	1,25E+03	1,18E+03	1,07E+03	4,05E+03	1,49E+03
Überdüngungspotenzial	kg P-Äq.	1,34E+02	9,53E+01	9,79E+01	1,12E+02	9,95E+01	9,11E+01	1,79E+02	1,16E+02
Sommersmog	DM	2,69E+02	1,67E+02	1,83E+02	1,99E+02	1,97E+02	1,93E+02	2,05E+02	2,06E+02
Wintersmog	kg SO2-Äq.	8,51E+02	9,58E+02	1,10E+03	1,07E+03	1,07E+03	8,44E+02	3,62E+03	1,28E+03
Karzinogene Substanzen	kg PAH-Äq.	7,54E-02	3,87E-02	4,59E-02	5,53E-02	5,53E-02	4,62E-02	2,71E-02	4,79E-02
Schwermetalle	kg Pb-Äq.	5,57E+00	5,09E+00	5,64E+00	4,47E+00	4,47E+00	4,07E+00	7,38E+00	5,23E+00
Öko-Indikator	Punkte	9,17E+02	7,58E+02	8,55E+02	7,65E+02	7,55E+02	6,66E+02	1,42E+03	8,65E+02
Stofffluss	kg	4,29E+05	5,17E+05	5,34E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,11E+05	4,04E+05	3,97E+05
Inertstoffdepo	m3	4,35E+02	5,13E+02	5,29E+02	5,86E+02	5,86E+02	5,17E+02	5,08E+02	5,22E+02
KVA	m3	3,59E+01	3,22E+01	4,50E+01	2,00E+01	2,00E+01	7,71E+01	4,46E+01	6,54E+01

Tabelle A4.112 Gesamtergebnis mit 100prozentigem Recycling.

Kriterium	Einheit	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CI	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
PEB nicht erneuerbar	TJ	1,00E+01	5,25E+00	6,46E+00	7,01E+00	7,01E+00	6,38E+00	1,13E+01	7,32E+00
PEB erneuerbar	TJ	5,73E-01	5,46E-01	5,50E-01	3,86E-01	3,86E-01	8,72E-01	1,48E+00	4,08E-01
Treibhauspotenzial	kg CO2-Äq.	5,09E+05	2,62E+05	3,23E+05	3,83E+05	3,83E+05	2,75E+05	4,87E+05	3,96E+05
Ozonabbau-potenzial	kg CFC11-Äq.	1,40E-01	1,21E-01	1,26E-01	1,37E-01	1,37E-01	1,20E-01	2,50E-01	1,49E-01
Versauerungspotenzial	kg SO2-Äq.	1,34E+03	1,16E+03	1,40E+03	1,28E+03	1,21E+03	1,11E+03	4,08E+03	1,54E+03
Überdüngungspotenzial	kg P-Äq.	1,35E+02	9,60E+01	9,84E+01	1,13E+02	1,01E+02	9,10E+01	1,79E+02	1,17E+02
Sommersmog	DM	2,75E+02	1,73E+02	1,88E+02	2,04E+02	2,02E+02	2,00E+02	2,12E+02	2,12E+02
Wintersmog	kg SO2-Äq.	8,99E+02	1,02E+03	1,15E+03	1,12E+03	1,12E+03	9,05E+02	3,67E+03	1,35E+03
Karzinogene Substanzen	kg PAH-Äq.	7,70E-02	4,13E-02	4,85E-02	5,75E-02	5,75E-02	4,77E-02	2,84E-02	4,97E-02
Schwermetalle	kg Pb-Äq.	3,54E+00	3,09E+00	3,47E+00	2,73E+00	2,73E+00	2,16E+00	5,59E+00	2,83E+00
Öko-Indikator	Punkte	7,34E+02	5,79E+02	6,58E+02	6,12E+02	6,02E+02	4,91E+02	1,26E+03	6,51E+02
Stofffluss	kg	4,29E+05	5,17E+05	5,34E+05	4,51E+05	4,51E+05	4,11E+05	4,04E+05	3,97E+05
Inertstoffdepo	m3	0,00E+00	5,72E-02	1,39E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,52E-02
KVA	m3	1,54E+00	2,13E+00	5,16E+00	1,99E+00	1,99E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,57E+00

Tabelle A4.113 Belastungen der Nutzungsphase basierend auf den Simulationswerten, des gemessenen Energieverbrauchs für die einzelnen Haushälften während der Heizperiode 1992/93 und des Minimal- bzw. Maximalwertes entsprechend der Streuung des Nutzerverhaltens (50 bzw. 150 Prozent des Simulationswertes).

Hausvariante (Hausnummer)	PEB nicht ern. TJ	PEB erneuerbar TJ	Treibhaus- potenzial kg CO ₂ -Äq.	Ozonabbau- potenzial kg CFC11-Äq.	Versauerungs- potenzial kg SO ₂ -Äq.	Überdüngungs- potenzial kg P -Äq.	Sommersmog kg Ethen-Äq.	Wintersmog kg SO ₂ -Äq.	Karzinogene Substanzen kg PAH-Äq.	Schwermetalle kg Pb-Äq.	Ökoindikator 95 Punkte
Simulationswert Ref.	8,5E+00	1,5E-01	4,4E+05	5,0E-02	7,2E+02	7,7E+01	1,7E+02	3,9E+02	6,5E-02	6,5E-01	3,3E+02
Meßwert Ref. (67)	6,8E+00	1,3E-01	3,5E+05	4,0E-02	6,0E+02	6,2E+01	1,4E+02	3,4E+02	5,2E-02	5,6E-01	2,7E+02
Meßwert Ref. (69)	7,5E+00	1,4E-01	3,9E+05	5,0E-02	6,4E+02	6,7E+01	1,5E+02	3,6E+02	5,7E-02	5,9E-01	2,9E+02
Minimalwert	4,3E+00	8,0E-02	2,2E+05	3,0E-02	3,6E+02	3,8E+01	8,5E+01	2,0E+02	3,3E-02	3,3E-01	1,6E+02
Maximalwert	1,3E+01	2,3E-01	6,6E+05	8,0E-02	1,1E+03	1,1E+02	2,5E+02	5,9E+02	9,8E-02	9,8E-01	4,9E+02
Simulationswert Haus A	3,8E+00	1,2E-01	1,9E+05	3,0E-02	5,5E+02	3,7E+01	6,7E+01	4,2E+02	2,4E-02	5,8E-01	2,0E+02
Haus A (71)	5,5E+00	1,5E-01	2,8E+05	4,0E-02	7,0E+02	5,2E+01	1,0E+02	5,0E+02	3,6E-02	7,2E-01	2,7E+02
Haus A (73)	4,8E+00	1,3E-01	2,5E+05	4,0E-02	5,9E+02	4,5E+01	8,9E+01	4,1E+02	3,3E-02	6,0E-01	2,3E+02
Minimalwert	1,9E+00	6,0E-02	9,6E+04	2,0E-02	2,8E+02	1,8E+01	3,4E+01	2,1E+02	1,2E-02	2,9E-01	1,0E+02
Maximalwert	5,7E+00	1,8E-01	2,9E+05	5,0E-02	8,3E+02	5,5E+01	1,0E+02	6,2E+02	3,5E-02	8,8E-01	3,0E+02
Simulationswert Haus B	5,0E+00	1,6E-01	2,5E+05	4,0E-02	7,0E+02	3,9E+01	8,6E+01	5,8E+02	3,1E-02	8,0E-01	2,6E+02
Haus B (75)	5,9E+00	1,7E-01	3,0E+05	5,0E-02	7,1E+02	4,3E+01	1,1E+02	5,7E+02	3,9E-02	8,1E-01	2,9E+02
Haus B (77)	5,7E+00	1,8E-01	2,9E+05	5,0E-02	7,7E+02	4,4E+01	9,9E+01	6,3E+02	3,5E-02	8,9E-01	3,0E+02
Minimalwert	2,5E+00	8,0E-02	1,3E+05	2,0E-02	3,5E+02	1,9E+01	4,3E+01	2,9E+02	1,5E-02	4,0E-01	1,3E+02
Maximalwert	7,5E+00	2,4E-01	3,8E+05	7,0E-02	1,1E+03	5,8E+01	1,3E+02	8,6E+02	4,6E-02	1,2E+00	4,0E+02
Simulationswert Haus CI	5,3E+00	1,3E-01	2,7E+05	4,0E-02	6,3E+02	4,9E+01	9,8E+01	4,3E+02	3,6E-02	6,4E-01	2,5E+02
Simulationswert Haus CII	5,3E+00	1,3E-01	2,7E+05	4,0E-02	5,6E+02	3,7E+01	9,6E+01	4,3E+02	3,6E-02	6,4E-01	2,4E+02
Haus C (79)	5,7E+00	1,4E-01	2,9E+05	4,0E-02	5,9E+02	4,0E+01	1,0E+02	4,5E+02	3,9E-02	6,7E-01	2,5E+02
Haus C (81)	6,2E+00	1,5E-01	3,2E+05	4,0E-02	6,0E+02	4,2E+01	1,2E+02	4,5E+02	4,4E-02	6,8E-01	2,7E+02
Minimalwert	2,6E+00	7,0E-02	1,3E+05	2,0E-02	2,8E+02	1,8E+01	4,8E+01	2,2E+02	1,8E-02	3,2E-01	1,2E+02
Maximalwert	7,9E+00	2,0E-01	4,0E+05	6,0E-02	9,4E+02	7,4E+01	1,5E+02	6,5E+02	5,4E-02	9,6E-01	3,7E+02

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden
 Anhang 4: Bilanzdaten der Hausvarianten

Teil 2 Tabelle A4.113

Hausvariante (Hausnummer)	PEB nicht ern. TJ	PEB erneuerbar TJ	Treibhaus- potenzial kg CO ₂ -Äq.	Ozonabbau- potenzial kg CFC11-Äq.	Versauerungs- potenzial kg SO ₂ -Äq.	Überdüngungs- potenzial kg P-Äq.	Sommersmog kg Ethen-Äq.	Wintersmog kg SO ₂ -Äq.	Karzinogene Substanzen kg PAH-Äq.	Schwermetalle kg Pb-Äq.	Ökoindikator 95 Punkte
Simulationswert Haus DI	4,9E+00	1,3E-01	2,5E+05	3,0E-02	3,9E+02	2,9E+01	9,2E+01	2,9E+02	3,6E-02	4,6E-01	1,9E+02
Haus D (95)	4,3E+00	1,2E-01	2,2E+05	3,0E-02	3,6E+02	2,6E+01	8,1E+01	2,7E+02	3,1E-02	4,2E-01	1,7E+02
Minimalwert	2,4E+00	7,0E-02	1,3E+05	2,0E-02	1,9E+02	1,5E+01	4,6E+01	1,4E+02	1,8E-02	2,3E-01	9,6E+01
Maximalwert	7,3E+00	2,0E-01	3,8E+05	5,0E-02	5,8E+02	4,4E+01	1,4E+02	4,3E+02	5,3E-02	6,9E-01	2,9E+02
Simulationswert Haus DII	1,0E+01	7,5E-01	4,7E+05	1,7E-01	3,5E+03	1,2E+02	1,1E+02	3,2E+03	1,8E-02	4,1E+00	1,0E+03
Haus D (97)	1,1E+01	7,7E-01	4,9E+05	1,7E-01	3,6E+03	1,3E+02	1,2E+02	3,3E+03	1,9E-02	4,2E+00	1,0E+03
Minimalwert	5,1E+00	3,7E-01	2,4E+05	9,0E-02	1,7E+03	6,2E+01	5,6E+01	1,6E+03	9,0E-03	2,0E+00	5,1E+02
Maximalwert	1,5E+01	1,1E+00	7,1E+05	2,5E-01	5,2E+03	1,8E+02	1,7E+02	4,8E+03	2,7E-02	6,1E+00	1,5E+03
Simulationswert Haus E	5,7E+00	1,7E-01	2,9E+05	5,0E-02	7,8E+02	5,5E+01	1,0E+02	5,7E+02	3,7E-02	8,1E-01	2,9E+02
Haus E (1/0)	5,5E+00	1,6E-01	2,8E+05	5,0E-02	7,6E+02	5,3E+01	9,8E+01	5,6E+02	3,5E-02	8,0E-01	2,8E+02
Haus E (1/1)	6,0E+00	1,7E-01	3,0E+05	5,0E-02	8,0E+02	5,7E+01	1,1E+02	5,8E+02	3,9E-02	8,3E-01	3,0E+02
Minimalwert	2,9E+00	8,0E-02	1,5E+05	2,0E-02	3,9E+02	2,7E+01	5,2E+01	2,9E+02	1,8E-02	4,1E-01	1,5E+02
Maximalwert	8,6E+00	2,5E-01	4,4E+05	7,0E-02	1,2E+03	8,2E+01	1,6E+02	8,6E+02	5,5E-02	1,2E+00	4,4E+02

Tabelle A4.114 Wirkungsbilanz der Nutzungsphase getrennt nach Heizwärmebedarf und Warmwasserbereitstellung sowie Stromverbrauch.
 Basis: Simulationswerte für den Heizwärmebedarf und gemessene Stromverbräuche.

Hausvariante	PEB nicht ern. TJ	PEB erneuerbar TJ	Treibhaus- potenzial kg CO ₂ -Äq.	Ozonabbau- potenzial kg CFC11-Äq.	Versauerungs- potenzial kg SO ₂ -Äq.	Überdüngungs- potenzial kg P-Äq.	Sommersmog kg Ethen-Äq.	Wintersmog kg SO ₂ -Äq.	Karzinogene Substanzen kg PAH-Äq.	Schwermetalle kg Pb-Äq.	Ökoindikator 95 Punkte
H + WW* Ref.	8,0E+00	1,2E-01	4,2E+05	4,0E-02	5,4E+02	7,1E+01	1,7E+02	2,3E+02	6,0E-02	4,5E-01	2,8E+02
Strom Ref.	5,2E-01	4,0E-02	2,4E+04	1,0E-02	1,8E+02	6,3E+00	6,0E+00	1,6E+02	0,0E+00	2,1E-01	5,2E+01
Summe Ref.	8,6E+00	1,5E-01	4,4E+05	5,0E-02	7,2E+02	7,7E+01	1,7E+02	3,9E+02	7,0E-02	6,5E-01	3,3E+02
H + WW* Haus A	2,7E+00	4,0E-02	1,4E+05	1,0E-02	1,8E+02	2,4E+01	5,5E+01	7,8E+01	2,0E-02	1,5E-01	9,3E+01
Strom Haus A	1,1E+00	8,0E-02	5,1E+04	2,0E-02	3,7E+02	1,3E+01	1,2E+01	3,4E+02	0,0E+00	4,4E-01	1,1E+02
Summe Haus A	3,8E+00	1,2E-01	1,9E+05	3,0E-02	5,5E+02	3,7E+01	6,7E+01	4,2E+02	2,0E-02	5,8E-01	2,0E+02
H + WW* Haus B	3,5E+00	5,0E-02	1,8E+05	2,0E-02	1,8E+02	2,0E+01	6,9E+01	9,9E+01	3,0E-02	1,9E-01	1,1E+02
Strom Haus B	1,5E+00	1,1E-01	7,1E+04	3,0E-02	5,2E+02	1,9E+01	1,7E+01	4,8E+02	0,0E+00	6,1E-01	1,5E+02
Summe Haus B	5,0E+00	1,6E-01	2,5E+05	4,0E-02	7,0E+02	3,9E+01	8,6E+01	5,8E+02	3,0E-02	8,0E-01	2,7E+02
H + WW* Haus CI	4,2E+00	6,2E-02	2,2E+05	2,0E-02	2,9E+02	3,7E+01	8,7E+01	1,2E+02	3,0E-02	2,4E-01	1,5E+02
Strom Haus CI	1,0E+00	7,4E-02	4,7E+04	2,0E-02	3,4E+02	1,2E+01	1,1E+01	3,1E+02	0,0E+00	4,0E-01	9,9E+01
Summe Haus CI	5,3E+00	1,4E-01	2,7E+05	4,0E-02	6,3E+02	4,9E+01	9,8E+01	4,3E+02	4,0E-02	6,4E-01	2,5E+02
H + WW* Haus CII	4,2E+00	6,0E-02	2,2E+05	2,0E-02	2,2E+02	2,5E+01	8,5E+01	1,2E+02	3,0E-02	2,4E-01	1,4E+02
Strom Haus CII	1,0E+00	7,0E-02	4,7E+04	2,0E-02	3,4E+02	1,2E+01	1,1E+01	3,1E+02	0,0E+00	4,0E-01	9,9E+01
Summe Haus CII	5,3E+00	1,3E-01	2,7E+05	4,0E-02	5,6E+02	3,7E+01	9,6E+01	4,3E+02	4,0E-02	6,4E-01	2,4E+02
H + WW* Haus DI	4,4E+00	9,0E-02	2,3E+05	2,0E-02	2,1E+02	2,3E+01	8,6E+01	1,3E+02	3,0E-02	2,5E-01	1,4E+02
Strom Haus DI	5,2E-01	4,0E-02	2,4E+04	1,0E-02	1,8E+02	6,3E+00	6,0E+00	1,6E+02	0,0E+00	2,1E-01	5,1E+01
Summe Haus DI	4,9E+00	1,3E-01	2,5E+05	3,0E-02	3,9E+02	2,9E+01	9,2E+01	2,9E+02	4,0E-02	4,6E-01	1,9E+02
H + WW* und Strom Haus DII	1,0E+01	7,5E-01	4,7E+05	1,7E-01	3,5E+03	1,2E+02	1,1E+02	3,2E+03	2,0E-02	4,1E+00	1,0E+03
Summe Haus DII	1,0E+01	7,5E-01	4,7E+05	1,7E-01	3,5E+03	1,2E+02	1,1E+02	3,2E+03	2,0E-02	4,1E+00	1,0E+03
H + WW* Haus E	4,3E+00	6,0E-02	2,2E+05	2,0E-02	2,9E+02	3,7E+01	8,7E+01	1,2E+02	3,0E-02	2,4E-01	1,5E+02
Strom Haus E	1,5E+00	1,1E-01	6,7E+04	2,0E-02	4,9E+02	1,7E+01	1,6E+01	4,5E+02	0,0E+00	5,8E-01	1,4E+02
Summe Haus E	5,7E+00	1,7E-01	2,9E+05	5,0E-02	7,8E+02	5,5E+01	1,0E+02	5,7E+02	4,0E-02	8,1E-01	2,9E+02

* Heizwärmebedarf und Warmwasserbereitstellung

Tabelle A4.115 Belastungen aus der Erneuerung bei einer kurzen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 1

Hausvariante	Elementkategorie	PEB nicht ern. TJ	PEB erneuer. TJ	GWP kg CO ₂ -Äq.	ODP kg CFC11-Äq.	Versauerung kg SO ₂ -Äq.
Referenzhaus	Gebäude total	1,15E+00	1,54E-01	7,44E+04	7,93E-02	5,37E+02
	Fassade	4,53E-02	1,63E-02	2,71E+03	1,77E-03	1,64E+01
	Öffnungen	3,96E-02	4,11E-02	9,59E+02	1,39E-03	1,33E+01
	Innenwände	4,13E-02	8,39E-04	3,59E+03	1,52E-03	1,49E+01
	Decken/Böden	6,27E-01	1,84E-02	4,38E+04	5,77E-02	3,35E+02
	Dächer	7,00E-02	4,70E-03	4,09E+03	2,59E-03	3,09E+01
	Technik	2,57E-01	1,69E-02	1,57E+04	1,00E-02	9,74E+01
	Sonstiges	6,63E-02	5,53E-02	3,58E+03	4,30E-03	2,95E+01
Haus A	Gebäude total	1,17E+00	1,41E-01	7,52E+04	8,02E-02	5,16E+02
	Fassade	3,87E-02	1,95E-02	2,08E+03	1,52E-03	1,44E+01
	Öffnungen	7,08E-02	4,45E-02	3,11E+03	2,41E-03	2,32E+01
	Innenwände	5,10E-02	1,35E-03	4,24E+03	2,14E-03	1,87E+01
	Decken/Böden	6,99E-01	1,02E-02	4,81E+04	5,95E-02	3,26E+02
	Dächer	6,24E-02	4,38E-03	3,64E+03	2,42E-03	2,70E+01
	Technik	1,75E-01	4,35E-03	1,02E+04	7,62E-03	7,56E+01
	Sonstiges	6,99E-02	5,69E-02	3,86E+03	4,53E-03	3,10E+01
Haus B	Gebäude total	1,26E+00	1,52E-01	8,05E+04	8,71E-02	5,56E+02
	Fassade	3,21E-02	4,59E-02	4,14E+02	1,28E-03	1,30E+01
	Öffnungen	1,73E-01	2,34E-02	1,04E+04	8,79E-03	6,99E+01
	Innenwände	4,34E-02	8,75E-04	3,75E+03	1,57E-03	1,56E+01
	Decken/Böden	6,89E-01	1,04E-02	4,70E+04	6,02E-02	3,21E+02
	Dächer	6,85E-02	4,76E-03	4,01E+03	2,75E-03	2,96E+01
	Technik	1,79E-01	9,94E-03	1,09E+04	7,92E-03	7,56E+01
	Sonstiges	7,15E-02	5,72E-02	4,02E+03	4,62E-03	3,16E+01
Haus C	Gebäude total	1,21E+00	1,45E-01	7,90E+04	7,58E-02	5,13E+02
	Fassade	5,47E-02	1,86E-02	3,33E+03	2,14E-03	1,98E+01
	Öffnungen	6,17E-02	5,33E-02	1,98E+03	2,14E-03	2,03E+01
	Innenwände	4,77E-02	9,61E-04	4,12E+03	1,73E-03	1,71E+01
	Decken/Böden	6,54E-01	9,41E-03	4,50E+04	5,28E-02	3,00E+02
	Dächer	3,71E-02	7,84E-03	1,97E+03	9,47E-04	1,55E+01
	Technik	2,67E-01	1,66E-02	1,63E+04	1,07E-02	1,05E+02
	Sonstiges	8,83E-02	3,81E-02	6,28E+03	5,30E-03	3,56E+01
Haus DI	Gebäude total	8,78E-01	1,07E-01	5,63E+04	6,61E-02	4,44E+02
	Fassade	4,39E-02	9,16E-04	3,28E+03	1,73E-03	1,53E+01
	Öffnungen	3,11E-02	2,68E-02	9,99E+02	1,08E-03	1,02E+01
	Innenwände	2,17E-02	4,31E-04	1,77E+03	7,26E-04	7,44E+00
	Decken/Böden	4,68E-01	7,37E-03	2,99E+04	4,58E-02	2,19E+02
	Dächer	4,73E-02	5,56E-03	2,70E+03	2,33E-03	1,80E+01
	Technik	2,11E-01	1,05E-02	1,50E+04	1,10E-02	1,50E+02
	Sonstiges	5,56E-02	5,53E-02	2,61E+03	3,48E-03	2,38E+01
Haus DII	Gebäude total	7,39E-01	9,82E-02	4,55E+04	5,90E-02	3,30E+02
	Fassade	4,39E-02	9,16E-04	3,28E+03	1,73E-03	1,53E+01
	Öffnungen	3,11E-02	2,68E-02	9,99E+02	1,08E-03	1,02E+01
	Innenwände	2,17E-02	4,31E-04	1,77E+03	7,26E-04	7,44E+00
	Decken/Böden	4,68E-01	7,37E-03	2,99E+04	4,58E-02	2,19E+02
	Dächer	4,73E-02	5,56E-03	2,70E+03	2,33E-03	1,80E+01
	Technik	7,25E-02	1,82E-03	4,30E+03	3,99E-03	3,63E+01
	Sonstiges	5,47E-02	5,53E-02	2,55E+03	3,38E-03	2,33E+01
Haus E	Gebäude total	1,15E+00	1,22E-01	7,78E+04	8,28E-02	5,93E+02
	Fassade	4,31E-02	1,47E-02	2,62E+03	1,69E-03	1,56E+01
	Öffnungen	4,32E-02	3,73E-02	1,39E+03	1,50E-03	1,42E+01
	Innenwände	4,05E-02	8,25E-04	3,53E+03	1,50E-03	1,46E+01
	Decken/Böden	6,69E-01	1,00E-02	4,48E+04	5,92E-02	3,17E+02
	Dächer	3,78E-02	3,80E-03	2,14E+03	8,98E-04	1,67E+01
	Technik	2,26E-01	1,57E-02	1,72E+04	1,30E-02	1,80E+02
	Sonstiges	8,61E-02	3,95E-02	6,14E+03	5,08E-03	3,48E+01

Tabelle A4.116 Belastungen der Erneuerung bei einer kurzen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 2

Hausvariante	Elementkategorie	Überdüngung kg PO ₄ -Äq.	Sommersmog kg Ethen Äq.	Wintersmog kg SO ₂ -Äq.	Karz. Subst. kg PAH-Äq.	Schwermetalle kg Pb-Äq.
Referenzhaus	Gebäude total	5,03E+01	1,14E+02	4,13E+02	1,16E-02	7,53E+00
	Fassade	1,73E+00	1,79E+00	1,22E+01	1,03E-04	2,09E-02
	Öffnungen	1,16E+00	1,55E+00	1,58E+01	3,45E-03	5,00E-02
	Innenwände	1,46E+00	1,35E+00	1,20E+01	6,66E-05	1,24E-02
	Decken/Böden	3,50E+01	9,47E+01	1,98E+02	7,52E-04	4,16E+00
	Dächer	1,97E+00	2,10E+00	2,81E+01	2,36E-04	2,50E+00
	Technik	5,68E+00	8,80E+00	1,21E+02	3,26E-03	7,09E-01
	Sonstiges	3,33E+00	4,12E+00	2,63E+01	3,73E-03	7,58E-02
Haus A	Gebäude total	5,17E+01	1,15E+02	3,78E+02	1,66E-02	6,86E+00
	Fassade	1,52E+00	1,61E+00	1,12E+01	9,86E-05	2,04E-02
	Öffnungen	1,78E+00	2,30E+00	2,58E+01	8,33E-03	7,11E-02
	Innenwände	1,88E+00	1,90E+00	1,48E+01	8,56E-05	1,66E-02
	Decken/Böden	3,83E+01	9,68E+01	1,77E+02	9,11E-04	4,08E+00
	Dächer	1,78E+00	1,97E+00	2,49E+01	2,22E-04	2,09E+00
	Technik	3,03E+00	5,66E+00	9,62E+01	2,88E-03	5,02E-01
	Sonstiges	3,45E+00	4,30E+00	2,76E+01	4,08E-03	7,80E-02
Haus B	Gebäude total	5,35E+01	1,20E+02	4,06E+02	1,71E-02	7,21E+00
	Fassade	1,46E+00	1,72E+00	1,34E+01	1,35E-04	2,93E-02
	Öffnungen	3,26E+00	5,95E+00	6,09E+01	8,97E-03	1,93E-01
	Innenwände	1,52E+00	1,41E+00	1,25E+01	6,93E-05	1,28E-02
	Decken/Böden	3,80E+01	9,79E+01	1,74E+02	8,76E-04	4,16E+00
	Dächer	1,97E+00	2,21E+00	2,72E+01	2,38E-04	2,27E+00
	Technik	3,78E+00	6,44E+00	9,02E+01	2,45E-03	4,72E-01
	Sonstiges	3,48E+00	4,35E+00	2,82E+01	4,33E-03	7,88E-02
Haus C	Gebäude total	5,08E+01	1,05E+02	3,93E+02	2,14E-02	5,66E+00
	Fassade	2,08E+00	2,15E+00	1,46E+01	1,23E-04	2,48E-02
	Öffnungen	1,71E+00	2,25E+00	2,33E+01	5,53E-03	7,44E-02
	Innenwände	1,67E+00	1,55E+00	1,37E+01	7,61E-05	1,41E-02
	Decken/Böden	3,50E+01	8,51E+01	1,64E+02	8,84E-04	3,52E+00
	Dächer	9,24E-01	9,36E-01	1,57E+01	6,83E-04	1,16E+00
	Technik	5,59E+00	8,58E+00	1,33E+02	1,01E-02	7,86E-01
	Sonstiges	3,84E+00	4,71E+00	2,89E+01	3,97E-03	7,67E-02
Haus DI	Gebäude total	3,82E+01	9,27E+01	3,48E+02	1,06E-02	4,99E+00
	Fassade	1,57E+00	1,56E+00	9,78E+00	7,35E-05	1,40E-02
	Öffnungen	8,58E-01	1,13E+00	1,18E+01	2,77E-03	3,83E-02
	Innenwände	7,27E-01	6,59E-01	5,85E+00	3,16E-05	5,86E-03
	Decken/Böden	2,67E+01	7,56E+01	1,15E+02	5,33E-04	3,31E+00
	Dächer	1,42E+00	1,90E+00	1,80E+01	4,60E-04	9,43E-01
	Technik	4,51E+00	8,56E+00	1,63E+02	2,55E-03	6,15E-01
	Sonstiges	2,46E+00	3,31E+00	2,40E+01	4,16E-03	6,93E-02
Haus DII	Gebäude total	3,49E+01	8,69E+01	2,25E+02	8,84E-03	4,61E+00
	Fassade	1,57E+00	1,56E+00	9,78E+00	7,35E-05	1,40E-02
	Öffnungen	8,58E-01	1,13E+00	1,18E+01	2,77E-03	3,83E-02
	Innenwände	7,27E-01	6,59E-01	5,85E+00	3,16E-05	5,86E-03
	Decken/Böden	2,67E+01	7,56E+01	1,15E+02	5,33E-04	3,31E+00
	Dächer	1,42E+00	1,90E+00	1,80E+01	4,60E-04	9,43E-01
	Technik	1,26E+00	2,85E+00	4,11E+01	8,14E-04	2,30E-01
	Sonstiges	2,38E+00	3,21E+00	2,38E+01	4,16E-03	6,88E-02
Haus E	Gebäude total	5,12E+01	1,16E+02	4,58E+02	1,16E-02	6,73E+00
	Fassade	1,64E+00	1,70E+00	1,15E+01	9,68E-05	1,95E-02
	Öffnungen	1,19E+00	1,57E+00	1,63E+01	3,85E-03	5,33E-02
	Innenwände	1,43E+00	1,33E+00	1,18E+01	6,58E-05	1,22E-02
	Decken/Böden	3,68E+01	9,60E+01	1,87E+02	8,39E-04	4,52E+00
	Dächer	9,33E-01	8,65E-01	1,64E+01	1,82E-04	1,45E+00
	Technik	5,47E+00	1,03E+01	1,86E+02	2,36E-03	6,01E-01
	Sonstiges	3,67E+00	4,50E+00	2,90E+01	4,16E-03	7,55E-02

Tabelle A4.117 Belastungen der Erneuerung bei einer kurzen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 3

Hausvariante	Elementkategorie	Ökoindikator 95 Punkte	Stofffluss [kg]	Inertstoffdep. [m³]	MVA [m³]
Referenzhaus	Gebäude total	8,18E+02	1,37E+05	7,00E+01	2,95E+01
	Fassade	5,31E+00	1,66E+04	8,95E+00	1,32E+00
	Öffnungen	1,05E+01	2,42E+03	4,98E-01	3,28E+00
	Innenwände	4,38E+00	1,97E+04	1,22E+01	0,00E+00
	Decken/Böden	4,56E+02	7,01E+04	3,36E+01	1,84E+01
	Dächer	2,36E+02	3,45E+03	3,48E+00	1,23E-01
	Technik	8,93E+01	1,46E+04	7,24E+00	1,20E+00
	Sonstiges	1,66E+01	1,05E+04	4,00E+00	5,18E+00
Haus A	Gebäude total	7,58E+02	1,41E+05	1,03E+02	1,58E+01
	Fassade	4,82E+00	1,39E+04	8,19E+00	1,60E+00
	Öffnungen	1,90E+01	3,35E+03	8,64E-01	3,24E+00
	Innenwände	5,60E+00	2,12E+04	2,02E+01	0,00E+00
	Decken/Böden	4,49E+02	8,40E+04	6,54E+01	5,18E+00
	Dächer	1,98E+02	3,35E+03	3,47E+00	1,23E-01
	Technik	6,46E+01	3,89E+03	8,25E-01	3,51E-01
	Sonstiges	1,74E+01	1,08E+04	4,11E+00	5,35E+00
Haus B	Gebäude total	7,99E+02	1,39E+05	8,97E+01	1,73E+01
	Fassade	5,33E+00	1,10E+04	5,31E+00	3,87E+00
	Öffnungen	3,97E+01	3,98E+03	7,92E-01	1,82E+00
	Innenwände	4,57E+00	2,05E+04	1,27E+01	0,00E+00
	Decken/Böden	4,55E+02	8,01E+04	5,87E+01	5,27E+00
	Dächer	2,15E+02	3,88E+03	4,12E+00	1,24E-01
	Technik	6,15E+01	8,54E+03	4,00E+00	7,81E-01
	Sonstiges	1,79E+01	1,09E+04	4,11E+00	5,41E+00
Haus C	Gebäude total	6,51E+02	1,58E+05	1,06E+02	1,83E+01
	Fassade	6,36E+00	2,01E+04	1,09E+01	1,49E+00
	Öffnungen	1,61E+01	3,47E+03	7,93E-01	4,17E+00
	Innenwände	5,02E+00	2,26E+04	1,39E+01	0,00E+00
	Decken/Böden	3,91E+02	8,16E+04	6,78E+01	4,61E+00
	Dächer	1,11E+02	9,84E+02	2,27E-01	5,45E-01
	Technik	1,04E+02	1,02E+04	4,26E+00	3,81E+00
	Sonstiges	1,83E+01	1,87E+04	7,83E+00	3,66E+00
Haus DI	Gebäude total	5,63E+02	7,95E+04	4,31E+01	3,62E+01
	Fassade	4,47E+00	1,63E+04	9,13E+00	0,00E+00
	Öffnungen	8,18E+00	1,74E+03	4,01E-01	2,10E+00
	Innenwände	2,14E+00	9,31E+03	5,77E+00	0,00E+00
	Decken/Böden	3,55E+02	3,32E+04	1,77E+01	4,22E+00
	Dächer	9,09E+01	3,78E+03	4,21E+00	2,61E-01
	Technik	8,67E+01	9,54E+03	4,18E+00	2,45E+01
	Sonstiges	1,52E+01	5,67E+03	1,65E+00	5,20E+00
Haus DII	Gebäude total	5,05E+02	7,20E+04	3,96E+01	1,21E+01
	Fassade	4,47E+00	1,63E+04	9,13E+00	0,00E+00
	Öffnungen	8,18E+00	1,74E+03	4,01E-01	2,10E+00
	Innenwände	2,14E+00	9,31E+03	5,77E+00	0,00E+00
	Decken/Böden	3,55E+02	3,32E+04	1,77E+01	4,22E+00
	Dächer	9,09E+01	3,78E+03	4,21E+00	2,61E-01
	Technik	2,92E+01	2,06E+03	6,90E-01	2,90E-01
	Sonstiges	1,51E+01	5,67E+03	1,65E+00	5,20E+00
Haus E	Gebäude total	7,54E+02	1,38E+05	7,40E+01	5,86E+01
	Fassade	5,01E+00	1,58E+04	8,54E+00	1,18E+00
	Öffnungen	1,14E+01	2,42E+03	5,58E-01	2,92E+00
	Innenwände	4,31E+00	1,95E+04	1,20E+01	0,00E+00
	Decken/Böden	4,88E+02	6,72E+04	3,80E+01	1,78E+01
	Dächer	1,37E+02	7,80E+02	1,68E-01	2,13E-01
	Technik	9,02E+01	1,37E+04	6,95E+00	3,27E+01
	Sonstiges	1,82E+01	1,84E+04	7,73E+00	3,82E+00

Tabelle A4.118 Belastungen der Erneuerung bei einer langen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 1

Hausvariante	Elementkategorie	PEB n.e. TJ	PEB erneuerb. TJ	GWP kg CO ₂ -Äq.	ODP kg CFC11-Äq.	Versauerung kg SO ₂ -Äq.
Referenzhaus	Gebäude total	2,39E-01	3,93E-02	1,45E+04	1,69E-02	1,02E+02
	Fassade	1,66E-02	1,57E-02	5,70E+02	6,58E-04	6,43E+00
	Öffnungen	8,96E-04	4,25E-03	-1,24E+02	3,92E-05	4,94E-01
	Innenwände	1,69E-04	7,54E-06	8,86E+00	8,95E-06	7,09E-02
	Decken/Böden	1,03E-01	1,39E-03	7,14E+03	1,11E-02	4,97E+01
	Dächer	1,10E-02	6,61E-04	6,38E+02	7,44E-04	3,43E+00
	Technik	9,18E-02	2,37E-03	5,25E+03	3,57E-03	3,43E+01
	Sonstiges	1,61E-02	1,49E-02	9,74E+02	7,48E-04	7,40E+00
Haus A	Gebäude total	2,61E-01	4,45E-02	1,55E+04	1,77E-02	1,10E+02
	Fassade	1,48E-02	1,90E-02	2,86E+02	5,88E-04	5,93E+00
	Öffnungen	1,11E-03	5,29E-03	-1,54E+02	4,87E-05	6,14E-01
	Innenwände	2,60E-03	2,18E-04	1,53E+02	2,42E-04	8,83E-01
	Decken/Böden	1,01E-01	1,38E-03	7,04E+03	1,09E-02	4,88E+01
	Dächer	1,10E-02	6,60E-04	6,37E+02	7,43E-04	3,43E+00
	Technik	1,14E-01	2,92E-03	6,55E+03	4,36E-03	4,31E+01
	Sonstiges	1,65E-02	1,51E-02	1,01E+03	7,67E-04	7,60E+00
Haus B	Gebäude total	2,42E-01	7,00E-02	1,33E+04	1,73E-02	1,04E+02
	Fassade	1,52E-02	4,55E-02	-8,52E+02	6,24E-04	7,11E+00
	Öffnungen	8,43E-04	4,57E-03	-1,40E+02	3,69E-05	4,84E-01
	Innenwände	1,72E-04	7,67E-06	9,01E+00	9,10E-06	7,21E-02
	Decken/Böden	1,06E-01	1,65E-03	7,32E+03	1,14E-02	5,08E+01
	Dächer	1,23E-02	7,72E-04	7,16E+02	8,67E-04	3,87E+00
	Technik	9,18E-02	2,37E-03	5,25E+03	3,57E-03	3,43E+01
	Sonstiges	1,65E-02	1,51E-02	1,01E+03	7,60E-04	7,57E+00
Haus C	Gebäude total	2,51E-01	3,58E-02	1,59E+04	1,60E-02	1,05E+02
	Fassade	2,00E-02	1,79E-02	7,29E+02	7,91E-04	7,68E+00
	Öffnungen	1,10E-03	4,99E-03	-1,43E+02	4,80E-05	5,99E-01
	Innenwände	1,89E-04	8,44E-06	9,91E+00	1,00E-05	7,94E-02
	Decken/Böden	8,51E-02	9,55E-04	6,15E+03	9,24E-03	4,14E+01
	Dächer	4,20E-03	8,39E-05	2,36E+02	1,01E-04	1,17E+00
	Technik	1,16E-01	5,65E-03	6,97E+03	4,72E-03	4,54E+01
	Sonstiges	2,36E-02	6,20E-03	2,00E+03	1,04E-03	8,97E+00
Haus DI	Gebäude total	2,46E-01	1,85E-02	1,73E+04	1,83E-02	1,63E+02
	Fassade	1,48E-02	3,21E-04	1,10E+03	5,94E-04	5,17E+00
	Öffnungen	7,22E-04	3,43E-03	-9,99E+01	3,15E-05	3,98E-01
	Innenwände	3,18E-04	2,22E-05	1,80E+01	2,51E-05	1,17E-01
	Decken/Böden	9,07E-02	1,83E-03	6,19E+03	9,72E-03	4,28E+01
	Dächer	1,30E-02	7,92E-04	7,59E+02	8,90E-04	4,09E+00
	Technik	1,19E-01	2,60E-03	9,11E+03	6,60E-03	1,07E+02
	Sonstiges	7,41E-03	9,55E-03	2,23E+02	4,01E-04	3,38E+00
Haus DII	Gebäude total	2,07E-01	1,80E-02	1,28E+04	1,49E-02	8,67E+01
	Fassade	1,48E-02	3,21E-04	1,10E+03	5,94E-04	5,17E+00
	Öffnungen	7,22E-04	3,43E-03	-9,99E+01	3,15E-05	3,98E-01
	Innenwände	3,18E-04	2,22E-05	1,80E+01	2,51E-05	1,17E-01
	Decken/Böden	9,07E-02	1,83E-03	6,19E+03	9,72E-03	4,28E+01
	Dächer	1,30E-02	7,92E-04	7,59E+02	8,90E-04	4,09E+00
	Technik	8,05E-02	2,06E-03	4,57E+03	3,21E-03	3,08E+01
	Sonstiges	7,31E-03	9,55E-03	2,17E+02	3,90E-04	3,32E+00
Haus E	Gebäude total	2,74E-01	2,99E-02	2,00E+04	2,03E-02	1,98E+02
	Fassade	1,57E-02	1,41E-02	5,72E+02	6,23E-04	6,05E+00
	Öffnungen	1,00E-03	4,77E-03	-1,39E+02	4,39E-05	5,54E-01
	Innenwände	1,70E-04	7,55E-06	8,88E+00	8,96E-06	7,10E-02
	Decken/Böden	9,88E-02	1,10E-03	6,84E+03	1,07E-02	4,85E+01
	Dächer	4,56E-03	9,02E-05	2,56E+02	1,09E-04	1,27E+00
	Technik	1,29E-01	2,71E-03	1,05E+04	7,71E-03	1,32E+02
	Sonstiges	2,39E-02	7,12E-03	2,03E+03	1,04E-03	9,33E+00

Tabelle A4.119 Belastungen der Erneuerung bei einer langen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 2

Hausvariante	Elementkategorie	Überdüngung kg P-Äq.	Sommersmog kg Ethen Äq.	Wintersmog kg SO ₂ -Äq.	Karz. Subst. kg PAH-Äq.	Schwermetalle kg Pb-Äq.
Referenzhaus	Gebäude total	9,85E+00	2,36E+01	8,92E+01	1,64E-03	1,19E+00
	Fassade	7,02E-01	7,85E-01	5,81E+00	5,53E-05	1,18E-02
	Öffnungen	5,65E-02	8,40E-02	8,19E-01	1,83E-05	3,75E-03
	Innenwände	3,68E-03	5,82E-03	5,95E-02	3,21E-07	8,86E-05
	Decken/Böden	6,32E+00	1,83E+01	2,51E+01	1,10E-04	8,20E-01
	Dächer	3,56E-01	5,85E-01	3,90E+00	6,36E-05	3,78E-02
	Technik	1,56E+00	2,93E+00	4,66E+01	1,30E-03	2,96E-01
	Sonstiges	8,43E-01	8,48E-01	6,92E+00	8,98E-05	2,43E-02
Haus A	Gebäude total	1,02E+01	2,40E+01	1,02E+02	2,09E-03	1,24E+00
	Fassade	6,61E-01	7,65E-01	5,87E+00	5,82E-05	1,26E-02
	Öffnungen	7,02E-02	1,04E-01	1,02E+00	2,27E-05	4,66E-03
	Innenwände	1,06E-01	1,75E-01	7,61E-01	4,86E-06	8,80E-04
	Decken/Böden	6,21E+00	1,80E+01	2,47E+01	1,09E-04	8,04E-01
	Dächer	3,56E-01	5,84E-01	3,89E+00	6,35E-05	3,77E-02
	Technik	1,94E+00	3,54E+00	5,89E+01	1,74E-03	3,59E-01
	Sonstiges	8,65E-01	8,67E-01	7,07E+00	9,07E-05	2,46E-02
Haus B	Gebäude total	1,02E+01	2,43E+01	9,44E+01	1,69E-03	1,21E+00
	Fassade	8,59E-01	1,12E+00	9,61E+00	1,06E-04	2,39E-02
	Öffnungen	5,87E-02	8,72E-02	8,37E-01	1,54E-05	3,25E-03
	Innenwände	3,74E-03	5,92E-03	6,05E-02	3,26E-07	9,01E-05
	Decken/Böden	6,45E+00	1,86E+01	2,60E+01	1,16E-04	8,22E-01
	Dächer	4,10E-01	6,75E-01	4,29E+00	6,65E-05	3,86E-02
	Technik	1,56E+00	2,93E+00	4,66E+01	1,30E-03	2,96E-01
	Sonstiges	8,59E-01	8,61E-01	7,06E+00	9,06E-05	2,45E-02
Haus C	Gebäude total	9,44E+00	2,11E+01	9,69E+01	5,60E-03	1,13E+00
	Fassade	8,36E-01	9,30E-01	6,85E+00	6,47E-05	1,37E-02
	Öffnungen	6,71E-02	9,99E-02	9,78E-01	2,32E-05	4,72E-03
	Innenwände	4,11E-03	6,51E-03	6,65E-02	3,59E-07	9,92E-05
	Decken/Böden	5,31E+00	1,53E+01	2,06E+01	8,96E-05	6,89E-01
	Dächer	7,50E-02	1,18E-01	1,92E+00	5,03E-05	3,47E-02
	Technik	2,21E+00	3,69E+00	5,92E+01	5,30E-03	3,69E-01
	Sonstiges	9,42E-01	9,67E-01	7,28E+00	7,71E-05	2,30E-02
Haus DI	Gebäude total	9,05E+00	2,21E+01	1,53E+02	1,62E-03	1,16E+00
	Fassade	5,31E-01	5,32E-01	3,31E+00	2,49E-05	4,71E-03
	Öffnungen	4,55E-02	6,77E-02	6,60E-01	1,47E-05	3,02E-03
	Innenwände	1,08E-02	1,77E-02	9,99E-02	5,98E-07	1,29E-04
	Decken/Böden	5,42E+00	1,54E+01	2,26E+01	1,06E-04	6,65E-01
	Dächer	4,25E-01	6,99E-01	4,62E+00	7,51E-05	4,43E-02
	Technik	2,18E+00	4,96E+00	1,18E+02	1,33E-03	4,24E-01
	Sonstiges	4,25E-01	4,86E-01	3,61E+00	6,83E-05	1,76E-02
Haus DII	Gebäude total	8,21E+00	1,98E+01	7,59E+01	1,26E-03	1,01E+00
	Fassade	5,31E-01	5,32E-01	3,31E+00	2,49E-05	4,71E-03
	Öffnungen	4,55E-02	6,77E-02	6,60E-01	1,47E-05	3,02E-03
	Innenwände	1,08E-02	1,77E-02	9,99E-02	5,98E-07	1,29E-04
	Decken/Böden	5,42E+00	1,54E+01	2,26E+01	1,06E-04	6,65E-01
	Dächer	4,25E-01	6,99E-01	4,62E+00	7,51E-05	4,43E-02
	Technik	1,36E+00	2,65E+00	4,10E+01	9,68E-04	2,76E-01
	Sonstiges	4,16E-01	4,75E-01	3,60E+00	6,80E-05	1,76E-02
Haus E	Gebäude total	1,04E+01	2,57E+01	1,82E+02	1,65E-03	1,36E+00
	Fassade	6,59E-01	7,33E-01	5,40E+00	5,10E-05	1,08E-02
	Öffnungen	6,33E-02	9,42E-02	9,18E-01	2,05E-05	4,20E-03
	Innenwände	3,68E-03	5,83E-03	5,95E-02	3,21E-07	8,88E-05
	Decken/Böden	6,15E+00	1,81E+01	2,41E+01	1,03E-04	8,19E-01
	Dächer	8,14E-02	1,28E-01	2,09E+00	5,41E-05	3,77E-02
	Technik	2,41E+00	5,70E+00	1,42E+02	1,34E-03	4,70E-01
	Sonstiges	9,84E-01	9,86E-01	7,60E+00	7,75E-05	2,33E-02

Tabelle A4.120 Belastungen der Erneuerung bei einer langen Lebensdauer der Elemente, Kriterien Teil 3

Hausvariante	Elementkategorie	Ökoindikator 95 Punkte	Stofffluss. kg	Inertstoffdep. m ³	MVA m ³
Referenzhaus	Gebäude total	1,34E+02	1,93E+04	9,35E+00	4,53E+00
	Fassade	2,39E+00	5,88E+03	2,99E+00	1,32E+00
	Öffnungen	4,49E-01	1,52E+02	1,08E-02	3,62E-01
	Innenwände	2,19E-02	1,17E+01	1,12E-02	0,00E+00
	Decken/Böden	8,72E+01	2,08E+03	8,20E-01	1,34E+00
	Dächer	4,38E+00	1,31E+03	1,67E+00	0,00E+00
	Technik	3,60E+01	2,79E+03	6,85E-01	1,78E-01
	Sonstiges	3,83E+00	7,03E+03	3,16E+00	1,33E+00
Haus A	Gebäude total	1,41E+02	1,96E+04	9,89E+00	4,92E+00
	Fassade	2,37E+00	5,07E+03	2,74E+00	1,60E+00
	Öffnungen	5,57E-01	1,89E+02	1,34E-02	4,50E-01
	Innenwände	2,98E-01	4,65E+02	6,17E-01	0,00E+00
	Decken/Böden	8,55E+01	2,07E+03	8,32E-01	1,32E+00
	Dächer	4,37E+00	1,31E+03	1,67E+00	0,00E+00
	Technik	4,41E+01	3,21E+03	7,46E-01	1,92E-01
	Sonstiges	3,90E+00	7,28E+03	3,28E+00	1,35E+00
Haus B	Gebäude total	1,36E+02	1,91E+04	9,32E+00	7,13E+00
	Fassade	3,61E+00	4,71E+03	1,79E+00	3,87E+00
	Öffnungen	3,97E-01	1,60E+02	8,17E-03	3,89E-01
	Innenwände	2,22E-02	1,19E+01	1,14E-02	0,00E+00
	Decken/Böden	8,77E+01	2,63E+03	1,56E+00	1,34E+00
	Dächer	4,56E+00	1,55E+03	1,99E+00	0,00E+00
	Technik	3,60E+01	2,79E+03	6,85E-01	1,78E-01
	Sonstiges	3,89E+00	7,27E+03	3,27E+00	1,35E+00
Haus C	Gebäude total	1,33E+02	2,23E+04	9,43E+00	5,60E+00
	Fassade	2,83E+00	7,09E+03	3,63E+00	1,49E+00
	Öffnungen	5,61E-01	1,80E+02	1,41E-02	4,24E-01
	Innenwände	2,45E-02	1,31E+01	1,26E-02	0,00E+00
	Decken/Böden	7,33E+01	1,34E+03	3,69E-03	1,22E+00
	Dächer	3,52E+00	6,48E+01	1,05E-02	0,00E+00
	Technik	4,87E+01	3,12E+03	1,14E+00	1,91E+00
	Sonstiges	4,12E+00	1,05E+04	4,63E+00	5,51E-01
Haus DI	Gebäude total	1,40E+02	1,58E+04	9,34E+00	2,60E+01
	Fassade	1,51E+00	5,47E+03	3,09E+00	0,00E+00
	Öffnungen	3,61E-01	1,23E+02	8,70E-03	2,91E-01
	Innenwände	3,82E-02	4,46E+01	5,60E-02	0,00E+00
	Decken/Böden	7,13E+01	3,17E+03	2,69E+00	1,07E+00
	Dächer	5,15E+00	1,57E+03	2,01E+00	0,00E+00
	Technik	5,94E+01	3,45E+03	6,85E-01	2,38E+01
	Sonstiges	2,38E+00	1,96E+03	8,13E-01	8,42E-01
Haus DII	Gebäude total	1,14E+02	1,50E+04	9,31E+00	2,38E+00
	Fassade	1,51E+00	5,47E+03	3,09E+00	0,00E+00
	Öffnungen	3,61E-01	1,23E+02	8,70E-03	2,91E-01
	Innenwände	3,82E-02	4,46E+01	5,60E-02	0,00E+00
	Decken/Böden	7,13E+01	3,17E+03	2,69E+00	1,07E+00
	Dächer	5,15E+00	1,57E+03	2,01E+00	0,00E+00
	Technik	3,30E+01	2,61E+03	6,55E-01	1,81E-01
	Sonstiges	2,37E+00	1,96E+03	8,13E-01	8,42E-01
Haus E	Gebäude total	1,65E+02	2,19E+04	8,45E+00	3,52E+01
	Fassade	2,23E+00	5,58E+03	2,85E+00	1,18E+00
	Öffnungen	5,03E-01	1,71E+02	1,21E-02	4,05E-01
	Innenwände	2,19E-02	1,17E+01	1,13E-02	0,00E+00
	Decken/Böden	8,68E+01	1,43E+03	3,70E-03	1,31E+00
	Dächer	3,83E+00	7,00E+01	1,09E-02	0,00E+00
	Technik	6,77E+01	3,68E+03	6,85E-01	3,17E+01
	Sonstiges	4,21E+00	1,09E+04	4,87E+00	6,42E-01

In den nachfolgenden Tabellen A4.121 bis A4.130 ist der zeitliche Verlauf der Umweltbelastungen auf dem Lebensweg der Varianten anhand der Kriterien Bedarf nicht erneuerbarer Energie, Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial, Sommersmog und Öko-Indikatorpunkte dargestellt. Der Zeitpunkt 0 entspricht dem Neubau, 80 dem Abbruch. Die Werte sind jeweils bis zum angegebenen Zeitpunkt kumuliert.

Tabelle A4.121 PEB nicht erneuerbar [TJ].

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus C	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	1,00E+00	9,40E-01	9,30E-01	1,20E+00	1,10E+00	1,00E+00	1,20E+00
20	3,14E+00	1,93E+00	2,17E+00	2,54E+00	2,33E+00	3,63E+00	2,64E+00
40	5,47E+00	2,99E+00	3,58E+00	3,96E+00	3,63E+00	6,21E+00	4,24E+00
60	7,73E+00	4,06E+00	4,94E+00	5,40E+00	5,09E+00	8,94E+00	5,80E+00
80 (ohne Abbruch)	1,01E+01	5,30E+00	6,52E+00	7,06E+00	6,46E+00	1,14E+01	7,44E+00
80 (mit Abbruch)	1,01E+01	5,34E+00	6,56E+00	7,09E+00	6,50E+00	1,14E+01	7,48E+00

Tabelle A4.122 Treibhauspotenzial [kg CO₂ Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	5,70E+04	5,90E+04	5,70E+04	9,70E+04	1,50E+04	1,10E+04	9,00E+04
20	1,69E+05	1,09E+05	1,22E+05	1,66E+05	7,97E+04	1,33E+05	1,65E+05
40	2,87E+05	1,64E+05	1,96E+05	2,37E+05	1,53E+05	2,58E+05	2,49E+05
60	4,06E+05	2,17E+05	2,64E+05	3,15E+05	2,23E+05	3,85E+05	3,29E+05
80 (ohne Abbruch)	5,30E+05	2,82E+05	3,42E+05	4,01E+05	2,94E+05	5,03E+05	4,16E+05
80 (mit Abbruch)	5,46E+05	2,97E+05	3,58E+05	4,10E+05	3,27E+05	5,35E+05	4,27E+05

Tabelle A4.123 Ozonabbaupotenzial [kg R11 Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	5,40E-02	5,40E-02	4,40E-02	6,70E-02	5,60E-02	5,30E-02	6,50E-02
20	7,08E-02	6,58E-02	5,88E-02	8,02E-02	6,70E-02	9,81E-02	8,08E-02
40	9,30E-02	8,30E-02	7,90E-02	9,91E-02	8,30E-02	1,48E-01	1,01E-01
60	1,17E-01	1,03E-01	1,02E-01	1,18E-01	1,03E-01	2,04E-01	1,26E-01
80 (ohne Abbruch)	1,44E-01	1,27E-01	1,31E-01	1,43E-01	1,23E-01	2,54E-01	1,54E-01
80 (mit Abbruch)	1,48E-01	1,31E-01	1,35E-01	1,46E-01	1,27E-01	2,58E-01	1,57E-01

Tabelle A4.124 Versauerung [kg SO₂ Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	4,10E+02	3,90E+02	4,70E+02	4,50E+02	4,80E+02	4,20E+02	4,60E+02
20	6,08E+02	5,47E+02	6,68E+02	6,07E+02	5,92E+02	1,30E+03	6,68E+02
40	8,43E+02	7,42E+02	8,91E+02	8,00E+02	7,29E+02	2,17E+03	9,18E+02
60	1,10E+03	9,50E+02	1,14E+03	1,01E+03	9,30E+02	3,13E+03	1,22E+03
80 (ohne Abbruch)	1,36E+03	1,18E+03	1,43E+03	1,24E+03	1,13E+03	4,09E+03	1,56E+03
80 (mit Abbruch)	1,37E+03	1,19E+03	1,45E+03	1,25E+03	1,15E+03	4,11E+03	1,57E+03

Tabelle A4.125 Überdüngung [kg PO4 Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	3,80E+01	3,90E+01	3,90E+01	4,50E+01	3,90E+01	4,50E+01	4,30E+01
20	5,91E+01	5,03E+01	5,08E+01	5,61E+01	5,08E+01	7,78E+01	5,91E+01
40	8,37E+01	6,44E+01	6,55E+01	6,99E+01	6,55E+01	1,13E+02	7,73E+01
60	1,10E+02	8,10E+01	8,20E+01	8,58E+01	8,20E+01	1,49E+02	9,77E+01
80 (ohne Abbruch)	1,38E+02	1,00E+02	1,02E+02	1,04E+02	1,02E+02	1,82E+02	1,21E+02
80 (mit Abbruch)	1,41E+02	1,03E+02	1,05E+02	1,06E+02	1,05E+02	1,86E+02	1,23E+02

Tabelle A4.126 Sommersmog [kg Ethen Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	5,10E+01	5,10E+01	4,60E+01	5,90E+01	6,20E+01	5,90E+01	5,70E+01
20	1,01E+02	7,45E+01	7,47E+01	8,87E+01	9,04E+01	9,24E+01	8,97E+01
40	1,58E+02	1,06E+02	1,11E+02	1,26E+02	1,25E+02	1,32E+02	1,30E+02
60	2,19E+02	1,40E+02	1,50E+02	1,64E+02	1,64E+02	1,75E+02	1,73E+02
80 (ohne Abbruch)	2,79E+02	1,76E+02	1,92E+02	2,07E+02	2,03E+02	2,15E+02	2,16E+02
80 (mit Abbruch)	2,82E+02	1,79E+02	1,95E+02	2,08E+02	2,06E+02	2,17E+02	2,18E+02

Tabelle A4.127 Wintersmog [kg SO2 Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	3,30E+02	4,10E+02	3,80E+02	5,30E+02	4,10E+02	3,50E+02	5,50E+02
20	4,37E+02	5,19E+02	5,29E+02	6,50E+02	4,90E+02	1,15E+03	6,99E+02
40	5,88E+02	6,73E+02	7,21E+02	8,08E+02	5,94E+02	1,98E+03	8,87E+02
60	7,30E+02	8,30E+02	9,20E+02	9,70E+02	7,60E+02	2,83E+03	1,12E+03
80 (ohne Abbruch)	9,10E+02	1,03E+03	1,16E+03	1,16E+03	9,20E+02	3,67E+03	1,38E+03
80 (mit Abbruch)	9,15E+02	1,03E+03	1,17E+03	1,16E+03	9,26E+02	3,68E+03	1,39E+03

Tabelle A4.128 Karzinogene Substanzen [kg PAH Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	6,00E-03	8,50E-03	8,70E-03	1,00E-02	6,10E-03	5,80E-03	7,60E-03
20	2,20E-02	1,44E-02	1,63E-02	2,00E-02	1,50E-02	1,03E-02	1,68E-02
40	4,01E-02	2,15E-02	2,46E-02	3,10E-02	2,49E-02	1,52E-02	2,64E-02
60	5,68E-02	2,84E-02	3,34E-02	4,27E-02	3,46E-02	2,06E-02	3,71E-02
80 (ohne Abbruch)	7,74E-02	4,16E-02	4,88E-02	5,87E-02	4,78E-02	2,86E-02	5,08E-02
80 (mit Abbruch)	7,75E-02	4,17E-02	4,89E-02	5,87E-02	4,81E-02	2,88E-02	5,09E-02

Tabelle A4.129 Schwermetalle [kg Pb Äquivalent]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	1,50E+00	1,30E+00	1,40E+00	1,40E+00	9,80E-01	9,10E-01	1,40E+00
20	1,96E+00	1,75E+00	1,90E+00	1,83E+00	1,34E+00	2,16E+00	1,90E+00
40	2,93E+00	2,59E+00	2,90E+00	2,72E+00	2,08E+00	3,72E+00	2,84E+00
60	4,69E+00	4,24E+00	4,50E+00	3,92E+00	3,12E+00	5,71E+00	4,32E+00
80 (ohne Abbruch)	5,75E+00	5,28E+00	5,70E+00	4,94E+00	4,04E+00	7,37E+00	5,46E+00
80 (mit Abbruch)	6,29E+00	5,65E+00	6,23E+00	5,25E+00	4,58E+00	7,84E+00	6,03E+00

Tabelle A4.130 Eco-Indicator [Punkte]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	2,30E+02	2,20E+02	2,30E+02	2,50E+02	1,80E+02	1,70E+02	2,40E+02
20	3,44E+02	3,01E+02	3,28E+02	3,40E+02	2,54E+02	4,46E+02	3,45E+02
40	5,10E+02	4,30E+02	4,70E+02	4,81E+02	3,71E+02	7,67E+02	5,01E+02
60	7,60E+02	6,30E+02	7,00E+02	6,53E+02	5,20E+02	1,11E+03	7,11E+02
80 (ohne Abbruch)	9,50E+02	7,90E+02	8,80E+02	8,20E+02	6,70E+02	1,43E+03	9,00E+02
80 (mit Abbruch)	1,01E+03	8,29E+02	9,36E+02	8,52E+02	7,30E+02	1,48E+03	9,57E+02

Tabelle A4.131 Stofffluss [kg]

Zeitpunkt [Jahre]	Referenzhaus	Haus A	Haus B	Haus CII	Haus DI	Haus DII	Haus E
0	3,80E+05	4,70E+05	4,90E+05	4,00E+05	3,80E+05	3,80E+05	3,50E+05
20	3,80E+05	4,70E+05	4,90E+05	4,00E+05	3,81E+05	3,81E+05	3,50E+05
40	3,83E+05	4,73E+05	4,93E+05	4,03E+05	3,82E+05	3,82E+05	3,52E+05
60	3,96E+05	4,85E+05	5,05E+05	4,15E+05	3,96E+05	3,95E+05	3,63E+05
80 (ohne Abbruch)	4,26E+05	5,18E+05	5,38E+05	4,54E+05	4,07E+05	4,06E+05	3,99E+05
80 (mit Abbruch)	4,26E+05	5,18E+05	5,38E+05	4,54E+05	4,07E+05	4,06E+05	3,99E+05