

## Vom Niedrig-Energiehaus zum Niedrig-Schadstoffhaus

Integration von schadstoffbezogenen  
Bilanzierungen in die Ökobilanzen von  
Wohngebäuden

Freiburg, 2000

Kathrin Graulich, Öko-Institut e.V.

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

Kathrin Graulich

# Vom Niedrig-Energiehaus zum Niedrig-Schadstoffhaus

Integration von schadstoffbezogenen Bilanzierungen  
in die Ökobilanzen von Wohngebäuden

Freiburg 2000

Werkstattreihe Nr. 128

ISBN 3-934490-13-1

Alle Rechts vorbehalten / Copyright by:



**Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 6226  
D-79038 Freiburg  
Tel.: 0761/45 29 5-0  
Fax: 0761/47 54 37

**Büro Darmstadt**

Elisabethenstraße 55-57  
D-64283 Darmstadt  
Tel.: 06151/8191-0  
Fax: 06151/8191-33

**Büro Berlin**

Novalisstraße 10  
D-10115 Berlin  
Tel.: 030/280 486-80  
Fax: 030/280 486-88

[www.oeko.de](http://www.oeko.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>Überblick über Bilanzierungsinstrumente für Produkte und Dienstleistungen .</b>	<b>18</b>
3.1	Ökobilanzen .....	18
3.1.1	Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens nach DIN 14041 .....	19
3.1.2	Sachbilanz nach DIN 14041.....	20
3.1.3	Wirkungsabschätzung nach DIN 14042 .....	21
3.1.4	Auswertung nach DIN 14043 .....	24
3.2	Ökobilanzen im Baubereich.....	27
3.2.1	Ökobilanzen auf Ebene der Baustoffe.....	28
3.2.2	Ökobilanzen auf Ebene der Bauelemente.....	30
3.2.3	Ökobilanzen auf Ebene der Gebäude .....	31
3.3	Integration von schadstoffbezogenen Bilanzierungen in Gebäudeökobilanzen.....	35
<b>4</b>	<b>Auswahl der Gebäudevarianten.....</b>	<b>36</b>
4.1	Beschreibung der ausgewählten Gebäudevarianten .....	36
4.1.1	Referenzhaus .....	36
4.1.2	Holzhaus.....	36
4.2	Berechnung der in den beiden Gebäudevarianten eingesetzten Baustoffmassen ....	42
<b>5</b>	<b>Beschreibung der ausgewählten Baustoffe .....</b>	<b>45</b>
5.1	Farben und Lacke .....	45
5.2	Holzschutzmittel .....	47
5.3	Klebstoffe .....	49
5.4	Dichtungsmittel.....	51
5.5	Zement.....	52

<b>6</b>	<b>Sachbilanz – Berechnung der Schadstoffe in den ausgewählten Baustoffen ...</b>	<b>54</b>
6.1	Farben und Lacke .....	56
6.1.1	Dispersions- und Deckfarben.....	57
6.1.2	Holzfensterlacke .....	66
6.1.3	Heizkörperlacke .....	66
6.2	Holzschutzmittel .....	69
6.2.1	Holzschutzmittel – Flüssigsalze .....	71
6.2.2	Holzschutzmittel – Holzschutzöle.....	72
6.3	Klebstoffe .....	77
6.3.1	Klebstoffe für Linoleumbeläge und textile Bodenbeläge.....	78
6.3.2	Klebstoffe für Steinzeugplatten .....	81
6.4	Dichtungsmittel.....	86
6.5	Zement.....	89
<b>7</b>	<b>Wirkungsabschätzung – Wirkung der bilanzierten Schadstoffe .....</b>	<b>92</b>
7.1	Auswahl von Wirkungskategorien und Klassifizierung .....	92
7.2	Charakterisierung.....	92
7.2.1	Berechnungsschema nach TRGS 440 .....	93
7.2.2	Auswahl eines Charakterisierungsfaktors .....	99
7.2.3	Zusammenfassung zum Indikatorergebnis.....	100
7.3	Berechnung der potenziellen relativen Risiken der bilanzierten Baustoffe .....	101
7.3.1	Potenzielles relatives Risiko der Farben und Lacke .....	101
7.3.2	Potenzielles relatives Risiko der Holzschutzmittel.....	108
7.3.3	Potenzielles relatives Risiko der Klebstoffe.....	112
7.3.4	Potenzielles relatives Risiko der Dichtungsmittel .....	116
7.3.5	Potenzielles relatives Risiko des Zements .....	119
7.4	Ergebnis der Wirkungsabschätzung für die beiden Gebäudevarianten.....	121
7.4.1	Indikatorergebnis für das Berechnungsverfahren nach <i>FoBiG</i> .....	121
7.4.2	Indikatorergebnis für das Berechnungsverfahren nach <i>TRGS 440</i> .....	127
7.4.3	Ergebnisse – Vergleich der unterschiedlichen Berechnungsverfahren....	128

<b>8</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>132</b>
8.1	Diskussion der Methode zur Berechnung des Gefahrstoffpotenzials .....	132
8.2	Weitere Methoden zur Wirkungsabschätzung der Humantoxizität .....	135
8.2.1	Berechnung des Humantoxizitätspotenzials mit Phenol-Äquivalenten ....	135
8.2.2	Berechnung des Krebsrisikopotenzials mit Arsen-Äquivalenten .....	136
8.2.3	Vergleich der Ansätze zur Bestimmung der Humantoxizität .....	137
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>139</b>
<b>ANHANG .....</b>		<b>145</b>

### **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Bestandteile einer Ökobilanz (DIN 14040).....	19
Abbildung 2: Arbeitsschritte in einer Sachbilanz nach DIN 14041 .....	20
Abbildung 3: Verbindliche Bestandteile der Wirkungsabschätzung (DIN 14042) .....	21
Abbildung 4: Wahlweise Bestandteile der Wirkungsabschätzung (DIN 14042).....	22
Abbildung 5: Beziehungen der Bestandteile in der Auswertungsphase zu anderen Phasen der Ökobilanz (DIN 14043).....	26
Abbildung 6: Fotografische Aufnahme der Südansicht des untersuchten Referenzhauses (Reiß und Erhorn 1994) .....	37
Abbildung 7: Darstellung der Grundrisse aller Geschosse und eines Schnittes des Referenzhauses (Reiß und Erhorn 1994).....	38
Abbildung 8: Fotografische Aufnahme der Südansicht des untersuchten Holzhauses (Reiß und Erhorn 1994).....	39
Abbildung 9: Darstellung der Grundrisse aller Geschosse und eines Schnittes des Holzhauses (Reiß und Erhorn 1994) .....	40
Abbildung 10: Zu Risiken und Nebenwirkungen... (Zeschmar-Lahl und Lahl 1987) .....	46

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Mögliche Anwendungsebenen von Ökobilanzen im Baubereich nach Quack (2000) .....27

Tabelle 2: Untersuchte Fallbeispiele der Bauteil- und Materialvarianten (Wittassek und Rudolphi 1998).....30

Tabelle 3: Charakterisierung der untersuchten Gebäude (Quack 2000) .....41

Tabelle 4: Übersicht über die in den beiden Gebäudevarianten eingesetzten Baustoff- und Baumaterialmengen .....43

Tabelle 5: Einteilung der zementhaltigen Baustoffe.....43

Tabelle 6: Einteilung der Kunststoffe .....44

Tabelle 7: Gefährdungen durch Farben und Lacke .....47

Tabelle 8: Gefährdungen durch Holzschutzmittel .....49

Tabelle 9: Hilfsstoffe und sonstige Zusätze in Klebstoffen nach Kursawa-Stucke und Schröder (1996).....50

Tabelle 10: Gefährdungen durch Klebstoffe .....51

Tabelle 11: Gefährdungen durch Dichtungsmittel.....52

Tabelle 12: Gefährdungen durch Zement.....53

Tabelle 13: Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz, aus Bender (2000).....54

Tabelle 14: Übersicht über Anbieter bzw. Produktnamen der untersuchten Produkte .....55

Tabelle 15: Farbmengen in den beiden Gebäudevarianten .....56

Tabelle 16: Dispersions- und Deckfarben; Klassische Lacke .....58

Tabelle 17: Dispersions- und Deckfarben; High-Solid Lacke .....60

Tabelle 18: Dispersions- und Deckfarben; wasserverdünnbare Dispersionslacke .....60

Tabelle 19: Deckfarben; lösemittelhaltige Dickschicht-Lasuren .....62

Tabelle 20: Deckfarben; wasserverdünnbare Dickschicht-Lasur .....62

Tabelle 21: Deckfarben; lösemittelhaltige Imprägnier-Lasuren .....63

Tabelle 22: Deckfarben; wasserverdünnbare Imprägnier-Lasuren .....63

Tabelle 23: Deckfarben; wasserverdünnbare Dispersionslacke.....64

Tabelle 24: Dispersionsfarben; wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Kunstharzdispersion) .65

Tabelle 25: Dispersionsfarben; wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Silikonharz, Siloxan) ..65

Tabelle 26: Dispersionsfarben; wasserverdünnbarer Dispersionslack.....	65
Tabelle 27: Dispersionsfarben; Dispersionswandfarben .....	65
Tabelle 28: Holzfensterlacke .....	67
Tabelle 29: Heizkörperlacke .....	68
Tabelle 30: Berechnung des durchschnittlich eingesetzten Bauholzes je Haus.....	69
Tabelle 31: Berechnung des durchschnittlichen Holzschutzmittelverbrauchs je Haus .....	69
Tabelle 32: Holzarten und Einsatzbereiche in den beiden Gebäudevarianten .....	70
Tabelle 33: Produkt-Codes für Holzschutzmittel nach Rühl und Kluger (1995).....	71
Tabelle 34: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (Produkt-Code HSM-W 10).....	73
Tabelle 35: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (Produkt-Code HSM-W 40).....	73
Tabelle 36: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (Produkt-Code HSM-W 70).....	74
Tabelle 37: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (Produkt-Code HSM-LV 10) .....	74
Tabelle 38: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (Produkt-Code HSM-LV 20) .....	75
Tabelle 39: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (Produkt-Code HSM-LV 30) .....	75
Tabelle 40: Bodenbeläge; Fläche, Klebstoffmenge und -verbrauch in den beiden Gebäudevarianten .....	76
Tabelle 41: GISCODE für Klebstoffe im Bodenbereich nach Rühl und Kluger (1995).....	77
Tabelle 42: Klebstoffe für Linoleumbeläge .....	79
Tabelle 43: Klebstoffe für textile Bodenbeläge .....	80
Tabelle 44: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Dispersionskleber).....	83
Tabelle 45: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Polyurethan-Basis / Epoxidharz-Basis).....	84
Tabelle 46: Klebstoffe für Steinzeugplatten (zementäre Basis).....	85
Tabelle 47: Dichtungsmassen für Glas- und Fensterbau .....	87
Tabelle 48: Zementanteile in zementhaltigen Baustoffen .....	89
Tabelle 49: Referenzhaus; Anteil Zement in den zementhaltigen Baustoffen .....	89
Tabelle 50: Holzhaus; Anteil Zement in den zementhaltigen Baustoffen .....	90
Tabelle 51: Chromatmengen in beiden Gebäudevarianten (Chromatgehalt = 0,1 ppm) .....	91
Tabelle 52: Chromatmengen in beiden Gebäudevarianten (Chromatgehalt = 2 ppm) .....	91
Tabelle 53: Chromatmengen in beiden Gebäudevarianten (Chromatgehalt = 35 ppm) .....	91

Tabelle 54: Bedeutung der R-Sätze und Zuordnung zu Wirkpotenzialen nach Kalberlah et al. (1998) und BMA (1996).....	96
Tabelle 55: Freisetzungspotenzial nach TRGS 440 (BMA 1996).....	97
Tabelle 56: Vergleich zweier möglicher Bezugssubstanzen .....	100
Tabelle 57: R-Sätze und Dampfdruckwerte – Datenherkunft.....	101
Tabelle 58: Farben und Lacke – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR .....	103
Tabelle 59: Dispersions- und Deckfarben – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR.....	105
Tabelle 60: Deckfarben – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR .....	106
Tabelle 61: Dispersionsfarben – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR.....	106
Tabelle 62: Holzfensterlacke – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR .....	107
Tabelle 63: Heizkörperlacke – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR .....	107
Tabelle 64: Holzschutzmittel – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR .....	109
Tabelle 65: Holzschutzmittel – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR.....	111
Tabelle 66: Klebstoffe – Schadstoffgehalte und potenzielles relatives Risiko pR.....	112
Tabelle 67: Klebstoffe – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR .....	114
Tabelle 68: Dichtungsmittel – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR .....	117
Tabelle 69: Dichtungsmittel – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR.....	118
Tabelle 70: Zement – Schadstoffgehalte und potenzielles relatives Risiko pR .....	119
Tabelle 71: Zement – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR.....	120
Tabelle 72: Produktmengen in den beiden Gebäudevarianten .....	121
Tabelle 73: Best-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach FoBiG .....	125
Tabelle 74: Worst-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach FoBiG .....	126
Tabelle 75: Best-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach TRGS 440.....	130
Tabelle 76: Worst-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach TRGS 440.....	131

## Glossar

**Akute Toxizität:** Schädigende Auswirkung einer Substanz, die innerhalb eines kurzen Zeitraums nach einer einzelnen Exposition auftreten kann. Der Zeitraum wird meistens mit 24 Stunden angegeben (Bahadir et al. 1995, S. 51).

**Auswertung:** Bestandteil der Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung oder beide mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen zusammengeführt werden, um Schlussfolgerungen und Empfehlungen zu geben (DIN 14040).

**Bauelement:** Funktionale Elemente, die Bestandteil eines Gebäudes sind, wie z.B. Fenster, Decken oder Außenwände (Quack 2000).

**CAS-Nummer:** Registriernummer des „Chemical Abstract Service“; international festgelegte Identifizierungsnummer für Chemikalien (HVBG 1999, S. 11).

**Charakterisierung:** Verbindlicher Bestandteil der Wirkungsabschätzung, in dem die Wirkungsindikatorergebnisse berechnet werden (DIN 14042).

**Charakterisierungsfaktor:** Ein Faktor, der aus einem Modell abgeleitet wurde, das für die Umwandlung der zugeordneten Sachbilanzergebnisse in die gemeinsame Einheit des Wirkungsindikators angewendet wird (DIN 14042).

**Chronisch:** Im Gegensatz zu akut sich langsam entwickelnd und lang andauernd. Chronische Krankheiten nehmen einen stetigen oder schubweisen Verlauf (Bahadir et al. 1995, S. 237).

**Dampfdruck:** Dient in der vorliegenden Arbeit zur Beschreibung der Flüchtigkeit einer Substanz und zur Ermittlung des Freisetzungspotenzials.

**Dispersion:** Eine aus mindestens zwei Phasen bestehende Mischung, bei der eine oder mehrere Phasen in einer anderen in feinsten Form verteilt sind (Bahadir et al. 1995, S. 288).

**Elementgruppe:** Zusammenfassung mehrerer Bauelemente zu einer sinnvollen Gruppe, z.B. Fassade, Innenwände, Decken/Böden, Dächer, Technik (Quack 2000).

**Elementkatalog:** In dem Elementkatalog der Elementkostengliederung werden derzeit circa 500 Bauelemente nach bestimmten Elementgruppen (z.B. Rohbau Gebäude, Ausbau Gebäude, Installationen etc.) gegliedert. Es erfolgen weitere Unterteilungen und Konkretisierungen der Elemente je nach Ausführungsart (CRB 1991).

**Elementkostengliederung:** Die Elementkostengliederung der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) in Zürich ist eine planungsorientierte Kostengliederung nach funktionalen Elementen, die z.B. im Hochbau verwendet wird (CRB 1991).

**Exposition:** Aussetzung eines Organismus oder eines Systems an positive oder negative Umwelteinflüsse (Bahadir et al. 1995, S. 363).

**Flüchtigkeit:** Verdampfungsrate aus der Flüssigkeit in die Luft (Kalberlah et al. 1998, S. 30).

**Freisetzungspotenzial:** Das Freisetzungspotenzial F eines Stoffes wird beschrieben durch den Dampfdruck beim vorgesehenen Verfahren. Für Gase wird immer die größte Freisetzung angenommen, für Feststoffe kann meist eine geringe Freisetzung unterstellt werden (BMA 1996).

**Funktionelle Einheit:** Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit in einer Ökobilanzstudie (DIN 14040).

**Gefährdung:** Beschreibt für einen chemischen Stoff oder für eine physikalische Einwirkung die Möglichkeit des Schadenseintritts und welche Schadenssymptome auftreten (Bahadir et al. 1995, S. 422).

**Gefährliche Stoffe bzw. Inhaltsstoffe:** s. Gefahrstoffe.

**Gefahrstoffe:** Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz (siehe Seite 54, Tabelle 13) besitzen.

**Gefahrstoffpotenzial:** Wirkungskategorie, in der die Gefahrstoffe (siehe Gefahrstoffe) zusammengefasst werden, die in der Sachbilanz ermittelt wurden. Als Referenzsubstanz wird in der vorliegenden Arbeit Monoethylenglykol vorgeschlagen.

**Gewichtung:** Wahlweiser Bestandteil der Wirkungsabschätzung, in dem die Indikatorergebnisse umgewandelt und eventuell über Wirkungskategorien hinweg zusammengefasst werden (DIN 14042).

**Heizwärmebedarf:** Wärme, die ein Heizsystem für die Gesamtheit der beheizten Räume eines Gebäudes während eines Jahres bereitzustellen hat (Quack 2000).

**Hüllflächenfaktor A/V:** Verhältnis von Außenfläche zu Volumen z.B. eines Gebäudes (Quack 2000).

**Humantoxizitätspotenzial:** Wirkungskategorie, in der potenziell toxische Emissionen von Substanzen zusammengefasst werden, die in der Sachbilanz ermittelt wurden. Als Referenzsubstanz dient Phenol (Guinée und Heijungs 1993).

**Karzinogene Substanzen:** Wirkungskategorie, in der die krebserzeugenden Substanzen zusammengefasst werden, die in der Sachbilanz ermittelt wurden.

**Klassifizierung:** Verbindlicher Bestandteil der Wirkungsabschätzung, in der die Sachbilanzergebnisse zur Wirkungskategorie eingeteilt werden (DIN 14042).

**Konsistenzprüfung:** Verfahren zur Überprüfung, ob die Annahmen, Methoden und Daten einheitlich angewendet wurden und sich in Übereinstimmung mit der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens befinden, bevor Schlussfolgerungen abgeleitet werden (DIN 14043).

**Krebsrisikopotenzial:** Wirkungskategorie, in der kanzerogene Schadstoffemissionen (Luftschadstoffe) zusammengefasst werden. Als Referenzsubstanz dient Arsen (Ostermayer et al. 1999).

**k-Wert:** siehe Wärmedurchgangskoeffizient.

**Letaldosis / Letalkonzentration:** Höhe der Dosis / Konzentration, die zum Tod führt (Bahadir et al. 1995, S. 619).

**Lösemittel:** Anorganische oder organische Flüssigkeiten, die andere Substanzen durch physikalische Vorgänge in Lösung bringen können, ohne dabei sich und die gelöste Substanz chemisch zu verändern (Bahadir et al. 1995, S. 629).

**Luftschadstoffemissionen:** Ausstoß von Schadstoffen in die Außenluft. Luftschadstoffe sind Stoffe, die in der natürlichen Zusammensetzung der Luft nicht oder nur in geringer Menge enthalten sind, eine bestimmte Massenkonzentration, einen bestimmten Massenstrom oder eine bestimmte Einwirkungsdauer überschreiten sowie nachweisbar Schäden verursachen (Bahadir et al. 1995, S. 637)

**Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK):** Die Konzentration eines Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz, bei der keine Gesundheitsbeeinträchtigung, keine unangemessene Belästigung für gesunde Arbeitnehmer im erwerbsfähigen Alter bei täglich maximal achtstündiger und wöchentlich 40 stündiger Exposition zu befürchten ist (Bender 2000, S. 86).

**Modul:** Kleinster Anteil eines Produktsystems, für den zur Erstellung einer Ökobilanz Daten gesammelt werden (DIN 14040).

**Niedrigenergiehaus:** Ein für übliche Nutzungen vorgesehenes Gebäude mit einem besonders niedrigen (zwischen 25 und 60 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr) Energieverbrauch (Quack 2000).

**Normierung:** Wahlweiser Bestandteil der Wirkungsabschätzung, in dem die Höhe der Wirkungsindikatorergebnisse im Verhältnis zu(m) Bezugswert(en) berechnet wird (DIN 14042).

**Ökobilanz:** Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs (DIN 14040).

**Öko-Indikator:** Bewertungsverfahren, das die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung, stratosphärischer Ozonabbau, Überdüngung, Sommersmog, Wintersmog, Karzinogene Substanzen und Schwermetalle entsprechend gesellschaftlicher Reduktionsziele gewichtet. Die Bewertung erfolgt in zwei Teilschritten: Die Daten der Wirkungsabschätzung werden zunächst normiert (siehe Normierung) und im zweiten Schritt gewichtet. Man erhält je Wirkungskategorie einen Punktwert. Das Endergebnis besteht aus der Summe aller Punktwerte (Quack 2000).

**Ordnung:** Wahlweiser Bestandteil der Wirkungsabschätzung, in dem eine Einordnung und eine eventuelle Rangbildung der Indikatoren erfolgt (DIN 14042).

**Ozonabbaupotenzial:** Wirkungskategorie, in der die Substanzen zusammengefasst werden, die in der Lage sind, stratosphärisches Ozon zu zerstören. Als Referenzsubstanz dient der Fluorchlorkohlenwasserstoff Trichlorfluormethan (Quack 2000).

**Potenzielles relatives Risiko:** Das potenzielle relative Risiko pR ist das Produkt aus Wirkung (siehe Wirkpotenzial) und Freisetzung (siehe Freisetzungspotenzial) (BMA 1996).

**ppm:** Abkürzung für die dimensionslose Konzentrationsangabe „parts per million“ (Streit 1994, S. 644f), die angibt, wieviel Gewichts- und Volumeneinheiten einer Substanz in einer Million ( $10^6$ ) Einheiten einer anderen Substanz enthalten sind; 1 ppm = 1 mg/kg (Bahadir et al. 1995, S. 814).

**Primärenergiebedarf:** Menge an Primärenergie, die auf dem Lebensweg eines Produktes eingesetzt wird. Es wird unterschieden zwischen erneuerbarem und nicht erneuerbarem Primärenergiebedarf (Quack 2000).

**Produktsystem:** Zusammenfassung der durch Material- und Energieflüsse verbundenen Module, die eine oder mehrere festgelegte Funktionen erfüllen (DIN 14040).

**Sachbilanz:** Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs und Outputs eines gegebenen Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs umfasst (DIN 14040).

**Schadstoffe:** s. Gefahrstoffe.

**Schwermetalle:** Metalle mit einer Dichte größer als  $5 \text{ kg/dm}^3$ . Bezeichnet außerdem eine Wirkungskategorie, in der eine Reihe von Schwermetallen zusammengefasst werden, die in die Luft und ins Wasser emittiert werden. Als Referenzsubstanz dient Blei (Quack 2000).

**Sensitivitätsanalyse:** Systematisches Verfahren zur Einschätzung der Wirkungen der ausgewählten Methoden und Daten auf die Ergebnisse der Studie (DIN 14041).

**Sicherheitsdatenblatt:** Der Hersteller oder Vertreiber muss für gefährliche Stoffe oder Zubereitungen ein Sicherheitsdatenblatt liefern, das Angaben zu den gefährlichen Inhaltsstoffen enthält (HVBG 1996, S. 19). Es dient in der vorliegenden Arbeit als Datengrundlage zur Ermittlung der R-Sätze und des Gehalts an gefährlichen Inhaltsstoffen von Produkten.

**Sommersmog:** Wirkungskategorie, in der die Substanzen zusammengefasst werden, die unter UV-Bestrahlung zur Bildung von bodennahem Ozon beitragen können (Quack 2000).

**Systemgrenze:** Schnittstelle zwischen einem Produktsystem und seiner Umwelt oder anderen Produktsystemen (DIN 14040).

**Szenarien (Best-Case, Worst-Case):** Szenarien haben im Rahmen der Modellbildung die Aufgabe, Möglichkeiten zukünftiger Entwicklungen in Form von Fallbeispielen aufzuzeigen. (Kohler et al. 1994, S. 4.17).

**Treibhauspotenzial:** Wirkungskategorie, in der die Substanzen zusammengefasst werden, die zu einer Erwärmung des Klimas führen können. Als Referenzsubstanz dient Kohlendioxid (Quack 2000).

**Überdüngungspotenzial:** Wirkungskategorie, in der die Substanzen zusammengefasst werden, die eine Düngewirkung besitzen und so z.B. Massenwachstum von Algen verursachen können. Als Referenzsubstanz dient Phosphat (Quack 2000).

**Vernetzungssystem / Vernetzen:** Vorgang der Aushärtung nach dem Auftragen (z.B. bei Dichtungsmitteln).

**Versauerungspotenzial:** Wirkungskategorie, in der die Substanzen zusammengefasst werden, die in wässriger Lösung eine Verringerung des pH-Wertes verursachen können (Stichwort Saurer Regen). Als Referenzsubstanz dient Schwefeldioxid (Quack 2000).

**Vollständigkeitsprüfung:** Verfahren zur Überprüfung, ob die Informationen aus den bereits abgeschlossenen Phasen der Ökobilanz oder Sachbilanz für die Ableitung von Schlussfolgerungen in Übereinstimmung mit der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens ausreichend sind (DIN 14043).

**Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert):** Beschreibt den Wärmefluss in  $W/m^2K$  durch ein Bauteil. Je besser ein Haus gedämmt ist, desto kleiner ist der Wärmeverlust (kleiner k-Wert). Der k-Wert ist abhängig von der Dichte des Bauteils, der Wärmeleitfähigkeit und dem Temperaturunterschied.

**Wintersmog:** Wirkungskategorie, in der die Substanzen erfasst werden, die im Winter Smog verursachen können. Darunter fallen Schwefeldioxid, Staub und Ruß (Quack 2000).

**Wirkpotenzial:** Das Wirkpotenzial  $W$  wird beschrieben durch die entsprechenden Gefahrenhinweise (R-Sätze) (BMA 1996).

**Wirkstoff:** Biologisch aktive Substanz, z.B. in Holzschutzmitteln enthalten.

**Wirkungsabschätzung:** Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems dient (DIN 14040).

**Wirkungsindikator:** Quantifizierbare repräsentierende Darstellung einer Wirkungskategorie (DIN 14042).

**Wirkungskategorie:** Klasse wichtiger Umweltthemen, in die die Sachbilanzergebnisse eingeteilt werden können (DIN 14042).

**Zielfestlegung:** Bestandteil einer Ökobilanz, der eindeutig die vorgesehene Verwendung angeben muss, die Gründe dafür, warum die Studie ausgeführt wurde, und die angesprochene Zielgruppe, d.h. wem die Ergebnisse der Studie übermittelt werden sollen (DIN 14041).

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
ADI	acceptable daily intake (Werte für akzeptable tägliche Einnahmen)
AP	Acidification Potential (Versauerungspotenzial)
AQC	air quality guidelines (Werte der Luftqualitäts-Richtlinien)
A / V	Außenfläche / Volumen
bgvv	Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (früherer Name: Bundesgesundheitsamt), Berlin
BIA	Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Sankt Augustin
BUKK	Bau-Umweltbelastungskennwerte-Katalog
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAS	Chemical Abstract Service
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
CRP	Carcinogenic Risk Potential (Krebsrisikopotenzial)
D	Produktcode für Dispersionsklebstoffe
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrie-Norm
Disp.	Dispersions-
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Erdgeschoss
EKG	Elementkostengliederung
EN	Europäische Norm
EPA	Environmental Protection Agency (Amerikanische Umweltschutzbehörde)
etc.	et cetera
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich
F	Freisetzungsfaktor
FoBiG	Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe, Freiburg
Gisbau	Gefahrstoff-Informationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft
GISCODE	Produktcode der Bauberufsgenossenschaft
Gr.	Gruppe
GWP	Global Warming Potential (Treibhauseffekt)

HAB	Hochschule für Architektur und Bauwesen, Weimar
hPa	Hektopascal
Hrsg.	Herausgeber
HSM	Holzschutzmittel
HSM-LV	Produktcode für Holzschutzmittel auf wässriger, wasserverdünnbarer oder lösemittelhaltiger Basis
HSM-W	Produktcode für Holzschutzmittel auf Salzbasis
HSP	Hazardous Substance Potential (Gefahrstoffpotenzial)
HTP	Human Toxicity Potential (Humantoxizitätspotenzial)
HVBG	Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin
ifeu	Institut für Energieforschung und Umweltforschung, Heidelberg
ifib	Institut für Industrielle Bauproduktion, Karlsruhe
IKP	Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde, Stuttgart
ISO	International Standard Organization (internationale Normierungsorganisation)
k.A.	keine Angabe
KG	Kellergeschoss
KS	Kalksandstein
KW	Kohlenwasserstoffe
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
LD	low density (geringe Dichte)
m <sup>-1</sup>	je Meter
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MEG	Monoethylenglykol
MG	Mörtelgruppe
Mio.	Millionen
MJ	Megajoule
NEI	no effect intake (Werte, bei denen bei Auf-/Einnahme der Substanzen noch kein Effekt auftritt)
NP	Nitrification Potential (Überdüngungspotenzial)
NT	Niedertemperatur
ODP	Ozone Depletion Potential (Ozonabbaupotenzial)
OG	Obergeschoss
p	Dampfdruck

P	Menge in Prozent / 100 von Einzelstoff i in der Zubereitung
PE	Polyethylen
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential (Photooxidantienbildungspotenzial)
ppm	parts per million (Teile je Million)
PS	Polystyrol
pR	potenzielles relatives Risiko
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
RE	Produktcode für Klebstoffe auf Epoxidbasis
Ref.haus	Referenzhaus
RIVM	National Institut for Public Health and Environmental Protection, Holland
R-Sätze	Gefahrenhinweise
RU	Produktcode für Klebstoffe auf Polyurethanbasis
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen
S	Produktcode für Klebstoffe auf Kunstkautschuk- oder Harzbasis
S-Sätze	Sicherheitsratschläge
TAC	tolerable air concentration (Werte für tolerierbare Luftkonzentrationen)
TDI	tolerable daily intake (Werte für tolerierbare tägliche Einnahmen)
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
u.a.	unter anderem / und andere
UG	Untergeschoss
US	United States
usw.	und so weiter
V	Verfahrensfaktor
VOC	Volatile organic compounds (flüchtige organische Verbindungen)
W	Wirkfaktor / -potenzial
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
WINGIS	Gefahrstoff-Informationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

## 1 Zusammenfassung

Ökobilanzen dienen zur Erfassung der Stoff- und Energieumsätze von Produkten und Dienstleistungen während des gesamten Lebenszyklus, also während der Herstellung, Nutzung und Entsorgung, sowie zur Abschätzung der damit verbundenen ökologischen Wirkungen. Auch zur Abschätzung der Umweltwirkungen von Gebäuden wird die Methode der Ökobilanz immer häufiger angewandt. Der Fokus liegt dabei allerdings auf der Berechnung und Abschätzung des Ressourcenverbrauchs, des Verbrauchs erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energien oder der Auswirkungen von Luftschadstoffemissionen, z.B. auf das Treibhauspotenzial. Eine Erfassung und Wirkungsabschätzung der Schadstoffe, die direkt in den Baustoffen und -materialien enthalten sind, findet in Gebäudeökobilanzen zum heutigen Zeitpunkt – meist aufgrund fehlender Daten zur Zusammensetzung der Produkte – nicht statt.

Die vorliegende Arbeit schließt diese Lücke, indem schadstoffbezogene Bilanzierungen nachträglich in zwei bereits bestehende Gebäudeökobilanzen integriert werden. Für fünf ausgewählte Baustoffe – Farben und Lacke, Holzschutzmittel, Klebstoffe, Dichtungsmittel sowie Zement – werden die in ihnen enthaltenen gefährlichen Inhaltsstoffe bilanziert und deren Wirkungen abgeschätzt.

Zur Wirkungsabschätzung der in Baustoffen enthaltenen Gefahrstoffen wird ein neues Verfahren vorgestellt, das sich an der Methode der TRGS 440 „Ermitteln und Beurteilen der Gefährdung durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz“ orientiert. Diese Methode beurteilt die Wirkung von Gefahrstoffen anhand von R-Sätzen (Gefahrenhinweisen), indem jedem R-Satz ein Wirkfaktor zugeordnet wird. Die Freisetzung der Gefahrstoffe wird über einen sogenannten Freisetzungsfaktor ermittelt, der über den Dampfdruck berechnet wird. Durch Multiplikation des Wirk- und Freisetzungsfaktors erhält man das potenzielle relative Risiko der Einzelsubstanzen bzw. der Stoffgemische (Produkte). Zum Vergleich der potenziellen relativen Risiken wird in der vorliegenden Arbeit die Substanz Monoethylenglykol (MEG) als Bezugssubstanz gewählt, auf die alle potenziellen relativen Risiken der Produkte bezogen werden. Durch Multiplikation mit den in den beiden Gebäuden eingesetzten Produktmengen erhält man innerhalb der Wirkungskategorie Humantoxizität das Gefahrstoffpotenzial HSP.

In der vorliegenden Arbeit werden zwei Gebäudevarianten verglichen, die sich in ihrer Bauweise unterscheiden (Referenzhaus und Holzhaus), sowie verschiedene Produktalternativen bezüglich ihres Gefahrstoffpotenzials untersucht. Für beide Gebäudevarianten werden abschließend zwei Szenarien aufgestellt, zum einen ein Best-Case-Szenario, in dem nur diejenigen Produkte ausgewählt werden, deren Gefahrstoffpotenzial am niedrigsten ist, zum anderen ein Worst-Case-Szenario, in dem die Produkte mit dem höchsten Gefahrstoffpotenzial ausgewählt werden. Neben dem Vergleich der beiden unterschiedlichen Bauweisen kann so der Weg zum Niedrig-Schadstoffhaus aufgezeigt werden.

## 2 Einleitung

Der Bereich Bauen und Wohnen besitzt aufgrund der mengenmäßig bedeutenden Stoff- und Energieströme auf vielen Gebieten eine hohe Relevanz. Durch das Bauen und Wohnen wird ein erheblicher Ressourcen- und Energieverbrauch verursacht, ein Großteil der in der Bundesrepublik anfallenden Gesamtabfälle stammt aus dem Baubereich und es bestehen z.T. gravierende Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. Treibhauseffekt).

In einer Studie des Öko-Instituts e.V. (1998) wurden z.B. Daten<sup>1</sup> für den Bereich Bauen und Wohnen ermittelt und berechnet, nach denen für das 1995 der Bedarf an Ressourcen (Gips, Ton, Kies, Sand, Kalkstein, Rohholz) 132 Mio. Tonnen betrug, der Bedarf an Baumaterialien (Steine und Erden, metallische Baumaterialien, Kunststoffe und Dämmmaterialien) betrug 49,7 Mio. Tonnen. Des Weiteren fielen im Jahr 1995 nach Angaben des Öko-Instituts e.V. (1998) 296,7 Mio. Tonnen Reststoffmengen an, hier wurden die Kategorien Bauschutt, Bodenaushub, Produktionsabfall und Abraum berücksichtigt. Auch die Emissionen von Massenschadstoffen aus dem Bereich Bauen und Wohnen sind erheblich. So betragen die NO<sub>x</sub>-Emissionen 220.000 Tonnen, die SO<sub>2</sub>-Emissionen beliefen sich auf 261.000 Tonnen und die Emissionen von CO<sub>2</sub> aus dem Bereich Bauen und Wohnen sogar auf 208,9 Mio. Tonnen.

Jedoch nicht nur die Umwelt, sondern auch die Gesundheit wird durch das Bauen und Wohnen gefährdet, einerseits die der Arbeiter, die bei der Errichtung von Gebäuden z.B. Lösemitteldämpfen von Farben oder Klebstoffen ausgesetzt sind, aber auch die Gesundheit der Bewohner, wenn z.B. noch lange nach der Errichtung gesundheitsgefährdende Stoffe aus den Baumaterialien ausgasen. Schlagworte wie Formaldehyd, krebserregende Asbestfasern oder Innenraumluftbelastungen sind mit dafür verantwortlich, dass immer mehr Verbraucher sensibel im Hinblick auf die in ihren vier Wänden eingesetzten Baumaterialien werden. Eine Fülle von Namenszusätzen wie z.B. "biologisch abbaubar" oder "umweltverträglich" sowie Umweltzeichen (z.B. der "Blaue Engel") konkurrieren um die Gunst der Verbraucher. Zeitschriften wie Ökotest untersuchen in ihren Sonderheften "Bauen, Wohnen und Renovieren" u.a. Farben und Lacke, Dichtungsmassen, Tapeten oder Wärmedämmmaterialien auf toxische Inhaltsstoffe.

Aber auch seitens der Hersteller findet immer mehr ein Umdenken in Richtung "Ökologisches Bauen" statt. Dies betrifft zum einen einzelne Bauprodukte, wie z.B. die oben schon genannten Farben oder Dichtungsmassen, der werbewirksame Trend führt jedoch hin bis zum kompletten Gebäude (Niedrig-Energiehaus, 3-Liter-Haus, Swatch-Haus u.a.).

Wie kommt man jedoch vom Niedrig-Energiehaus zum Niedrig-Schadstoffhaus?

---

<sup>1</sup> Bei diesen Daten muss berücksichtigt werden, dass es sich nicht um rein statistische Werte handelt, sondern dass sie anhand der Auswertung zahlreicher Datenbanken, Studien und Statistiken zusammengestellt wurden. Dennoch können die Daten für das Jahr 1995 als annähernd reell angesehen werden.

Haben Verbraucher auf der Ebene des Einzelprodukts noch eine gewisse Entscheidungsmöglichkeit, so sind sie auf Ebene der Bauelemente oder gar Gebäude an der Entscheidungsfindung meist nicht mehr beteiligt. Die Auswahl von Baustoffen und -materialien bleibt dann Architekten und Planern vorbehalten. Für sie kann als hilfreiches Planungsinstrument die Ökobilanz dienen, eine umfassende, aber auch komplexe Methode zur Abschätzung der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebenszyklus. Ursprünglich nur zur Untersuchung der Herstellung und Entsorgung von kurzlebigen Produkten wie z.B. Verpackungen angewandt (Wittassek und Rudolphi 1998), wird das Einsatzfeld dieser Methode immer breiter bis hin zum Einbezug der Nutzungsphase, die bei langlebigen Produkten häufig relevant hinsichtlich der Umweltwirkungen ist.

Auch im Baubereich wurden schon auf verschiedenen Ebenen – von der Baustoffebene bis hin zu kompletten Gebäuden – Untersuchungen mit Hilfe der Ökobilanz durchgeführt. Der Fokus der Untersuchungen liegt jedoch hauptsächlich auf der Erfassung von Massen- und Energieströmen und der Abschätzung der damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt, z.B. Treibhauspotenzial oder Ressourcenverbrauch. Auswirkungen bezüglich der Humantoxizität spielen bisher kaum eine Rolle und beziehen sich überwiegend auf die toxischen Wirkungen von Luftschadstoffen, die z.B. während der Herstellung von Baustoffen emittiert werden.

Im Hinblick auf die Humantoxizität ist es aber genauso wichtig zu wissen, welche Schadstoffe sich in den Baumaterialien selbst befinden, da diese zum einen bei der Erstellung und beim Abriss von Gebäuden ein Gefährdungspotenzial für die Arbeiter bedeuten, die mit den Baustoffen in Kontakt kommen, andererseits während der Nutzungsphase z.B. durch Ausgasung von Schadstoffen in die Innenräume auch schädliche Folgen für die Bewohner der Gebäude haben können. Eine mengenmäßige Erfassung der in den Baustoffen enthaltenen Schadstoffe und eine Abschätzung der mit ihnen verbundenen Wirkungen bezüglich der Humantoxizität findet – meist aufgrund fehlender Daten zur Baustoffzusammensetzung – in den bisherigen Ökobilanzen jedoch nicht statt.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methode vorgestellt, mit deren Hilfe anhand zweier bereits durchgeführter Gebäudeökobilanzen beispielhaft eine Integration von Informationen zu den in den Baustoffen enthaltenen Schadstoffen erfolgt – sowohl in die Sachbilanz durch eine mengenmäßige Erfassung, als auch in die Wirkungsabschätzung, mit Hilfe eines neuen Berechnungsverfahrens für das Gefahrstoffpotenzial. Diese neue Methode bietet einige Vorteile gegenüber bereits bestehenden Berechnungsverfahren zur Humantoxizität, die ebenfalls erläutert werden. Mit Hilfe des vorgestellten Berechnungsverfahrens werden verschiedene Produktalternativen bezüglich ihres Gefahrstoffpotenzials verglichen und es wird schließlich anhand eines Worst- und Best-Case-Szenarios der Weg zum Niedrig-Schadstoffhaus aufgezeigt.

Im Folgenden wird jedoch zunächst die Methode der Ökobilanz näher beschrieben.

### 3 Überblick über Bilanzierungsinstrumente für Produkte und Dienstleistungen

In den letzten Jahren gewinnt die Einbeziehung des gesamten Produktzyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung bei der Betrachtung von Produkten und Dienstleistungen unter Umweltgesichtspunkten immer mehr an Bedeutung.

Für diese Lebenszyklusbetrachtung von Produkten und Dienstleistungen kommen prinzipiell zwei Methoden in Betracht – die Produktlinienanalyse und die Ökobilanz.

Mit Hilfe dieser beiden Instrumente ist es nach Eberle und Gießhammer (1996) möglich, ökologische Wirkungen entlang des gesamten Lebensweges (Produktlinie) eines Produktes zu analysieren, also bei der Entnahme und Aufbereitung von Rohstoffen, der Herstellung, bei Distribution und Transport, Gebrauch, Verbrauch und bei der Entsorgung. Es werden die längs des Lebensweges auftretenden Stoff- und Energieumsätze bilanziert und die daraus resultierenden Umweltbelastungen abgeschätzt. Die *Produktlinienanalyse* dehnt die in der Ökobilanz nur für den Umweltbereich erhobenen Daten auch auf die Bereiche Wirtschaft und Gesellschaft aus, indem sie zusätzlich zu den ökologischen auch die ökonomischen und sozialen Wirkungen eines Produktes analysiert. Zudem wird Nutzen eines Produktes in Form einer Kosten-Nutzen-Abwägung in die Betrachtung der Produktlinienanalyse einbezogen.

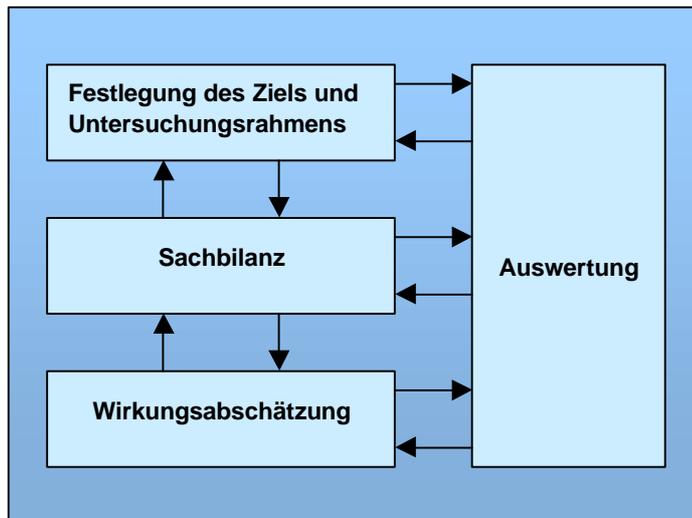
Die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit berücksichtigen allerdings keine sozialen und ökonomischen Wirkungen, sondern beziehen sich ausschließlich auf die Methode der Ökobilanz, die daher im Folgenden näher beschrieben wird.

#### 3.1 Ökobilanzen

Ökobilanz-Studien dienen zur systematischen und angemessenen Untersuchung der Umweltaspekte von Produkten und Dienstleistungen im Verlauf des Lebensweges, also von der Rohstoffgewinnung bis zur Beseitigung. Um eine Vereinheitlichung und damit auch Vergleichbarkeit von Ökobilanz-Studien zu gewährleisten, sind die einzelnen Bestandteile der Ökobilanz in folgenden Normen geregelt:

- DIN EN ISO 14040, Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen,
- DIN EN ISO 14041, Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz,
- DIN EN ISO 14042, Ökobilanz – Wirkungsabschätzung,
- DIN EN ISO 14043, Ökobilanz – Auswertung.

In Abbildung 1 sind die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Schritten *Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens*, *Sachbilanz*, *Wirkungsabschätzung* und abschließende *Auswertung* dargestellt. Diese Bestandteile der Ökobilanz werden in den folgenden Abschnitten erläutert.



**Abbildung 1: Bestandteile einer Ökobilanz (DIN 14040)**

### 3.1.1 Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens nach DIN 14041

Das Ziel einer Ökobilanz-Studie muss eindeutig den Grund für die Ausführung der Studie, die beabsichtigte Verwendung der Ergebnisse und die Zielgruppe, für die die Ergebnisse der Studie bestimmt sind, nennen.

Im Untersuchungsrahmen müssen u.a. folgende Kriterien fest definiert werden:

- Funktion des zu untersuchenden Systems (abhängig von den Zielen und vom Untersuchungsrahmen der Studie),
- funktionelle Einheit (eindeutig definierte und messbare Bezugsgröße, auf die In- und Outputdaten normiert werden, als Maß für den Nutzen des Systems),
- Systemgrenzen (Module, die in das zu untersuchende System aufgenommen werden, abhängig von der Anwendung der Studie, den getroffenen Annahmen und den Abschneidekriterien),
- Anforderungen an Daten und Datenqualität:
  - Zeitbezogener, geografischer oder technologischer Erfassungsbereich (Alter der Daten, regionale oder globale Daten, Stand der Technik),
  - Genauigkeit und Vollständigkeit der Daten,
  - Herkunft der Daten (z.B. Messung, Schätzung oder Berechnung),
  - Annahmen oder Einschränkungen bei der Datenerhebung.

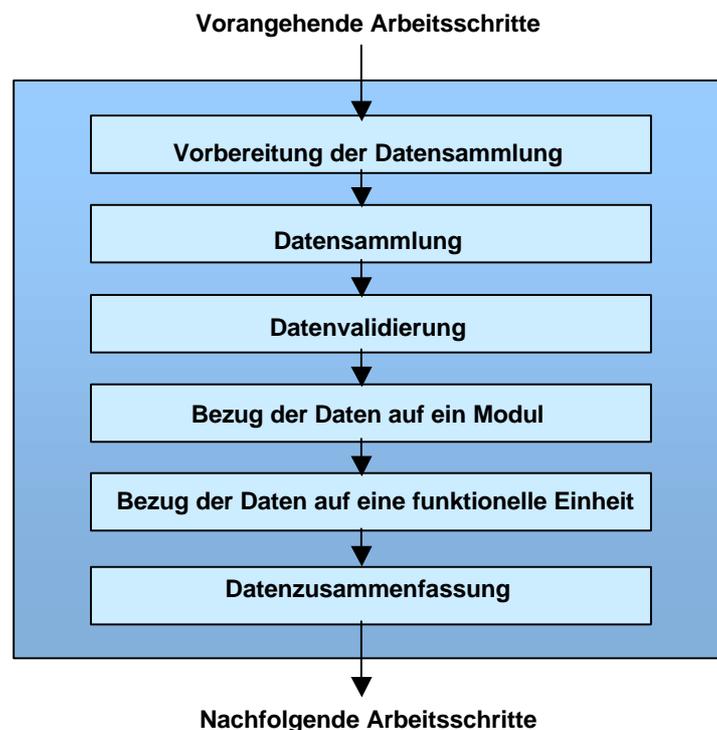
Diese Anforderungen können im Verlauf der Studie zwar noch modifiziert werden, sie sollten jedoch genau definiert werden, um die Breite und Tiefe der Studie hinreichend sicherzustellen.

### 3.1.2 Sachbilanz nach DIN 14041

Eine Sachbilanz besteht aus der Sammlung und Berechnung von Daten, mit denen die relevanten In- und Outputflüsse des Produktsystems quantifiziert werden. Diese Daten, zum Beispiel Ressourcenbeanspruchung oder Emissionen, bilden die Grundlage für die nachfolgende Wirkungsabschätzung und Auswertung.

Die qualitativen und quantitativen Daten müssen für jeden Prozess, der innerhalb der Systemgrenzen liegt, gesammelt werden. Die zur Aufbereitung der Daten und zur Berechnung der Komponenten des Systems verwendeten Rechenverfahren, aber auch Einschränkungen bei der Datensammlung sollten transparent dargestellt werden.

In Abbildung 2 werden die Arbeitsschritte dargestellt, die zur Ermittlung einer Sachbilanz ausgeführt werden sollten.



**Abbildung 2: Arbeitsschritte in einer Sachbilanz nach DIN 14041**

Die *Vorbereitung der Datensammlung* kann durch ein Systemfließbild erleichtert werden, das alle Module einschließlich der Wechselbeziehungen enthält, die berücksichtigt werden sollen. Die einzelnen Module sollten genau beschrieben werden, ebenso wie die Datensamm- lungs- und Berechnungsverfahren. Diese genaue Dokumentation ist bei der anschließenden *Datensammlung* hilfreich, um Doppelzählungen oder Lücken zu vermeiden.

Um aus den gesammelten Daten der Sachbilanz anwendbare Ergebnisse zu erhalten, sind Berechnungsverfahren erforderlich. Zunächst jedoch müssen die Daten z.B. mit Hilfe von Massen- oder Energiebilanzen überprüft werden (*Datenvalidierung*). Anschließend werden die quantitativen In- und Outputdaten für jedes Modul auf einen geeigneten Referenzfluss bezogen (z.B. 1 kg für Material oder 1 MJ für Energie). Durch *Bezug* aller In- und Outputdaten im System *auf die funktionelle Einheit* können die einzelnen Module miteinander verbunden und das gesamte System berechnet werden. Eine abschließende *Zusammenfassung von Daten* sollte nur erfolgen, wenn Datenkategorien vorhanden sind, die sich auf gleichwertige Stoffe oder ähnliche Umweltwirkungen beziehen.

### 3.1.3 Wirkungsabschätzung nach DIN 14042

In der dritten Phase der Ökobilanz, der Wirkungsabschätzung, sollen mit Hilfe der Sachbilanzergebnisse Informationen über die Umweltrelevanz des mit dem Produktsystem verbundenen Ressourcenverbrauchs und der Emissionen beurteilt werden. Um ausgewählte Umweltthemen, sogenannte Wirkungskategorien, beschreiben zu können, werden Wirkungsindikatoren verwendet, mit denen die Ergebnisse der Sachbilanz komprimiert und erläutert werden. Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung können wiederum als Grundlage für die letzte Phase der Ökobilanz, die Auswertung, dienen.

Die Wirkungsabschätzung muss gemäß DIN 14042 folgende Teilschritte enthalten (siehe Abbildung 3):



Abbildung 3: Verbindliche Bestandteile der Wirkungsabschätzung (DIN 14042)

Wahlweise können zusätzlich folgende Schritte ausgeführt werden (siehe Abbildung 4):



**Abbildung 4: Wahlweise Bestandteile der Wirkungsabschätzung (DIN 14042)**

Die *Auswahl der Wirkungskategorien, Indikatoren und Modelle* muss in Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz-Studie stattfinden. Die Wirkungskategorien müssen dabei einen umfassenden Satz von Umweltthemen widerspiegeln, die mit dem zu untersuchenden Produktsystem verbunden sind. Bei den meisten Ökobilanz-Studien werden bereits bestehende Wirkungskategorien, Indikatoren und Modelle ausgewählt. Häufig verwendete Wirkungskategorien sind nach Quack (2000) folgende:

- Ressourcenverbrauch (biotische und abiotische Ressourcen),
- Treibhauseffekt (Global Warming Potential, GWP),
- Ozonabbau (Ozone Depletion Potential, ODP),
- Versauerung (Acidification Potential, AP),
- Überdüngung (Nitrification Potential, NP),
- Photooxidantienbildung (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP),
- Humantoxizität,
- Ökotoxizität,
- Bodenbeanspruchung.

Andere Kategorien, wie beispielsweise Lärm, Geruchsbelästigung oder Strahlenbelastung, lassen sich derzeit noch nicht quantifizieren, so dass sie meist in Ökobilanzen nicht berücksichtigt werden.

<sup>2</sup> Verbindlich im Falle von vergleichenden Aussagen.

Die *Klassifizierung* dient der Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den ausgewählten Wirkungskategorien, wodurch die mit den Sachbilanzergebnissen verbundenen Umweltthemen hervorgehoben werden. Die Ergebnisse der Sachbilanz können sich dabei auch auf mehrere Wirkungskategorien beziehen.

Als *Charakterisierung* wird die Berechnung der Indikatorergebnisse bezeichnet, die in zwei Schritten erfolgt:

- Auswahl und Anwendung eines Charakterisierungsfaktors, um die zugeordneten Sachbilanzergebnisse in gemeinsame Einheiten umzuwandeln,
- Zusammenfassung der umgewandelten Sachbilanzergebnisse zum Indikatorergebnis.

Wie schon bei den Wirkungskategorien werden auch bei den Wirkungsindikatoren in den meisten Ökobilanz-Studien bereits bestehende Modelle ausgewählt, beispielsweise CO<sub>2</sub>-Äquivalente zur Charakterisierung des Treibhauseffekts oder SO<sub>2</sub>-Äquivalente bei der Wirkungskategorie Versauerungspotenzial. Sofern die vorhandenen Modelle jedoch nicht genügen, um das festgesetzte Ziel und den Untersuchungsrahmen zu erfüllen, müssen neue Modelle definiert werden.

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen verbindlichen Bestandteilen der Wirkungsabschätzung handelt es sich bei den folgenden Arbeitsschritten um wahlweise Bestandteile:

Bei der *Normierung* wird die Höhe der Wirkungsindikatorergebnisse im Verhältnis zu einem oder mehreren Referenzwert(en) berechnet, d.h. die Indikatorergebnisse werden durch einen ausgewählten Referenzwert geteilt. Dieser Schritt kann zum Beispiel als Vorbereitung für eine Ordnung, Gewichtung oder Auswertung der Ergebnisse dienen.

Die *Ordnung* teilt Wirkungskategorien in eine oder mehrere Klassen ein. Man kann dabei zwischen Einordnung und Rangbildung unterscheiden. Einordnung von Wirkungskategorien bedeutet beispielsweise die Unterscheidung nach Ressourcen und Emissionen oder in globale, regionale und lokale Maßstäbe. Bei der Rangbildung werden hingegen Hierarchien gebildet, zum Beispiel hohe, mittlere und niedrige Priorität. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Rangbildung auf individuellen Werthaltungen beruht, also durchaus zu verschiedenen Ergebnissen führen kann.

Bei der *Gewichtung* werden die Indikatorergebnisse unter Verwendung numerischer Faktoren umgewandelt, die wiederum auf Werthaltungen beruhen. Es bestehen zwei Möglichkeiten der Gewichtung:

- Umwandlung der Indikatorergebnisse oder der normierten Ergebnisse mit ausgewählten Charakterisierungsfaktoren,
- eventuelle Zusammenfassung dieser umgewandelten Indikatorergebnisse oder normierten Ergebnisse über die Wirkungskategorien hinweg.

Wie schon bei der Ordnung können individuelle Werthaltungen auch bei der Gewichtung zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Daher müssen die angewandten Gewichtungsverfahren vollständig transparent dargestellt werden.

Die *Analyse der Datenqualität* soll schließlich die Signifikanz, Ungenauigkeit und die Sensitivität der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung besser verständlich machen.

Der Schritt der Wirkungsabschätzung in einer Ökobilanz-Studie kann beispielsweise dazu dienen, Verbesserungsmöglichkeiten in einem Produktsystem aufzuzeigen, oder ein Produktsystem und seine Module über die Zeit zu charakterisieren und gegenüberzustellen. Auch Verhältnis-Vergleiche zwischen verschiedenen Produktsystemen in Bezug auf ausgewählte Wirkungsindikatoren sind denkbar.

### 3.1.4 Auswertung nach DIN 14043

In der Endphase des Ökobilanz-Verfahrens werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz-Studie zusammengefasst. Dies bildet dann die Grundlage für Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

In der Auswertung werden die Ergebnisse aus der Sachbilanz und/oder der Wirkungsabschätzung systematisch identifiziert, charakterisiert, überprüft und beurteilt. Diese Informationen werden in Übereinstimmung mit dem festgesetzten Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz-Studie zur Anwendung der Ergebnisse dargestellt. Anwendungsmöglichkeiten können beispielsweise Information (Dokumentation bestehender Produktsysteme) oder Optimierung (Einführung von Veränderungen für bestehende Produktsysteme oder Einführung eines neuen Produktsystems) sein. Die Auswertungsphase einer Ökobilanz-Studie umfasst drei Bestandteile:

1. Identifizierung der signifikanten Parameter auf Grundlage der Ergebnisse aus den beiden Phasen Sachbilanz und Wirkungsabschätzung der Ökobilanz,
2. Beurteilung (Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfungen),
3. Schlussfolgerungen, Empfehlungen und Bericht über die signifikanten Parameter.

Die Bestandteile der Auswertung sowie die Beziehung der Auswertungsphase zu den anderen Phasen der Ökobilanz sind in Abbildung 5 dargestellt.

Die *Identifizierung signifikanter Parameter* dient dazu, in Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung zu strukturieren und die signifikanten Parameter zu bestimmen. Signifikante Parameter können beispielsweise Sachbilanzgrößen (Energieverbrauch, Emissionen, Abfall etc.), Wirkungsindikatoren (Ressourcenverbrauch, Treibhauseffekt etc.), aber auch wesentliche Beiträge von Lebenswegabschnitten zu den Ergebnissen der Sachbilanz oder Wirkungsabschätzung sein.

Die *Beurteilung* soll Vertrauen in das Studienergebnis und seine Zuverlässigkeit in die signifikanten Parameter bilden sowie dem Auftraggeber einen verständlichen Überblick über das Resultat der Studie ermöglichen. Folgende drei Verfahren sollten zur Beurteilung durchgeführt werden: Vollständigkeitsprüfung, Sensitivitätsprüfung und Konsistenzprüfung.

Mit der *Vollständigkeitsprüfung* wird sichergestellt, dass alle relevanten Informationen und die für die Auswertung benötigten Daten zur Verfügung stehen und vollständig sind. Die *Sensitivitätsprüfung* soll eine Einschätzung über die Zuverlässigkeit der Ergebnisse liefern, indem abgeschätzt wird, ob die Schlussfolgerungen durch Unsicherheiten zu den signifikanten Parametern beeinflusst werden können. Die *Konsistenzprüfung* bestimmt schließlich, ob die Annahmen, Methoden und Daten mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen übereinstimmen.

Im letzten Schritt der Auswertung werden *Schlussfolgerungen* abgeleitet und *Empfehlungen* für die Zielgruppe der Ökobilanz-Studie ausgesprochen.

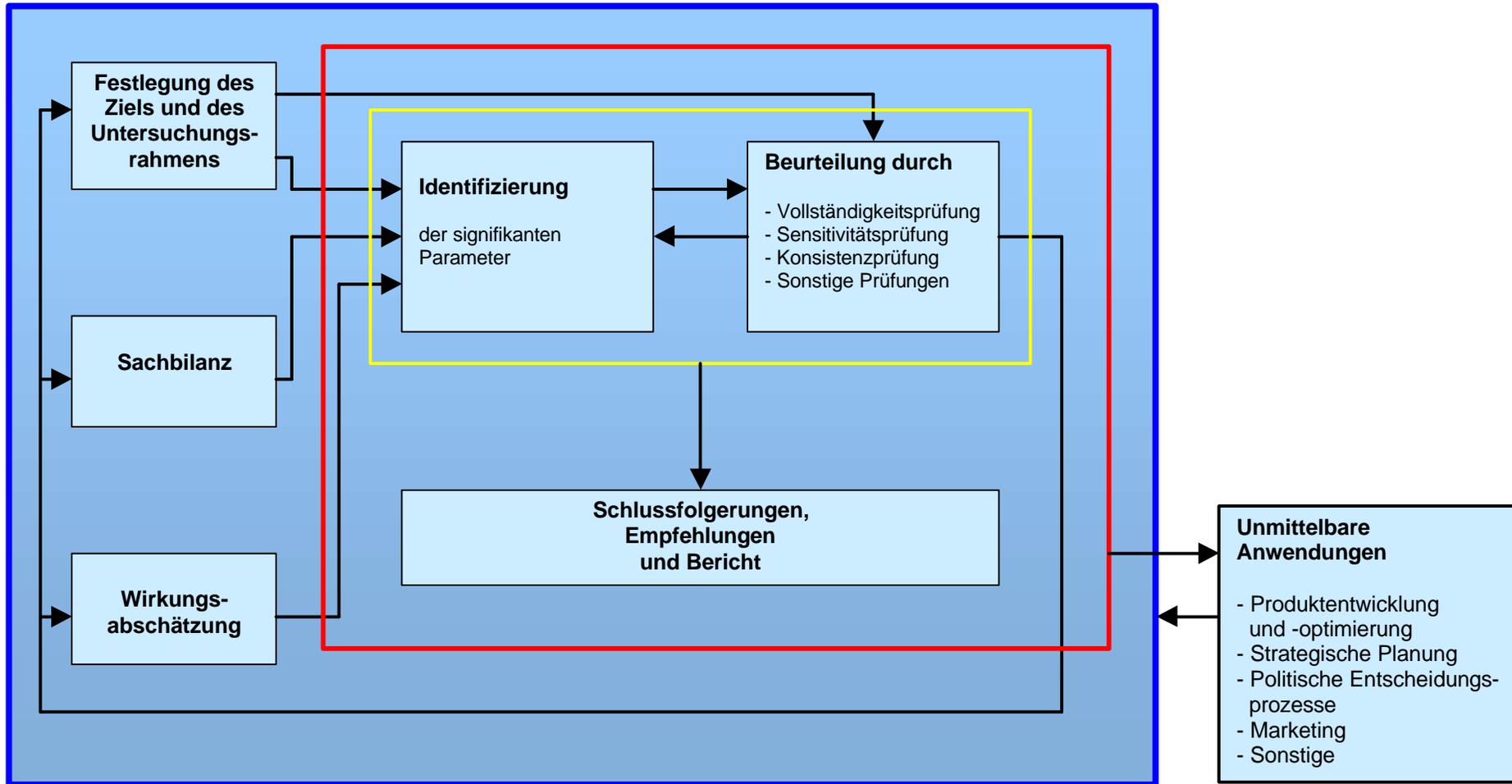


Abbildung 5: Beziehungen der Bestandteile in der Auswertungsphase zu anderen Phasen der Ökobilanz (DIN 14043)

### 3.2 Ökobilanzen im Baubereich

Im Baubereich ist die Methode der Ökobilanz, die in den vorigen Abschnitten ausführlich erläutert wurde, nach Quack (2000) prinzipiell auf drei verschiedenen Ebenen sinnvoll anwendbar: auf Baustoff-, Bauelement- und Gebäudeebene. Diese drei Ebenen unterscheiden sich sowohl in der funktionellen Einheit (vergleiche Seite 19), in den einbezogenen Lebensphasen als auch in den Zielsetzungen, die mit der Bilanz verfolgt werden sollen.

Die Ergebnisse der Bilanzierung auf Baustoffebene dienen vor allem der Prozessoptimierung und dem Produktvergleich, die Ebenen der Bauelemente und der Gebäude sind hingegen eher für die an Planungsprozessen Beteiligten geeignet. In Tabelle 1 sind die möglichen Ebenen der Anwendung von Ökobilanzen im Baubereich dargestellt.

**Tabelle 1: Mögliche Anwendungsebenen von Ökobilanzen im Baubereich nach Quack (2000)**

Ebene 1: Baustoffe	Ebene 2: Bauelemente	Ebene 3: Gebäude
<b>Funktionelle Einheit:</b>		
z.B. kg Baustoff	z.B. m <sup>2</sup> Bauelement	z.B. m <sup>2</sup> Wohnfläche
<b>In der Regel berücksichtigte Lebenswegphasen:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion</li> <li>• Materialverwertung und Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion</li> <li>• Instandhaltung des betrachteten Bauteils</li> <li>• Bauteilverwendung</li> <li>• Materialverwertung und Entsorgung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neubau</li> <li>• Erneuerung</li> <li>• Nutzung</li> <li>• Entsorgung</li> </ul>
<b>Zielsetzung:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozessoptimierung für Hersteller</li> <li>• Produktvergleich für Kunden</li> <li>• Datengrundlage für die Ebenen 2 und 3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahlhilfe für Entscheidungsträger im Bauplanungsprozess, z.B. in Form von Bauelementekatalogen</li> <li>• Datengrundlage für die nächsthöhere Ebene</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entscheidungshilfe für Planende mit dem Ziel einer Gesamtoptimierung des Gebäudes</li> </ul>
<b>Beispiele durchgeführter Studien:</b>		
BUWAL (1992), ifib et al. (1995)	Wittassek und Rudolphi (1998)	Quack (2000), Kohler et al. (1994), Steinle und Lalive d'Epina y (1999)

### 3.2.1 Ökobilanzen auf Ebene der Baustoffe

Auf Ebene der Baustoffe sind bereits zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Die Ergebnisse können oftmals wiederum als Datengrundlage für Ökobilanzen auf der Ebene von Bauelementen oder Gebäuden dienen.

Aufgrund der Diskussion über Innenraumbelastungen durch Anstriche wurden bereits 1992 von einem schweizerischen Projektteam verschiedene Anstrichstoffe untersucht (BUWAL 1992). Es wurde eine Methode zur vergleichenden ökologischen Bewertung von Anstrichstoffen im Baubereich entwickelt. Ziel war es, mit dieser Methode verschiedene Anstrichstoffe miteinander vergleichen und das Produkt mit den geringsten Umweltbelastungen auswählen zu können. Dazu wurden sowohl Umweltbelastungen während der gesamten Prozesskette, als auch anwendungsbezogene Parameter für Ausgiebigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Lebensdauer (z.B. Deckfähigkeit, Waschbeständigkeit, Vergilbung) erfasst.

Die Erfassung der Umweltbelastungen während der Herstellung wurde mit Hilfe der Ökobilanz-Methode durchgeführt, wobei unter Ökobilanz nach BUWAL (1992) die Beschreibung und Auflistung von Belastungen der Umwelt, vor allem der Belastungen in Luft und Wasser verstanden wurde. Zusätzlich wurden der Energiebedarf und das Abfallaufkommen berücksichtigt. Belastungen, die bei der Applikation (Verabreichung) und dem späteren Gebrauch entstehen, wurden durch toxikologische, arbeitshygienische, lufthygienische und ökotoxikologische Parameter dargestellt.

Für verschiedene Belastungsarten wurden ökologische Kenndaten der Anstrichstoffe berechnet. Diese wurden anschließend einer Gewichtung unterzogen, nach einem von dem Projektteam festgelegten Bewertungsschlüssel, der sich an der Umweltbelastung bestimmter Referenzstoffe, der technischen Machbarkeit oder einer Zielvorgabe orientierte. Daraus resultierten dimensionslose Belastungszahlen, die einen direkten Vergleich der Belastungen untereinander ermöglichten. Abschließend wurde die Summe der Belastungszahlen eines Produktes berechnet, die sogenannte Produkt-Belastungszahl, mit deren Hilfe die vergleichende ökologische Bewertung der Produkte erfolgte.

Diese Arbeit, deren Ergebnisse 1992 herausgegeben wurden, enthält bereits einige Elemente der aktuellen Ökobilanz-Norm, beispielsweise wurden die Systemgrenzen ausführlich dargestellt. Dennoch hebt sich die Arbeit deutlich von der heutigen Ökobilanz-Methode ab, in der eine Zusammenfassung verschiedener Belastungen und anschließende Bewertung vollständig entfällt. Aus heutiger Sicht handelt es sich daher um einen veralteten, aber historisch interessanten Ansatz.

Mangelhafte Qualität der bis dato vorliegenden Daten für Baustoffe war Anfang der neunziger Jahre der Anlass für ein Projektteam – u.a. bestehend aus dem Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) Karlsruhe, der Hochschule für Architektur und Bauwesen (HAB) Weimar, der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich –, Sachbilanzen zur Herstellung der wichtigsten Baustoffe zu erfassen (ifib et al. 1995). Die Erhebung der sogenannten Ökoinventare erfolgte u.a. für Baustoffe aus den Materialklassen Massivbaustoffe (z.B. Zement, Beton), Mörtel und Putze, Holzwerkstoffe, Metallbaustoffe (z.B. Stahl- und Kupferbleche), Dichtungsbahnen und Holzwolle-Leichtbauplatten.

In der Studie wurden der Herstellungsprozess und die Emissionen erfasst sowie die mengenmäßig wichtigsten und bezüglich der Emissionen relevanten Baumaterialien bilanziert. Die Erfassung der Emissionen (prozess-, feuerungs- und transportbedingt) erfolgte von der Ressourcengewinnung über den Transport und die Herstellung der bilanzierten Baustoffe. Erneuerung, Betrieb und Entsorgung (Wiederverwertbarkeit und Deponierbarkeit aller Materialien) wurden wenn möglich qualitativ erfasst.

Neben allgemeinen technischen Daten (Dichte, Wärme-, Dampfleitfähigkeit u.a.) wurden zusätzlich die Inhaltsstoffe der untersuchten Bauprodukte charakterisiert. Für den Gesamtprozess, der die Teilprozesse Herstellung (Energieverbrauch, Transporte, Flächenbeanspruchung, Emissionen), Verarbeitung und Entsorgung beinhaltet, wurden die materiellen und energetischen In- und Outputs ausgewiesen und abschließend die Daten zur Wirkungsabschätzung berechnet. In der Studie wurden die bilanzierten Emissionen und Ressourcen den Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung, photochemische Oxidation, Überdüngung, Human- und Ökotoxizität sowie Abwärme zugeordnet. Als weitere Kriterien wurden der Verbrauch erneuerbarer und nicht erneuerbarer energetischer Ressourcen und die radioaktive Strahlung radioaktiver Substanzen hinzugezogen.

Mit Hilfe dieser Studie werden umfangreiche Datensätze zur Herstellung von Baustoffen, zur Energiebereitstellung sowie zu Transport- und Entsorgungsprozessen geliefert, die eine ökologische Bewertung von Gebäuden und Bauelementen erleichtern soll.

### 3.2.2 Ökobilanzen auf Ebene der Bauelemente

Auf Ebene der Bauelemente wurde beispielsweise Mitte der neunziger Jahre eine umfangreiche Studie erstellt (Wittassek und Rudolphi 1998). Vor dem Hintergrund der Diskussion über die Umweltauswirkungen von PVC-Produkten sollte im Auftrag des Umweltbundesamtes mit Hilfe der Ökobilanz-Methode ein Vergleich von Bauprodukten aus unterschiedlichen Materialien durchgeführt werden, um zu Bewertungen und Optimierungsentscheidungen zu kommen. Die Fallbeispiele sollten im Hinblick auf die Möglichkeit ausgewertet werden, unter ökologischen Gesichtspunkten materialbezogene Prioritäten zwischen PVC-Produkten und Produkten aus anderen Materialien zu bilden. Als Fallbeispiele wurden Fenster, Fußbodenbeläge und Dachbahnen ausgewählt, als Materialalternativen der Bauprodukte wurden Kunststoffe, nachwachsende und mineralische Rohstoffe sowie Metall untersucht (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Untersuchte Fallbeispiele der Bauteil- und Materialvarianten (Wittassek und Rudolphi 1998)**

Bauteil	Bauproduktalternativen	Stoffgruppe des namengebenden Hauptmaterials
<b>Fenster</b>	PVC-Fenster	Kunststoff
	Holzfenster	Nachwachsender Rohstoff
	Aluminiumfenster	Metall
<b>Bodenbelag</b>	Homogener kalandrierter PVC-Belag	Kunststoff
	Polyolefinbelag	Kunststoff
	Linoleumbelag	Nachwachsender Rohstoff
	Keramische Bodenfliese	Mineralischer Rohstoff
<b>Dachdichtung</b>	PVC-Dachbahn	Kunststoff
	Polyisobutendachbahn	Kunststoff

Für die Bauteile und Bauproduktalternativen wurde die Sachbilanz ermittelt und anschließend der Energieverbrauch (entsprechend CO<sub>2</sub>-Emission) unter Einbezug der Nutzungsphase quantitativ abgeschätzt.

Eine Wirkungsabschätzung im Hinblick auf z.B. toxikologische oder ökotoxikologische Parameter wurde in der Studie aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht durchgeführt. Nach Prof. Dr. Walter Klöpffer, der die Studie einer kritischen Beurteilung unterzogen hat, darf man aber gerade beim Vergleich von Produkten aus PVC (das unter dem Gesichtspunkt von Energie und Ressourcen in der Studie relativ gut abschneidet) mit Produkten aus anderen Materialien diese Parameter nicht ausklammern (Wittassek und Rudolphi 1998, S. 7).

### 3.2.3 Ökobilanzen auf Ebene der Gebäude

Ein früherer Ansatz im Hinblick auf die Ökobilanzierung von Gebäuden wird durch die Studie von Kohler et al. (1994) geliefert. In dieser Studie wurden die Energie- und Stoffflüsse von Gebäuden während ihrer Lebensdauer anhand der Daten von ca. einhundert Gebäuden simuliert. Während die geometrischen Daten und Konstruktionsbeschreibungen aus realen Gebäudebeschreibungen entnommen sind, stammen die Daten zu den einzelnen Bauelementen der Gebäude aus dem sogenannten Elementkatalog in der Elementkostengliederung der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) in Zürich.

Ursprünglich als einheitliche Basis für Kostenermittlungen und -auswertungen in der Planungsphase gedacht, dient die Elementkostengliederung ebenso der mengenmäßigen Darstellung und Analyse von Bauobjekten in den Phasen der Planung, Realisierung, Nutzung oder des Unterhalts von Gebäuden. In dem Elementkatalog werden derzeit ca. 500 Bauelemente nach bestimmten Elementgruppen (z.B. Rohbau Gebäude, Ausbau Gebäude, Installationen etc.) gegliedert. Es erfolgen weitere Unterteilungen und Konkretisierungen der Elemente je nach Ausführungsart (CRB 1991).

Mit Hilfe der realen Daten und der Angaben zu den Elementen aus dem Elementkatalog wurden in der Studie von Kohler et al. (1994) sogenannte Typengebäude geschaffen, an denen dann in verschiedenen Szenarien alternative Bautechniken simuliert wurden. So wurde beispielsweise ein Typengebäude aus Stahl analog mit den Daten für Stahlbeton und für Mauerwerk mit Betondecken berechnet.

Im Weiteren wurden diese Typengebäude mit Standardmaßnahmenpaketen energetisch verbessert. Ausgangspunkt war das reale Gebäude, dessen Energieverbrauch in vielen Fällen bekannt war. Für den ersten Verbesserungsschritt wurden die Wärmedämmung und die Wirkungsgrade verbessert, im nächsten Schritt wurden Fenster, Wärmedämmung und Wirkungsgrade nochmals verbessert und eine Wärmerückgewinnungsanlage sowie Solarkollektoren für die Warmwasseraufbereitung „virtuell“ eingebaut. Abschließend wurden im letzten Schritt zusätzlich noch aktive Solarelemente für die Heizung sowie Saisonspeicher eingebaut, um die Gebäude fast autark zu gestalten.

In der Simulation wurden verschiedene Kriterien zur Wirkungsabschätzung verwendet. Sie teilen sich in die drei Gruppen Ressourcenverbrauch (z.B. Wasseraufwand, Energieäquivalent), Abfallflüsse (z.B. Abfälle in Inertstoff-, Reststoff- oder Reaktordeponie, Sonderabfälle, recycelte Abfälle) und aggregierte Emissionen (z.B. Treibhauseffekt, Säurebildung) auf.

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss der Gebäude in diesen verschiedenen Wirkungskategorien im Allgemeinen abzuschätzen, sowie Referenzwerte pro Gebäudetyp und Elementgruppe zu erhalten.

Ein weiteres Projekt im Bereich Gebäudeökobilanzen wurde 1996/97 vom Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP), Uni Stuttgart, in Zusammenarbeit mit sieben Fertighausunternehmen durchgeführt<sup>3</sup>.

Ziel dieses Verbundprojektes „Ganzheitliche Bilanzierung von Produktion und Konstruktion im Fertighausbau“ war die Erfassung ökologischer und ökonomischer Kennzahlen für die Produktion und Konstruktion von Fertighäusern. Mit Hilfe dieser Daten sollte anschließend ein EDV-gestütztes Entscheidungswerkzeug geschaffen werden, mit dem sowohl einzelne Konstruktionen als auch komplette Gebäude ganzheitlich<sup>4</sup> bewertet werden können.

Die Datenaufnahme erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde für den Produktionsprozess in den beteiligten Unternehmen der Ist-Zustand ermittelt. Dazu wurden sämtliche Stoff- und Energieströme erfasst, die im Laufe einer Bezugsperiode in den jeweiligen Betrieben angefallen sind. Parallel zur Datenaufnahme im Produktionsprozess verlief die Datenaufnahme im konstruktiven Bereich, in dem für Wand-, Dach- und Deckenfertigung die Ökobilanzdaten sämtlicher in den Unternehmen verwendeten Regelkonstruktionen ermittelt wurden.

Auf Grundlage dieser Daten wurde die Software *build it* entwickelt, mit deren Hilfe existierende bzw. geplante Konstruktionen sowie Gebäude abgebildet und ausgewertet werden können. Basierend auf einer Datenbank, in der die ökologischen Profile der im Fertigbau relevanten Werkstoffe sowie die firmenspezifischen Verarbeitungsprozesse hinterlegt sind, werden auf Ökobilanzdaten gestützte Auswertungen für einzelne Konstruktionen bzw. für gesamte Gebäude berechnet. Als Auswertungsgrößen werden u.a. der Ressourcenverbrauch, der Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP) und der Beitrag zur Bodenversauerung (AP) herangezogen. Zusätzlich zu den ökologischen Kennzahlen werden die Herstellkosten der Konstruktion bzw. des Gebäudes ermittelt.

Mit Hilfe dieser Software lassen sich also Ökobilanzen für den Herstellungsprozess, für verwendete Baustoffe und zusätzlich sogar für die thermische Nutzung von Gebäuden ermitteln. Des Weiteren kann man einzelne Konstruktionen (z.B. Außenwände) direkt miteinander vergleichen. Damit bietet das Programm auch die Möglichkeit, Konstruktionen ökologisch zu optimieren.

---

<sup>3</sup> Quelle: <http://www.ikpgabi.uni-stuttgart.de/arbgeb/aud/Fertigbau.htm> vom 12.01.00.

<sup>4</sup> Der Begriff „ganzheitliche Bewertung“ ist hier im Sinne von IKP mit „ökologischer, ökonomischer und technischer Bewertung“ gleichzusetzen.

Ein aktuelles Beispiel für eine umfangreiche Ökobilanzierung von Wohngebäuden bietet die Dissertation von Quack (2000). In dieser Studie wurden anhand eines konkreten Fallbeispiels die Umweltauswirkungen auf dem Lebensweg von Wohngebäuden untersucht und Ansatzpunkte für Optimierungsmaßnahmen ermittelt. Als methodischer Ansatz wurde dabei die Produktökobilanz verwendet. Als Fallbeispiel wurden sechs Doppelhäuser ausgewählt, die sich 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. 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 charakteristisch für die in Deutschland aktuell neu gebauten Gebäude diesen Typs. Während der Energiestandard im Referenzhaus 98 kWh/m<sup>2</sup>a beträgt, besitzen die übrigen Varianten Niedrigenergiestandard (34 bis 52 kWh/m<sup>2</sup>a). Es handelt sich um zwei einschalige Porenbetonhäuser, ein außengedämmtes Kalksandsteinhaus, ein kerngedämmtes Leichtbetonhaus und einen Holzständerbau.

Die vergleichende Ökobilanz der Gebäude sollte Schwerpunkte und Unterschiede der Umweltbelastungen der untersuchten Gebäude hinsichtlich der Lebenswegphasen (Erstellung, Renovierung, Nutzung und Abriss) und der Bauelemente, aus denen die Gebäude zusammengesetzt sind, ermitteln. Die Ökobilanz wurde mit Hilfe des Programms ECOPRO<sup>5</sup> durchgeführt, das auf der Grundlage der vom Anwender zu den jeweiligen Gebäudevarianten eingegebenen Daten die Ökobilanz erstellt. Dabei besteht insofern eine Einschränkung des Programms, dass die Sachbilanz dem Anwender nicht zur Verfügung steht. Hingegen lässt sich anhand von insgesamt 23 zur Verfügung stehenden Wirkungskategorien die Wirkungsabschätzung berechnen. Im Fallbeispiel wurden unter anderem die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung, Ozonabbau, Überdüngung sowie Sommer- und Wintersmog berücksichtigt. Auch die Kategorien Karzinogene Substanzen und Schwermetalle wurden einbezogen, beziehen sich jedoch lediglich auf Luftschadstoffemissionen und nicht auf Schadstoffe, die direkt in den Baustoffen bzw. -materialien enthalten sind.

Die für die sechs verschiedenen Häuser erstellte Wirkungsabschätzung ergibt, dass für die meisten einbezogenen Kriterien die Nutzungsphase die wichtigste Quelle der Belastung ist, während sich die Umweltbelastungen der übrigen Phasen (Neubau, Erneuerung, Entsorgung) nur unwesentlich unterscheiden. Es konnte für diese Phasen weder eine Korrelation zwischen dem jeweiligen Energiestandard und der Höhe der Umweltbelastungen noch eine Korrelation zwischen Stofffluss oder Wohnfläche und der Höhe der Umweltbelastungen festgestellt werden.

---

<sup>5</sup> ECOPRO ist ein auf Excel-Basis entwickeltes Computerprogramm zur Erstellung von Gebäudeökobilanzen, das durch das Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib) in Karlsruhe entwickelt wurde (Quack, 2000).

Im Rahmen eines Projektes an der ETH Zürich soll jetzt in einem weiterführenden Schritt versucht werden, die Ergebnisse bereits bestehender Gebäudeökobilanzen in einem Datenkatalog zusammenzufassen (Steinle und Lalive d'Épinay 1999). Ziel ist es, die Umweltbelastungen von Gebäuden schon im frühen Planungsstadium abschätzen zu können. In diesem Projekt wurde daher anhand bestehender Gebäudeökobilanzen ein erster Entwurf für einen sogenannten Bau-Umweltbelastungskennwerte-Katalog (BUKK) entwickelt. Dazu wurden europaweit Ökobilanzen von neun Büro-, zwei Schul- und acht Wohngebäuden zusammengetragen, so weit wie möglich vereinheitlicht und analysiert.

Schwierigkeiten bei der Vereinheitlichung ergaben sich vor allem durch unterschiedliche Methoden der Erfassung und Wirkungsabschätzung bei den bisher durchgeführten Ökobilanzen. Des Weiteren kann die durch Gebäude verursachte Umweltbelastung je nach Standort sehr verschieden ausfallen, in Abhängigkeit des dort herrschenden Klimas, der vorhandenen Energien oder der Verfügbarkeit von Materialien. Auch die Materialwahl, also der Einsatz verschieden umweltverträglicher und/oder verschieden dauerhafter Materialien, kann zu abweichenden Umweltbelastungen von Gebäuden gleicher Funktion führen. Um Unterschiede bezüglich Funktion, Lebensdauer, Ausbaustandard etc. berücksichtigen zu können, sollten die erfassten Objekte daher möglichst präzise charakterisiert werden.

Dennoch konnten einige generelle Aussagen zur Umweltbelastung durch Gebäude gemacht und für einige Wirkungskategorien die je nach Gebäudetyp ungefähr zu erwartenden Umweltbelastungen angegeben werden. So wurden z.B. die Umweltwirkungen der Wohngebäude – gegliedert nach den Lebensphasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung – in den vier Wirkungskategorien Treibhaus-, Versauerungs-, Überdüngungspotenzial sowie Primärenergiebedarf miteinander verglichen. Derselbe Vergleich wurde für die Bürogebäude und Schulhäuser durchgeführt. Neben der Gliederung nach Lebensphasen fand zudem eine Gliederung nach Elementgruppen (Dächer, Wände, Decken, Fenster/Türen, Haustechnik) statt.

Mit diesen vorhandenen Datensätzen können beispielsweise Resultate von neu erstellten Ökobilanzen relativ einfach eingeordnet und verglichen werden. Ziel eines Bau-Umweltbelastungskennwerte-Katalogs soll es aber letztendlich sein, die Einschätzung der Umweltbelastungen durch Gebäude in deren frühen Planungsphase stark zu erleichtern. Denn während in der Planungsphase festgestellte Umweltbelastungen von Gebäuden noch korrigierbar sind, ist eine nachträgliche Änderung nach Erstellung des Gebäudes meist nicht mehr durchführbar oder aber mit sehr hohen Kosten verbunden.

Um langfristig zu vergleichbaren Daten zu gelangen, ist allerdings eine vollständige Standardisierung der Gebäudeerfassung (Systemgrenzen, Detaillierungsgrad) und der Ökobilanzierung (Verknüpfung mit Inventardaten, Auswertung, gewählte Wirkungskategorien) erforderlich.

### 3.3 Integration von schadstoffbezogenen Bilanzierungen in Gebäudeökobilanzen

In den vorigen Abschnitten wurden einige Beispiele für Ökobilanzen im Baubereich vorgestellt, sowohl für einzelne Baustoffe und -elemente als auch für Gebäude. In Ökobilanzen werden die längs des Lebensweges auftretenden Stoff- und Energieumsätze bilanziert sowie die daraus resultierenden Umweltwirkungen abgeschätzt. Diese werden wiederum in verschiedene Wirkungskategorien zusammengefasst.

Das Hauptaugenmerk in den bis heute durchgeführten Gebäudeökobilanzen liegt dabei jedoch auf dem Energiebedarf sowie den damit verbundenen Emissionen und deren Umweltwirkungen. Eine Erfassung der in den Baustoffen vorhandenen Schadstoffe wird – meist aufgrund fehlender Daten zur Zusammensetzung der Produkte – bislang nicht vorgenommen. Die Wirkungskategorien, die zur Abschätzung der Umweltwirkungen herangezogen werden, sind daher nur auf die durch Emissionen freigesetzten Schadstoffe (Luftschadstoffemissionen) bezogen, nicht jedoch auf die Schadstoffe, die direkt in den Baustoffen enthalten sind. Es findet derzeit auf ökobilanzieller Ebene keine Quantifizierung statt, welche Schadstoffmengen bei der Errichtung, dem Erhalt, der Sanierung bzw. dem Abriss von einzelnen Haustypen vorhanden sind.

In der vorliegenden Arbeit werden daher die Sachbilanzen von zwei bereits durchgeführten Gebäudeökobilanzen um die Ebene der Schadstoffe in den Baustoffen ergänzt. Neben der Betrachtung von zwei verschiedenen Gebäudevarianten werden zusätzlich verschiedene Produkte bezüglich ihrer Inhaltsstoffe untersucht. Die Schadstoffe werden in der anschließenden Wirkungsabschätzung innerhalb der Wirkungskategorie Humantoxizität dem Gefährdungspotenzial zugeordnet.

Des Weiteren wird eine neue Methode vorgeschlagen, mit deren Hilfe das Wirkungspotenzial der einzelnen Schadstoffe berechnet werden kann. In zwei Szenarien (Best Case und Worst Case) werden abschließend die beiden unterschiedlichen Gebäudevarianten verglichen. Im Best-Case-Szenario werden nur Produkte mit dem niedrigsten Schadstoffgehalt, im Worst-Case-Szenario hingegen nur Produkte mit dem höchsten Schadstoffgehalt eingesetzt.

Im Folgenden werden zunächst die beiden ausgewählten Gebäude sowie die Baustoffe, die aufgrund ihres Gefährdungspotenzials in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, vorgestellt.

## 4 Auswahl der Gebäudevarianten

In der vorliegenden Arbeit werden zwei verschiedene Gebäude miteinander verglichen, die sich hinsichtlich Grundriss und Größe sehr ähnlich sind, sich aber bezüglich Konstruktion und Material unterscheiden. Der wesentliche Unterschied der beiden ausgewählten Gebäudevarianten besteht in ihrer Bauweise: Während das eine Gebäude (im Folgenden *Referenzhaus*) in konventioneller Bauweise (Ziegel) gefertigt wurde, wurde das andere Gebäude (im Folgenden *Holzhaus*) in Holzständerbauweise erstellt. Bei den beiden Gebäuden handelt es sich um zwei von insgesamt sechs Doppelhäusern, die in der Dissertation von Quack (2000) bereits bezüglich der Umweltauswirkungen auf ihrem Lebensweg untersucht wurden (siehe Kapitel 3.2.3, Seite 33).

Ursprünglich wurden diese sechs Gebäude im Rahmen des „*Demonstrationsprojekts Niedrigenergiehäuser Heidenheim*“ erstellt, das Anfang der neunziger Jahre unter wissenschaftlicher Begleitung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik durchgeführt wurde (Reiß und Erhorn 1994). In diesem Projekt wurden fünf Niedrigenergiehäuser und ein weiteres, konventionell erstelltes Doppelhaus hinsichtlich des Energieverbrauchs und verschiedener Anlagetechniken beurteilt. Das konventionell erstellte Gebäude diente dabei bezüglich des Heizenergieverbrauchs als Referenzobjekt. Im Folgenden werden die beiden ausgewählten Gebäude kurz vorgestellt.

### 4.1 Beschreibung der ausgewählten Gebäudevarianten

#### 4.1.1 Referenzhaus

Die Südansicht des Doppelhauses ist in Abbildung 6, ein Schnitt des Gebäudes in Abbildung 7 dargestellt. Das Referenzhaus ist in konventioneller Bauweise erstellt. Die 30 cm dicken Umfassungswände sind in Leichtziegelmauerwerk ausgeführt. Das Dach ist mit 14 cm Dämmung zwischen den Sparren und die Kellerdecke mit 6 cm unter dem Estrich gedämmt. Bei den eingebauten Fenstern handelt es sich um isolierverglaste Holzfenster.

#### 4.1.2 Holzhaus

Die Südansicht ist in Abbildung 8, ein Schnitt dieses Gebäudes in Abbildung 9 dargestellt. Das Holzhaus ist ein in Holzständerbauweise erstelltes Fertighaus. Aus Gründen der Kompaktheit wurde auf Gauben verzichtet, stattdessen wurden Dachfenster eingebaut. Die Dämmstoffdicke in den Außenwänden beträgt 24 cm. Die Außenwände des Untergeschosses sind in Massivbauweise mit 30 cm Leichtziegel erstellt. Die Dämmung des Daches ist in 20 cm Dicke ausgeführt. Alle Fenster des Gebäudes besitzen Holzrahmen und sind wärme-schutzverglast.



**Abbildung 6: Fotografische Aufnahme der Südansicht des untersuchten Referenzhauses (Reiß und Erhorn 1994)**

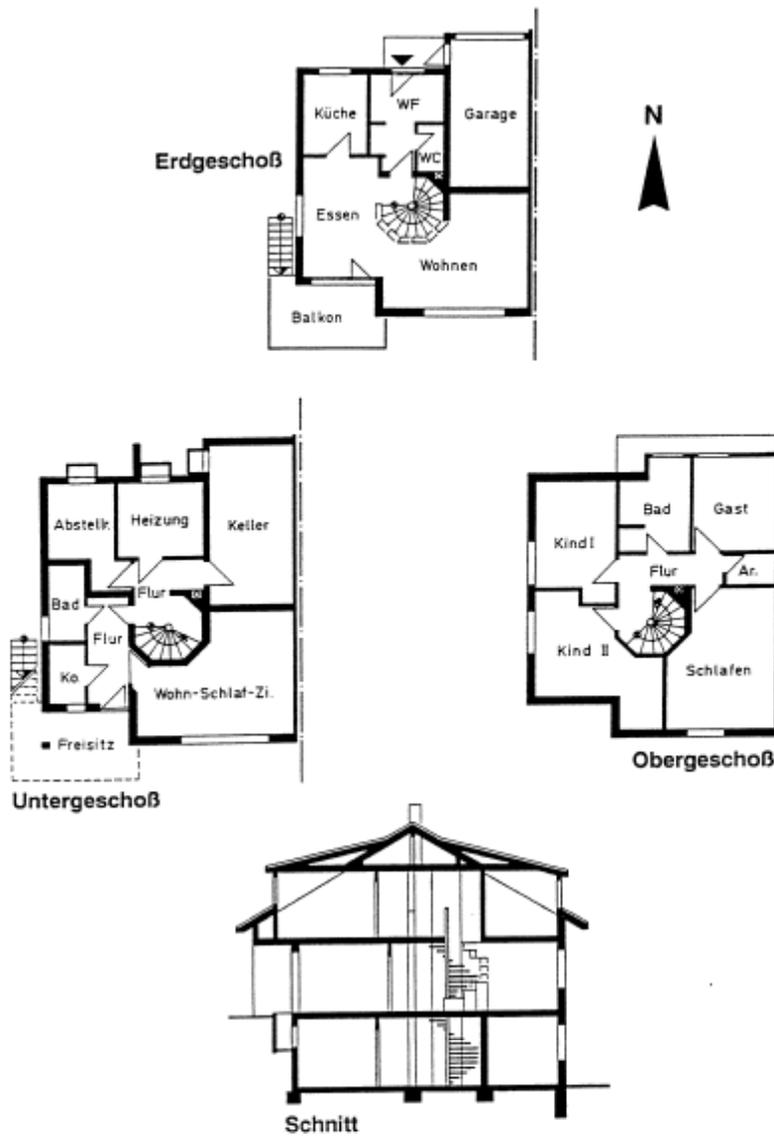


Abbildung 7: Darstellung der Grundrisse aller Geschosse und eines Schnittes des Referenzhauses (Reiß und Erhorn 1994)



**Abbildung 8: Fotografische Aufnahme der Südansicht des untersuchten Holzhauses (Reiß und Erhorn 1994)**

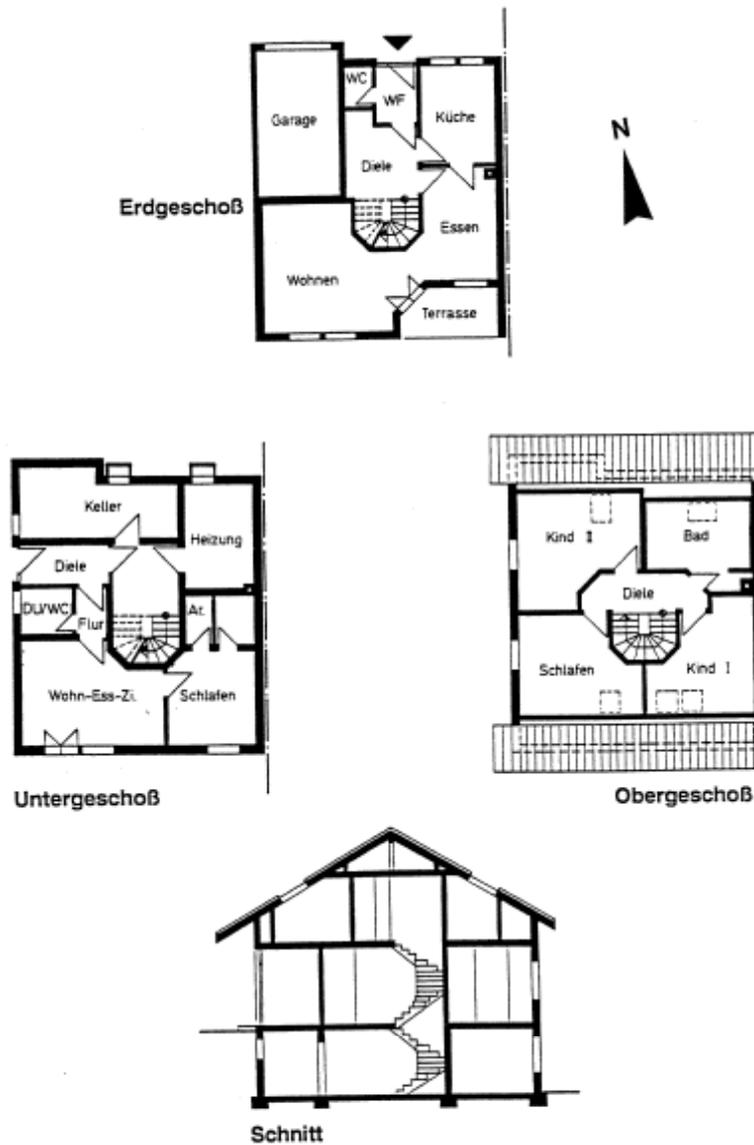


Abbildung 9: Darstellung der Grundrisse aller Geschosse und eines Schnittes des Holzhauses (Reiß und Erhorn 1994)

Tabelle 3 bietet einen Überblick über die wichtigsten Daten und Unterschiede der beiden untersuchten Gebäudevarianten.

**Tabelle 3: Charakterisierung der untersuchten Gebäude (Quack 2000)**

	Referenzhaus	Holzhaus
<b>Beheizte Wohnfläche</b>	177 m <sup>2</sup>	183 m <sup>2</sup>
<b>Hüllflächenfaktor A/V</b>	0,77 m <sup>-1</sup>	0,78 m <sup>-1</sup>
<b>Heizwärmebedarf</b>	98 kWh/m <sup>2</sup> a	52 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>Außenwand</b>	Leichtziegel d: 30 cm; gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm; k-Wert: 0,48	Holzständerbau mit Mineralwolle- dämmung d: 24 cm; Leichtziegel (UG) d: 30 cm; gegen Erdreich Stahlbeton d: 24 cm; k-Wert: 0,19
<b>Gebäudetrennwand</b>	Leichtbeton-Schalungsstein gefüllt mit Beton d: 12,5 cm	Hochlochziegel (UG) d: 30 cm und Holzständer d: 17 cm mit Gipskartonplatten und Mineralfaser d: 10 cm
<b>Fenster</b>	Zweischeiben-Isolierglas, Holzrahmen; k-Wert: 2,6	Zweischeiben-Wärmeschutzglas, Holzrahmen; k-Wert: 1,4
<b>Dach</b>	Holzkonstruktion, Zwischensparrendämmung <sup>6</sup> d: 14 cm; k-Wert: 0,29	Holzkonstruktion, Zwischensparrendämmung <sup>6</sup> d: 20 cm; k-Wert 0,24
<b>Decken</b>	Stahlbetondecke (KG, EG) d: 18 cm; Kehlbalkendecke (OG), Mineralwolledämmung d: 11,5 cm	Holzbalkendecke, Mineralwolledämmung d: 20 cm
<b>Innenwände</b>	Hochlochziegel d: 11,5 cm und 24 cm	Hochlochziegel (UG) d: 11,5 cm und 24 cm; Holzrahmen d: 12 bis 22 cm
<b>Haustechnik</b>	Gaskessel mit atmosphärischem Brenner	Gas-Brennwertkessel

<sup>6</sup> Dämmung mit Mineralwolle; bei Zwischensparrendämmung: Sparrenanteil 15 Prozent.

## 4.2 Berechnung der in den beiden Gebäudevarianten eingesetzten Baustoffmassen

Mit Hilfe bereits vorliegender Daten bezüglich der eingesetzten Baustoffe und -materialien aus Quack (2000) wird in der vorliegenden Arbeit zunächst die Masse der jeweiligen Bauelemente in den beiden Gebäudevarianten ermittelt. Die Daten sind gemäß den tatsächlich eingebauten Bauelementen definiert, für nicht konkret bekannte Elemente (z.B. Installationen) dient der sogenannte Elementkatalog (vergleiche Seite 31) in der Elementkostengliederung des CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung in Zürich) als Datengrundlage.

Eine umfangreiche Auflistung der in den beiden Gebäudevarianten verwendeten Bauelemente und deren Elementdaten befindet sich im Anhang in Tabelle A 1 und Tabelle A 2. Die für die weiteren Berechnungen erforderlichen Daten sind in Tabelle A 3 bis Tabelle A 8 im Anhang dargestellt.

Aufgrund der vorhandenen Daten (Fläche, Volumen, Dichte etc.) zu den einzelnen Elementen werden für beide Gebäude die jeweiligen Baustoff- und -materialmassen berechnet – aufgeteilt in verschiedene Kategorien. Bei diesen Kategorien handelt es sich um Außenwände/Fassaden, Fenster/Fenstertüren, Innenwände, Decken/Böden, Dächer, Technik und Sonstiges. Die ausführlichen Ergebnisse dieser Berechnungen sind für das Referenzhaus im Anhang in Tabelle A 9 bis Tabelle A 13, für das Holzhaus in Tabelle A 14 bis Tabelle A 20 dargestellt.

Anschließend werden die einzelnen Baustoffe zusammengefasst und verschiedenen Materialgruppen zugeordnet (siehe Tabelle 4). Mit Hilfe dieser Zuordnung wird ein erster Vergleich der beiden Gebäudevarianten ermöglicht, zum einen hinsichtlich der Gesamtmasse der eingesetzten Baustoffe und -materialien, zum anderen aber auch bezüglich der Materialauswahl in den beiden Gebäuden.

Aus dieser Übersicht in Tabelle 4 werden nochmals die Unterschiede der beiden Bauweisen deutlich. Während bei dem Referenzhaus die Massen für zementhaltige Baustoffe, Ziegel und Stahl (hauptsächlich in Stahlbeton) überwiegen, sind diese Werte im Holzhaus deutlich geringer. Im Gegensatz dazu sind jedoch im Holzhaus die Massen für Holz, Gipskartonplatten und Dämmmaterial erheblich höher als im Referenzhaus. Bei den übrigen Materialien ergeben sich für beide Gebäude ähnliche Werte. Aus der unterschiedlichen Bauweise resultiert auch der gravierende Unterschied bei der Gesamtmasse der beiden Gebäude, die beim Referenzhaus 378.000 kg, beim Holzhaus hingegen lediglich 265.000 kg beträgt.

**Tabelle 4: Übersicht über die in den beiden Gebäudevarianten eingesetzten Baustoff- und Baumaterialmassen**

Nr.	Baustoffe und -materialien	Referenzhaus <sup>7</sup> Masse [kg]	Holzhaus <sup>8</sup> Masse [kg]
1	Steine, Kies, Sand	1.722	2.131
2	Zementhaltige Baustoffe	233.031	175.260
2a	Gipskartonplatten	2.496	12.602
3	Ziegel	123.912	45.168
4	Stahl	5.269	2.627
5	Aluminium	58	59
6	Kupfer	39	37
7	Kunststoffe	311	523
8	Glas	480	424
9	Holz	9.029	21.257
10	Dämmmaterial (Mineralwolle)	673	3.382
11	Bodenbeläge (Linoleum, Propylen)	460	364
12	Farben/Lacke	377	407
13	Klebstoffe (für Linoleum, Propylen)	149	118
14	Dichtungsmassen	13	12
15	Sonstige (Zink, Gusseisen)	330	204
<b>Summe</b>		<b>378.349</b>	<b>264.575</b>

Sowohl die zementhaltigen Baustoffe (Position 2) als auch die Kunststoffe (Position 7) können noch weiter unterteilt werden. Eine Übersicht darüber ist in Tabelle 5 bzw. Tabelle 6 dargestellt.

**Tabelle 5: Einteilung der zementhaltigen Baustoffe**

Zementhaltige Baustoffe	Referenzhaus Masse [kg]	Holzhaus Masse [kg]
Beton	179.309	127.360
Zementestrich	26.431	34.982
Mineralputz (Kalk-Zement-Maschinenputz)	21.574	7.128
Außenputz mineralisch (Zement-Maschinenputz)	5.320	5.379
Mauermörtel	397	411
<b>Summe</b>	<b>233.031</b>	<b>175.260</b>

<sup>7</sup> Referenzhaus: Beheizte Wohnfläche 177 m<sup>2</sup>;  
Wandstärke: 30 cm Leichtziegel; gegen Erdreich 24 cm Stahlbeton.

<sup>8</sup> Holzhaus: Beheizte Wohnfläche 183 m<sup>2</sup>;  
Holzständerbau mit 24 cm Mineralwolledämmung; Leichtziegel (UG) 30 cm; gegen Erdreich 24 cm Stahlbeton.

**Tabelle 6: Einteilung der Kunststoffe**

<b>Kunststoffe</b>	<b>Referenzhaus Masse [kg]</b>	<b>Holzhaus Masse [kg]</b>
<b>Polyethylen (PE)</b>	125	285
<b>Polystyrol (PS)</b>	157	211
<b>Polyvinylchlorid (PVC)</b>	29	27
<b>Summe</b>	<b>312</b>	<b>523</b>

Die vergleichsweise höhere Masse an Polyethylen und Polystyrol im Holzhaus ist dadurch bedingt, dass im Holzhaus eine Fußbodenheizung aus Kunststoff installiert ist. Im Referenzhaus werden die Räume hingegen über Radiatoren (Flächenheizkörper) beheizt.

Aus den in Tabelle 4 aufgeführten Baustoffen und -materialien werden wiederum fünf Baustoffe ausgewählt, die hinsichtlich ihres Gefahrenpotenzials für Gesundheit und Umwelt besonders relevant erscheinen. Es handelt sich hierbei um Farben und Lacke, Klebstoffe, Holzschutzmittel, Dichtungsmassen und Zement.

## 5 Beschreibung der ausgewählten Baustoffe

Bei dem Bau eines Gebäudes kommt eine große Anzahl verschiedener Baustoffe und -materialien zum Einsatz, die wiederum aus einer Vielzahl an Einzelstoffen bestehen. Einige dieser Stoffe können in den unterschiedlichen Lebenswegphasen des Gebäudes (Herstellung, Nutzung, Entsorgung) Gefährdungen für die Umwelt, aber auch für die Gesundheit der Verarbeiter bzw. der Bewohner verursachen.

Aus den in Tabelle 4 aufgeführten Baustoffen und -materialien wurden fünf Baustoffe ausgewählt, deren Gefährdungspotenzial aus verschiedenen Gesichtspunkten relevant erscheint. Es handelt sich um Farben und Lacke, Holzschutzmittel, Klebstoffe, Dichtungsmittel und Zement. Im Folgenden werden diese Baustoffe und ihr Gefährdungspotenzial näher beschrieben. Jeweils am Ende der Beschreibung befindet sich eine Übersicht über die Lebensphasen des Gebäudes, in denen eine Gefährdung durch die jeweiligen Baustoffe hervorgerufen werden kann.

### 5.1 Farben und Lacke

Nach Ansicht von Zeschmar-Lahl und Lahl (1987) dienen farbige Anstrichstoffe im Bereich Bauen und Wohnen heute vor allem der individuellen Gestaltung des Wohnraums (Fassade, Wand, Türen etc.). Während Malerarbeiten in der Herstellungsphase des Gebäudes hauptsächlich von Fachkräften durchgeführt werden, so werden Renovierungsarbeiten während der Nutzungsphase in der Regel von den Bewohnern selbst erledigt. Die Auswahl an Anstrichstoffen scheint dabei – nicht nur bezogen auf die Farbe – unendlich groß zu sein (Lacke, Lasuren, Dispersionsfarben, Kalkfarben und viele mehr).

Noch undurchschaubarer wird es nach Dauderer (1996), wenn es um die chemische Zusammensetzung von Farben, Lacken und Lasuren geht. Allein in der Bundesrepublik Deutschland sind 500.000 Lackrezepturen auf dem Markt und eine Kennzeichnung der Inhaltsstoffe ist nicht vorgeschrieben. Dies erschwert erheblich die Beurteilung einzelner Produkte.

Trotzdem lässt sich eine Grundstruktur der Farben und Lacke im Aufbau erkennen. Alle Farben und Lacke bestehen aus einem Bindemittel, Lösemitteln, Füll- und Zusatzstoffen sowie Farbmitteln.

Je nach Art des verwendeten Lösemittels kann man wasser- und lösemittelverdünnbare Anstrichstoffe unterscheiden (Kluger et al. 1995). Unter *wasserverdünnbaren Anstrichstoffen* sind Farben und Lacke zu verstehen, die ein in Wasser gelöstes oder dispergiertes Bindemittel enthalten (Dispersionsfarben und -lacke, Latexfarben). Dennoch enthalten auch wasserverdünnbare Farben noch einen geringen Anteil an Lösemitteln (Dispersionsfarben bis zu 4 Prozent und Dispersionslacke bis zu 10 Prozent).

Aufgrund des zunehmenden Umweltbewusstseins der Verbraucher wurden jedoch Produkte mit noch weniger Lösemitteln entwickelt: Lösemittelfreie Dispersionsfarben enthalten bis zu 0,1 Prozent, emissions- und lösemittelfreie Dispersionsfarben nur noch bis zu 0,01 Prozent flüchtige organische Verbindungen (Kluger et al. 1995).

Als *lösemittelverdünnbare Anstrichstoffe* werden hingegen Farben und Lacke bezeichnet, deren Bindemittel in organischen, wasserunlöslichen Lösemitteln gelöst oder dispergiert werden. Der Anteil an organischen Lösemitteln liegt überwiegend zwischen 35 und 55 Prozent. Das am häufigsten verwendete Lösemittel ist Testbenzin, ein Lösemittelgemisch, das neben einer Reihe von aliphatischen auch aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten kann (Kluger et al. 1995).

Die Hauptgefährdungen gehen gerade von dieser Gruppe der lösemittelverdünnbaren Anstrichstoffe aus. Akute Gesundheitsgefahren bestehen nach Kluger et al. (1995) vor allem für Maler und Lackierer beim Einatmen von Lösemitteldämpfen oder Aerosolen, durch Verschlucken und durch die Aufnahme über die Haut. Das Einatmen von Lösemitteldämpfen oder Aerosolen kann zu Reizungen der Atem- und Verdauungswege, zu Schwindel, Rauschzuständen, Kopfschmerzen und Benommenheit führen.



Abbildung 10: Zu Risiken und Nebenwirkungen...  
(Zeschmar-Lahl und Lahl 1987)

Bei längerem Hautkontakt kann es zudem zur Reizung, Entzündung und Entfettung der Haut kommen. Aufgrund dieser fettlösenden Eigenschaften rufen Lösemittel neben Schleimhautreizungen bevorzugt Schäden an Gehirn und Nervensystem hervor. Wird der Kontakt mit Lösemitteln beendet, bilden sich die akuten Beschwerden in aller Regel wieder zurück. Bei lang andauernder Lösemittelbelastung kann es jedoch zu irreversiblen Schäden an Leber, Niere, Gehirn und Nervensystem kommen (Friedrichsen und Gremler 1996).

Aber nicht nur beruflich exponierte Personen sind den Gesundheitsgefahren ausgesetzt, sondern auch Heimwerker. Unter schlechten Bedingungen, z.B. wenn während und/oder

nach der Anwendung nicht gelüftet wird, kann es zu erheblichen Belastungen in der Raumluft kommen (Zeschmar-Lahl und Lahl 1987).

Neben den Lösemitteln gibt es jedoch noch weitere Inhaltsstoffe in Farben und Lacken, die als problematisch einzustufen sind. Hierzu gehören u.a. schwermetallhaltige Pigmente und Weichmacher. Weichmacher, obwohl zum Teil schwer flüchtig, können aus einem Anstrich wieder herauswandern und so die Innenraumluft belasten. Schwermetalle können eine Gefahr für die Umwelt bedeuten, wenn es z.B. zur Abwitterung von Außenanstrichen kommt.

Neben der Herstellungs- und Nutzungsphase ist auch die Entsorgung von behandelten Materialien problematisch, wenn die Schadstoffe z.B. bei der Verbrennung wieder in die Luft gelangen.

Dass Farben und Lacke auch ein Gefährdungspotenzial für die Umwelt besitzen, zeigt beispielsweise eine Untersuchung von Fundel (1998), in der unter anderem 19 Holzlasuren mit verschiedenen Biotestsystemen untersucht wurden. Biotestsysteme (z.B. Daphnien-, Leuchtbakterien- oder Kressetests) zeigen direkt die Wirkung der untersuchten Substanzen auf die Testorganismen an. Mit verschiedenen Testsystemen, die meistens parallel eingesetzt werden, können so die Auswirkungen auf Vertreter des Tier-, Pflanzen- und Bakterienreichs bestimmt werden (Jäger und Fundel 1999). Durch Elution der Proben, d.h. die Proben wurden einige Zeit in einer wässrigen Lösung geschüttelt, wurde in der Untersuchung beispielsweise simuliert, wie Regenwasser an einer Hauswand abläuft und dort eventuell toxische Stoffe herauslöst und in die Umwelt transportiert. Die Untersuchung zeigt, dass je nach Holzlasur und eingesetztem Testverfahren durchaus toxische Auswirkungen auf die Testorganismen bestehen.

**Tabelle 7: Gefährdungen durch Farben und Lacke**

	Relevante Lebensphasen des Gebäudes		
	Herstellung	Nutzung	Entsorgung
<b>Verarbeiter</b>	Emissionen, Hautkontakt		
<b>Bewohner</b>		Emissionen	
<b>Umwelt</b>	Emissionen, Auswaschungen	Abwitterung, Emissionen, Auswaschungen	Emissionen bei Verbrennung

## 5.2 Holzschutzmittel

Holz als nachwachsender Rohstoff wird aufgrund seiner vielfältigen positiven Eigenschaften bereits seit Jahrhunderten als Baustoff geschätzt. Von Vorteil sind die gute Bearbeitbarkeit, das Aussehen und vor allem die positiven bauphysikalischen Eigenschaften: Holz wirkt wärmedämmend und -speichernd, kann die Feuchtigkeit und damit das Raumklima regulieren

und ist atmungsaktiv. Auf der anderen Seite ist Holz aber auch verschiedenen Einflüssen ausgesetzt, die einen Schutz erforderlich machen.

Zum einen unterliegt Holz einem natürlichen Abbau durch verschiedene Organismen (Insekten und Pilze). Aber auch klimatische Einflüsse (Sonnenstrahlung, starke Temperaturschwankungen, Regen und Wind), Erdfeuchte, Tau- und Spritzwasser sowie chemische Reaktionen mit Metallen, Behandlungsmitteln oder Klebstoffen können nach Ansicht von Sambeth (1996) eine Zerstörung des Holzes bewirken.

Holzschutz hat deshalb die Aufgabe, die Güteeigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen möglichst lange zu erhalten, indem er deren Zerstörung durch mechanische, physikalische, biologische und/oder chemische Einflüsse verzögert oder noch besser verhindert (Sambeth 1996). Vielfach kann ein Schutz des Holzes bereits durch konstruktive Maßnahmen (z.B. Dachüberstände) erreicht werden, in einigen Fällen ist jedoch eine Behandlung mit Holzschutzmitteln unerlässlich bzw. sogar vorgeschrieben, um eine dauerhafte Standsicherheit zu gewährleisten.

Sollen Holzschutzmittel jedoch auf der einen Seite möglichst giftig sein, um gut gegen zerstörende Organismen zu wirken, so sollen sie andererseits für den Menschen unschädlich, also möglichst ungiftig sein (Leiß 1992). Diese beiden widersprüchlichen Anforderungen an Holzschutzmittel konnten in der Vergangenheit größtenteils nicht bewältigt werden, so dass neben dem Schutz des Holzes gleichzeitig immer ein Gefährdungspotenzial für Gesundheit und Umwelt besteht.

Gesundheitsgefährdungen werden nach Ansicht von Friedrichsen und Gremler (1996) hauptsächlich dadurch hervorgerufen, dass die Wirkstoffe und Lösemittel, die in den Holzschutzmitteln enthalten sind, über viele Jahre aus den behandelten Hölzern ausgasen. In der Raumluft können daher, in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, hohe Schadstoffkonzentrationen entstehen. Die schädlichen Wirkstoffe aus den Holzschutzmitteln können zum einen als Gas oder auch an Hausstaubteilchen gebunden über die Atemwege vom Menschen aufgenommen werden, zum anderen als fettlösliche Substanzen direkt durch die Haut in den Körper gelangen. Die vom Körper aufgenommenen Schadstoffe führen dann in Abhängigkeit von der Menge zu akuten oder chronischen Beschwerden und Gesundheitsstörungen.

Akute Holzschutzmittelvergiftungen treten insbesondere bei Menschen auf, die beruflich oder privat häufig mit Holzschutzmitteln umgehen, wie Schreiner oder Heimwerker. Die schleichend einsetzenden, chronischen Gesundheitsstörungen sind jedoch von viel größerer Bedeutung, da hiervon weitaus mehr Menschen betroffen sind und sich die durch Holzschutzmittel ausgelösten chronischen Beschwerden zudem unter Umständen erst nach Monaten oder Jahren bemerkbar machen (Friedrichsen und Gremler 1996).

Für die Umwelt sind Gefahrenquellen durch Holzschutzsalze grundsätzlich immer dort zu finden, wo Emissionen oder Auswaschungen auftreten und die Produkte in Boden, Gewässer oder Luft gelangen. Das betrifft sowohl den Vorgang des Imprägnierens einschließlich aller Arbeiten, die zur Herstellung einbaufertiger Hölzer dienen, als auch die Nutzungsphase des behandelten Holzes und die Entsorgung – ein Eintrag in die Umwelt ist unvermeidlich. Die Auswaschung von Salzen aus getränktem Holz führt zwar meist nur zu lokal begrenzten Schäden, doch auch diese können erheblich sein. Schließlich gelangen auch bei der Verbrennung von Hölzern, die mit Holzschutzmitteln behandelt sind, schädliche Verbindungen in die Umwelt (Leißle 1992).

Die beschriebenen Umwelt- und Gesundheitsgefahren können zum einen direkt von den Wirkstoffen, aber auch von den Lösungsmitteln, in denen die Wirkstoffe gelöst sind, hervorgerufen werden. Nach Falbe und Regitz (1995) enthalten Holzschutzmittel des Weiteren meist noch zusätzliche Komponenten wie Netzmittel, Penetrationshilfsmittel, Fixierungsmittel, Korrosionsinhibitoren, Farbstoffe, Pigmente und Bindemittel, die die technischen Eigenschaften und die Verarbeitbarkeit der Schutzmittel beeinflussen. Auch von ihnen kann unter Umständen eine Gefährdung ausgehen.

**Tabelle 8: Gefährdungen durch Holzschutzmittel**

	Relevante Lebensphasen des Gebäudes		
	Herstellung	Nutzung	Entsorgung
<b>Verarbeiter</b>	Emissionen, Hautkontakt		
<b>Bewohner</b>		Emissionen	
<b>Umwelt</b>	Emissionen, Auswaschungen	Abwitterung, Emissionen, Auswaschungen	Emissionen bei Verbrennung

### 5.3 Klebstoffe

Klebstoffe – im Haushalt oftmals schnelle Helfer bei kleineren Klebearbeiten – werden im Bauwesen vorwiegend zum Verkleben von Bodenbelägen verwendet. 20 bis 30 Prozent des Gesamtklebstoffverbrauchs entfallen auf den Bausektor (Fiedler 1997). Neben der Verklebung von textilen Teppichböden und Parketten fallen auch Tapezierarbeiten darunter. Zudem bestehen viele Fertigprodukte aus verklebten Einzelteilen, wie z.B. Spanplatten, Sperrholz- und Tischlerplatten sowie Kunststoffe (Dauderer 1996).

Man kann zwischen physikalisch und chemisch abbindenden Klebstoffen unterscheiden. Bei physikalisch abbindenden Klebstoffen handelt es sich meist um Lösemittel- und Dispersionsklebstoffe. Sie erzielen ihre Klebewirkung durch Änderung des Aggregatzustandes (von flüssig nach fest) oder durch Verdunsten von Löse- und Dispersionsmitteln vor und während des

Verklebungsprozesses. Im Gegensatz dazu kommt es bei chemisch abbindenden Klebstoffen zu einer chemischen Reaktion unterschiedlicher Komponenten<sup>9</sup>.

Klebstoffe bestehen aus Basisrohstoffen (Grundstoffen), die für ihr Haftvermögen (Adhäsion) von entscheidender Bedeutung sind, und aus Hilfsstoffen, die zur Einstellung besonderer Gebrauchs- und Bearbeitungsmerkmale dienen (Kursawa-Stucke und Schröder 1996). Eine Zusammenfassung der wichtigsten Hilfs- und Zusatzstoffe ist in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9: Hilfsstoffe und sonstige Zusätze in Klebstoffen nach Kursawa-Stucke und Schröder (1996)**

Hilfsstoffe in Klebstoffen	Sonstige Zusätze
Weichmacher	Konservierungsmittel
Füllstoffe	Lichtschutzmittel
Verdickungsmittel	Entschäumungsmittel
Lösemittel	
Alterungsschutzmittel	
Härter	
Abbindeverzögerer	

Weichmacher sollen beispielsweise die Verbindung „weich“ und damit streichfähig halten. Im Klebevorgang verdunsten sie dann allmählich beim Abhärten.

Die Gesundheitsrelevanz der Klebstoffe hängt zum einen von den eingesetzten Grundstoffen ab, die während der Verarbeitung und des Abbindens flüchtige organische Verbindungen (VOC) abgeben (Fiedler 1997).

Zum anderen stellen jedoch – ebenso wie bei Farben und Lacken – auch bei Klebstoffen die Lösemittel ein großes gesundheitliches Risiko dar. Hinsichtlich der Toxizität der Lösemittel sind dabei besonders zwei Eigenschaften wichtig. Einmal ist es der meist relativ hohe Dampfdruck dieser Stoffe, der über das Ausmaß der Flüchtigkeit entscheidet, andererseits bewirken diese Lösemittel eine Entfettung der Haut, so dass die Lösemitteldämpfe durch die Haut in den Körper dringen können (Dauderer 1996).

Besonders bei großflächigen Arbeiten mit Lösemittel-Klebstoffen kann es daher zu Gesundheitsschädigungen für die Arbeiter (Rauschzustände, Leberschäden) kommen<sup>10</sup>. Aber auch während der Nutzungsphase können Gefährdungen – in diesem Fall für die Bewohner – bestehen, da flüchtige Verbindungen noch lange nach der Verarbeitung ausgasen und die Raumluft belasten.

<sup>9</sup> Quelle: <http://www.katalyse.de/umweltlexikon>, Klebstoffe, vom 15.12.99.

<sup>10</sup> Quelle: <http://www.katalyse.de/umweltlexikon>, Klebstoffe, vom 15.12.99.

Klebstoffe werden überwiegend im Innenbereich eingesetzt. Umweltgefährdungen sind daher eher produktionsbedingt (Abwasser, Abfall und Abluft) zu finden, nicht jedoch während der Herstellungs- und Nutzungsphase der Gebäude. In der Entsorgungsphase kann es zu Umweltgefährdungen kommen, wenn z.B. bei der Verbrennung von verklebten Materialien Schadstoffe emittiert werden.

**Tabelle 10: Gefährdungen durch Klebstoffe**

	Relevante Lebensphasen des Gebäudes		
	Herstellung	Nutzung	Entsorgung
<b>Verarbeiter</b>	Emissionen, Hautkontakt		
<b>Bewohner</b>		Emissionen	
<b>Umwelt</b>	werden überwiegend im Innenbereich eingesetzt	werden überwiegend im Innenbereich eingesetzt	Emissionen bei Verbrennung

#### 5.4 Dichtungsmittel

Dichtungsstoffe dienen der flächigen Abdichtung von Bauteilen gegen Feuchtigkeit und Wasserdampf sowie dem luft- und wasserdichten Schließen von Ritzen und Fugen<sup>11</sup>.

Für Dichtungsarbeiten wird eine breite Palette von Dichtungssystemen auf dem Markt angeboten. Vielfältige Rezepturen ermöglichen hier eine Anpassung an verschiedene chemische und mechanische Beanspruchungen. Verbreitet sind Kunststoffdichtmassen auf Basis von Silikon, Polysulfid, Polyacrylat, Polyurethan oder Synthesekautschuk (Gremler 1996).

Konventionelle Produkte enthalten häufig problematische Zusätze wie Weichmacher, Haftvermittler oder -verzögerer, Konservierungsmittel und Fungizide. Darüber hinaus sind eine Vielzahl weiterer Zusatzstoffe (Additive) vorhanden<sup>12</sup>.

Durch den Einsatz von Dichtmassen können Gesundheitsbelastungen verursacht werden. Während der Verarbeitung, aber auch nach Verfestigung der Dichtmassen können u.a. flüchtige organische Verbindungen in die Raumluft entweichen. Weichmacheremissionen und Staubbelastungen können die Raumluft langfristig belasten. Durch mechanischen Abrieb oder durch Alterungs- und Zersetzungs Vorgänge können auch nicht flüchtige Bestandteile an Staub gebunden in die Innenräume abgegeben werden (Gremler 1996).

Die gesundheitliche Gefährdung für den Menschen reicht von Reizungen der Schleimhäute und Übelkeit bis hin zur Krebserregung<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Quelle: <http://www.katalyse.de/umweltlexikon>, Dichtungsstoffe, vom 17.11.99.

<sup>12</sup> Quelle: <http://home.t-online.de/home/iku-GmbH/start.htm> vom 3.11.99.

Ebenso wie bei den Klebstoffen sind Umweltgefahren durch Dichtungsmittel während der Herstellungs- und Nutzungsphase gegenüber produktionsbedingten Umweltgefährdungen eher als gering einzustufen, da sie ebenfalls überwiegend im Innenbereich eingesetzt werden. Auch bei Dichtungsmitteln können jedoch bei der Verbrennung Schadstoffe freigesetzt werden, die dann die Umwelt belasten.

**Tabelle 11: Gefährdungen durch Dichtungsmittel**

	Relevante Lebensphasen des Gebäudes		
	Herstellung	Nutzung	Entsorgung
<b>Verarbeiter</b>	Emissionen		
<b>Bewohner</b>		Emissionen, Abrieb, Zersetzungsvorgänge	
<b>Umwelt</b>	werden überwiegend im Innenbereich eingesetzt	werden überwiegend im Innenbereich eingesetzt	Emissionen bei Verbrennung

### 5.5 Zement

Zement ist ein zentraler Massenbaustoff im Baugewerbe. Ein Großteil (rund 70 Prozent) des Zements wird zur Herstellung von Beton verwendet (ITAS, IWU, ifib und Partner 1996). Neben dem Zement, der für Beton, Estrich, Mörtel usw. eingesetzt wird, finden auch zementhaltige Produkte in großem Umfang Einsatz in der Bauwirtschaft. Dabei handelt es sich z.B. um Fliesenkleber, Fugenmörtel, Putze, Spachtel- und Ausgleichsmassen. Diese Produkte enthalten zusätzlich zum Zement noch Füllstoffe wie Sand, Kunststoffzusätze und Pigmente. Durch Zugabe einer entsprechenden Wassermenge kann der Zement vor Ort zum verarbeitungsfähigen Produkt angemischt werden (Rühl und Kluger 1995).

Gefährdungen durch Zement bzw. Zementinhaltsstoffe treten hauptsächlich während der Herstellungs- und Entsorgungsphase von Gebäuden auf und betreffen daher insbesondere die Verarbeiter, also beruflich exponierte Personen. Eine Ausgasung von Schadstoffen aus dem Zement oder zementhaltigen Produkten während der Nutzungsphase, also eine Gefährdung für die Bewohner der Gebäude ist nicht bekannt.

Eine erste Gefährdung tritt nach Ansicht von Rühl und Kluger (1995) für die Zementarbeiter beim Zusatz von Wasser zu dem Zement auf. Dabei reagieren die Hauptbestandteile des Zements mit dem Wasser und es entsteht eine stark alkalische Lösung, die einen pH-Wert von mehr als 13 aufweist. Dieser hohe pH-Wert ist zwar technologisch notwendig, birgt allerdings für den Verarbeiter die Gefahr von Verätzungen.

Des Weiteren werden Zementarbeiter durch den staubförmigen Zement belastet, in dem die Schadstoffe noch löslich sind. Die Aufnahme dieses Staubes über die Atemwege und die Haut bedeutet dabei nicht nur eine allergene Belastung, sondern kann z.B. bei Cadmium auch kanzerogene Wirkung haben (ITAS, IWU, ifib und Partner 1996).

Bei der Verarbeitung von Zement durch Maurer, Fliesenleger, Estrichleger oder Betonbauer ist jedoch vor allem das Chromatekzem problematisch, das durch Chrom(VI)-Ionen verursacht wird. Obwohl nur in geringen Mengen im Zement enthalten (0,1 - 27 ppm), rufen Chrom(VI)-Ionen allergische Reaktionen der Haut hervor, die sogenannte Mauerkrätze (ITAS, IWU, ifib und Partner 1996). Die Sensibilisierung ist von der Menge und der Dauer des Umgangs mit Zement abhängig.

Neben den Gesundheitsgefährdungen, die während der Herstellung für die Verarbeiter des Zements entstehen, kann es nach dem Abbruch der Gebäude bei der anschließenden Deponierung des Bauschuttes auch zu Belastungen für die Umwelt kommen: Da bei der Zementherstellung häufig Reststoffe (Hochofenschlacke, Industriekalk etc.) aus anderen industriellen Prozessen eingesetzt werden, die erhöhte Schadstoffkonzentrationen an Schwermetallen aufweisen, kann es bei einer Deponierung des Bauschuttes nach langer Lagerung zur Auswaschung dieser Schwermetalle aus dem Material kommen. Die Schadstoffe können dann über den Deponieuntergrund bis ins Grundwasser gelangen und dort Belastungen verursachen (ITAS, IWU, ifib und Partner 1996).

Zement stellt demnach – im Gegensatz zu den vorangegangenen Baustoffen – zwar keine Belastung für die Bewohner während der Nutzungsphase dar, da keine schädigenden Stoffe aus dem Material ausgasen, stattdessen bestehen aber gerade für die Verarbeiter erhebliche Gesundheitsgefährdungen, und durch die erheblichen Massenströme wird zudem auch die Umwelt belastet.

**Tabelle 12: Gefährdungen durch Zement**

	Relevante Lebensphasen des Gebäudes		
	Herstellung	Nutzung	Entsorgung
<b>Verarbeiter</b>	Staub, Hautkontakt (pH-Wert, Chrom(VI)-Ionen)		Staub
<b>Bewohner</b>			
<b>Umwelt</b>			Auswaschungen

## 6 Sachbilanz – Berechnung der Schadstoffe in den ausgewählten Baustoffen

Sachbilanzen bereits bestehender Gebäudeökobilanzen beinhalten vorwiegend die eingesetzten Baustoffe und -materialien, geben jedoch keine Auskünfte über deren Inhaltsstoffe. Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die beiden Gebäudevarianten sowie die Umwelt- und Gesundheitsrelevanz der fünf ausgewählten Baustoffe dargestellt wurden, wird im folgenden Abschnitt die vorhandene Sachbilanz der beiden Gebäude um die Ebene der Inhaltsstoffe in den bilanzierten Baustoffen erweitert. Innerhalb der Sachbilanzen der beiden Gebäudevarianten werden zusätzlich verschiedene Produktalternativen bezüglich der Inhaltsstoffe miteinander verglichen.

Die Bilanzierung der Inhaltsstoffe wird dabei auf sogenannte „Gefährliche Inhaltsstoffe“ beschränkt. Stoffe sind nach §3 Chemikaliengesetz immer dann gefährliche Stoffe, wenn sie mindestens eines der in Tabelle 13 aufgeführten Gefährlichkeitsmerkmale besitzen (Bender 2000). In der vorliegenden Arbeit werden die Begriffe *Schadstoffe*, *Gefahrstoffe* bzw. *Gefährliche Inhaltsstoffe* synonym für *Gefährliche Stoffe* verwendet.

**Tabelle 13: Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz, aus Bender (2000)**

Eigenschaften	Gefährlichkeitsmerkmal
<b>Physikalisch-chemische Eigenschaften</b>	Hochentzündlich
	Leichtentzündlich
	Entzündlich
	Brandfördernd
	Explosionsgefährlich
<b>Akut toxische Eigenschaften</b>	Sehr giftig
	Giftig
	Gesundheitsschädlich
	Ätzend
	Reizend
<b>Spezielle toxische Eigenschaften</b>	Sensibilisierend
	Krebserzeugend
	Erbgutverändernd
	Fortpflanzungsgefährdend
<b>Ökotoxische Eigenschaften</b>	Umweltgefährlich

Gefährliche Stoffe oder Zubereitungen, die in den Verkehr gebracht werden, sind nach der Gefahrstoffverordnung mit Gefahrensymbolen sowie Gefahrenhinweisen (R-Sätzen) und Sicherheitsratschlägen (S-Sätzen) zu kennzeichnen. Des Weiteren muss beim Inverkehrbringen von gefährlichen Stoffen und Zubereitungen nach §14 Gefahrstoffverordnung ein Sicherheitsdatenblatt geliefert werden, das unter anderem auch Informationen über die Zusammensetzung bzw. Angaben zu den Bestandteilen enthalten muss (Bender 2000).

In der vorliegenden Arbeit dienen daher als Datengrundlage zur Ermittlung der gefährlichen Inhaltsstoffe verschiedener Produkte die Angaben auf den Sicherheitsdatenblättern. Da jedoch in dieser Arbeit nicht alle auf dem Markt zur Verfügung stehende Produkte berücksichtigt werden können, wird die Auswahl auf einige Anbieter beschränkt, deren Sicherheitsdatenblätter öffentlich im Internet zugänglich sind und ausreichende Angaben über den Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen liefern. Für Zement werden keine Produkte miteinander verglichen, sondern es werden beispielhaft verschiedene Chromatgehalte berechnet. Tabelle 14 bietet eine Übersicht über die Anbieter der untersuchten Produkte und die Herkunft der Daten bzw. Sicherheitsdatenblätter.

**Tabelle 14: Übersicht über Anbieter bzw. Produktnamen der untersuchten Produkte**

Baustoff	Anbieter/Produktname	Datenherkunft (Stand 15.06.00)
<b>Farben und Lacke</b>	Einza	<a href="http://www.farben.com/sd/einza/">www.farben.com/sd/einza/</a>
	Sikkens	<a href="http://www.farben.com/sd/sikkens/">www.farben.com/sd/sikkens/</a>
<b>Holzschutzmittel</b>	Adolit	<a href="http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm">www.remmers.de/produkt/sdlist.htm</a>
	Aidol	<a href="http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm">www.remmers.de/produkt/sdlist.htm</a>
<b>Klebstoffe</b>	Aida	<a href="http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm">www.remmers.de/produkt/sdlist.htm</a>
	Albon	<a href="http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm">www.remmers.de/produkt/sdlist.htm</a>
	Relö	<a href="http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm">www.remmers.de/produkt/sdlist.htm</a>
	Schönox <sup>13</sup>	<a href="http://www.schoenox.de/fussboden/fussboden_f.htm">www.schoenox.de/fussboden/fussboden_f.htm</a> <a href="http://www.schoenox.de/fliesen/fliesen_f.htm">www.schoenox.de/fliesen/fliesen_f.htm</a>
	Viscacid	<a href="http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm">www.remmers.de/produkt/sdlist.htm</a>
<b>Dichtungsmassen</b>	Albardin	<a href="http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm">www.remmers.de/produkt/sdlist.htm</a>
	Bostik, Nibosil	<a href="http://www.bostik.de/">www.bostik.de/</a> <sup>14</sup>
	Silikon A, N, SL, SO, SR, Sanitärsilikon, Universaldichtmasse, Klebe- und Dichtmasse CS	<a href="http://www.hanno.at/Silikon.html">www.hanno.at/Silikon.html</a> <sup>15</sup> <a href="http://www.hanno.at/Acrylat.html">www.hanno.at/Acrylat.html</a> <a href="http://www.hanno.at/Dicht-Kl.html">www.hanno.at/Dicht-Kl.html</a>
<b>Zementhaltige Baustoffe</b>	Verschiedene Chromatgehalte	Rühl und Kluger (1995) ITAS, IWU, ifib und Partner (1996)

<sup>13</sup> Um die Sicherheitsdatenblätter der Firma Schönox herunterladen zu können, muss man sich zunächst im SCHÖNOX-Partnerbereich anmelden.

<sup>14</sup> Für die Produkte der Firma Bostik sind lediglich die technischen Datenblätter im Internet veröffentlicht, die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter wurden telefonisch angefordert bei der Bostik GmbH, Borgholzhausen, 05425 / 801-0.

<sup>15</sup> Für die Produkte der Firma Hanno sind lediglich die technischen Datenblätter im Internet veröffentlicht, die zugehörigen Sicherheitsdatenblätter wurden telefonisch angefordert bei der Hanno-Werk GmbH & Co. KG, Laatzen, 05102 / 7000-0.

Auf den Sicherheitsdatenblättern sind für den Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>16</sup> überwiegend sowohl minimale als auch maximale Werte angegeben. In der vorliegenden Arbeit werden für weiterführende Berechnungen ausschließlich die maximalen Werte verwendet. Übersteigt der Gesamtgehalt bei der Summenbildung der Einzelstoffe allerdings 100 Prozent (z.B. wenn bei mehreren Einzelstoffen ein Maximalgehalt von 100 Prozent angegeben ist), dann wird bei einzelnen Stoffen anstelle des maximal angegebenen Gehalts lediglich der maximal mögliche Gehalt gewählt. Diese Stoffe sind in den jeweiligen Tabellen gekennzeichnet.

Im Folgenden werden die Berechnungen für die ausgewählten Baustoffe beschrieben.

### 6.1 Farben und Lacke

In den beiden Gebäudevarianten wurden je nach Verwendungszweck verschiedene Farben eingesetzt. Auf Außen-, Innenputz und Gipskartonplatten wurden *Dispersionsfarben* aufgetragen, auf Holz (Fensterrahmen, -läden, Innen-, Außentüren und Geschosstreppe) und auf Metall (NT-Unit, Heizungskamin, Warmwasserspeicher) wurden hingegen *Deckfarben* eingesetzt. *Holzfensterlacke* und *Heizkörperlacke* werden in der vorliegenden Arbeit gesondert untersucht. Zur Berechnung der Schadstoffgehalte werden daher je nach eingesetzter Farbe verschiedene Mengen zugrunde gelegt.

Tabelle 15 gibt eine Übersicht über die in den beiden Gebäuden eingesetzten Farbmengen.

**Tabelle 15: Farbmengen in den beiden Gebäudevarianten**

	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
<b>Dispersionsfarben</b>	251,0	313,3
<b>Deckfarben</b>	72,7	51,5
<b>Holzfensterlacke</b>	46,7	41,4
<b>Heizkörperlacke</b>	7,5	1,9
<b>Summe</b>	<b>377,9</b>	<b>408,1</b>

<sup>16</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

## 6.1.1 Dispersions- und Deckfarben

### 6.1.1.1 Kombinierte Dispersions- und Deckfarben

Für mineralische Untergründe (Putze, Gipskartonplatten) wurden in den beiden Gebäuden – wie oben bereits erwähnt – vorwiegend Dispersionsfarben verwendet, für Holz und Metall hingegen Deckfarben. Im Folgenden werden verschiedene Lacke miteinander verglichen, die für alle Untergründe im Innen- und Außenbereich geeignet sind. Als Berechnungsgrundlage werden daher die Mengen für Deck- und Dispersionsfarben verwendet (Referenzhaus: 323,7 kg, Holzhaus 364,8 kg). Bei den untersuchten Lacken handelt es sich um mehrere klassische Lacke (Weißlacke und Buntlacke), drei High-Solid Lacke und zwei wasserverdünnbare Dispersionslacke. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 bis Tabelle 18 dargestellt.

Die Bandbreite der Schadstoffgehalte<sup>17</sup> reicht von minimal 13 Prozent, über mehrere Lacke im Bereich 20 bis 40 Prozent, bis hin zu drei Lacken mit über 50 Prozent gefährlichen Inhaltsstoffen (Höchstwert: 56,5 Prozent). Bei den beiden wasserverdünnbaren Dispersionslacken liegt der Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen bei 1,9 bzw. 2,4 Prozent.

Umgerechnet auf die in den beiden Gebäuden eingesetzten Farbmengen sind bei Einsatz der Lacke mit den höchsten Schadstoffgehalten demnach im Referenzhaus zwischen 167,6 kg und 182,9 kg gefährliche Stoffe vorhanden (im Holzhaus zwischen 189,0 kg und 206,0 kg). Verwendet man hingegen Lacke mit niedrigem Schadstoffgehalt, entspricht dies im Referenzhaus einem Schadstoffgehalt zwischen 42,1 kg und 66,4 kg, im Holzhaus zwischen 47,4 kg und 74,8 kg. Bei Einsatz der beiden wasserverdünnbaren Dispersionslacke ist die Menge an gefährlichen Stoffen mit 6,2 kg bis 8,8 kg nochmals erheblich geringer.

---

<sup>17</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).



Tabelle 16: Dispersions- und Deckfarben; Klassische Lacke

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Lawinol Kunstharzlack	Lösemittelhaltige Kunstharzlackfarbe auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 3 Flammpunkt 21-55°C	3,5	11,3	12,8
		Xylol Isomerenmischung	2,2	7,1	8,0
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	41,5	134,3	151,4
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	4,6	14,9	16,8
			<b>51,8</b>	<b>167,6</b>	<b>189,0</b>
Einza Gold-Weißlack	Lösemittelhaltiger Weißlack auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	4,3	13,9	15,7
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	14,9	48,2	54,4
			<b>19,2</b>	<b>62,1</b>	<b>70,1</b>
Einza Seidenmatt	Lösemittelhaltige Kunstharzlackfarbe auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	28,9	93,5	105,4
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	20,1	65,1	73,3
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	5,7	18,5	20,8
			<b>54,7</b>	<b>177,1</b>	<b>199,5</b>
Einza Bunt	Lösemittelhaltige Kunstharzlackfarbe auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 3 Flammpunkt 21-55°C	1,3	4,2	4,7
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	8,4	27,2	30,6
		1-Methoxypropylacetat-2	2,7	8,7	9,8
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	39,6	128,2	144,5
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	4,5	14,6	16,4
			<b>56,5</b>	<b>182,9</b>	<b>206,0</b>

Fortsetzung Tabelle 16: Dispersions- und Deckfarben; Klassische Lacke

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Sikkens Rubbol Saturra		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	17,0	55,0	62,0
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	12,0	38,8	43,8
			<b>29,0</b>	<b>93,8</b>	<b>105,8</b>
Sikkens Uni-Weißlack plus		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	27,5	89,0	100,3
		Aromatische Kohlenwasserstoffe, hochsiedend	5,0	16,2	18,2
			<b>32,5</b>	<b>105,2</b>	<b>118,5</b>
Sikkens Rubbol A-Z		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	20,5	66,4	74,8
			<b>20,5</b>	<b>66,4</b>	<b>74,8</b>
Sikkens Color Seidenglanz MM		Monoethylenglykol	1,0	3,2	3,6
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	20,5	66,4	74,8
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	11,5	37,2	42,0
			<b>33,0</b>	<b>106,8</b>	<b>120,4</b>
Sikkens Color Hochglanzlack, Basis		Aliphatische Lösemittel	25,0	80,9	91,2
		Solventnaphtha	10,0	32,4	36,5
		Xylol	2,5	8,1	9,1
			<b>37,5</b>	<b>121,4</b>	<b>136,8</b>

Tabelle 17: Dispersions- und Deckfarben; High-Solid Lacke

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Selection Brillant-Weißlack	Lösemittelhaltige Kunstharzlackfarbe auf Spezialalkydhartzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	4,7	15,2	17,1
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	3,7	12,0	13,5
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	15,3	49,5	55,8
			<b>23,7</b>	<b>76,7</b>	<b>86,4</b>
Einza Selection Samt-Weißlack	Lösemittelhaltige Kunstharzfarbe auf Alkydhartzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	7,4	24,0	27,0
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	15,9	51,5	58,0
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	3,4	11,0	12,4
			<b>26,7</b>	<b>86,5</b>	<b>97,4</b>
Sikkens Rubbol Optima Semi-gloss		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	6,0	19,4	21,9
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	7,0	22,7	25,5
			<b>13,0</b>	<b>42,1</b>	<b>47,4</b>

Tabelle 18: Dispersions- und Deckfarben; wasserverdünnbare Dispersionslacke

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Aquamatt	Wasserverdünnbare Dispersionslackfarbe auf Basis eines wässrigen Methylmethacrylat- Butylacrylat-Copolymerisats	2-Butoxyethanol	1,9	6,2	6,9
			<b>1,9</b>	<b>6,2</b>	<b>6,9</b>
Einza Samt-Acryl	Zubereitung auf Basis einer wässrigen Dispersion eines Methylmethacrylat- Butylacrylat-Copolymerisats	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,4	7,8	8,8
			<b>2,4</b>	<b>7,8</b>	<b>8,8</b>



### 6.1.1.2 Getrennte Betrachtung von Dispersions- und Deckfarben

Während im vorherigen Abschnitt Farben verglichen wurden, die als Deck- und gleichzeitig auch als Dispersionsfarben eingesetzt werden können, ist eine weitere Möglichkeit der getrennten Einsatz von reinen Deck- und Dispersionsfarben. Zur Berechnung werden daher bei Deckfarben die Mengen 72,7 kg (Referenzhaus) und 51,5 kg (Holzhaus), bei Dispersionsfarben 251,0 kg (Referenzhaus) und 313,3 kg (Holzhaus) verwendet. Bei den Deckfarben werden wasserverdünnbare bzw. lösemittelhaltige Dickschicht- und Imprägnierlasuren und wasserverdünnbare Dispersionslacke miteinander verglichen (Tabelle 19 bis Tabelle 23), bei den Dispersionsfarben wasserverdünnbare Fassadenfarben, Wandfarben und ein wasserdünnbarer Dispersionslack (Tabelle 24 bis Tabelle 27).

#### Deckfarben

Bei den lösemittelhaltigen Lasuren (Dickschicht- und Imprägnier-Lasur, Tabelle 19 und Tabelle 21) liegt die Bandbreite an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>18</sup> zwischen 30 und 72 Prozent. Bei den wasserverdünnbaren Lacken und Lasuren (Tabelle 20, Tabelle 22 und Tabelle 23) beträgt der Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen hingegen nur zwischen 2,2 und 5,5 Prozent. Ein etwas höherer Anteil mit 9 Prozent ist in der Imprägnier-Lasur *Sikkens Cetol BL Decor* zu finden, wohingegen in dem wasserverdünnbaren Dispersionslack *Einza Holzcolor* laut Sicherheitsdatenblatt gar keine gefährlichen Inhaltsstoffe enthalten sind.

Umgerechnet auf die in den Gebäuden eingesetzten Farbmengen bedeutet dies bei Verwendung der lösemittelhaltigen Lacke und Lasuren für das Referenzhaus eine Schadstoffmenge zwischen 21,8 kg und 52,3 kg (Holzhaus: zwischen 15,4 kg und 37,0 kg). Setzt man hingegen die wasserverdünnbaren Lacke und Lasuren ein, dann ergibt sich für das Referenzhaus eine Schadstoffmenge zwischen 1,6 kg und 6,5 kg (Holzhaus: zwischen 1,1 kg und 4,6 kg). Bei Verwendung des Produkts *Einza Holzcolor* sind keine gefährlichen Stoffe in den beiden Gebäuden zu finden.

#### Dispersionsfarben

In den Dispersionsfarben sind die Schadstoffgehalte mit 2,0, 3,5 bzw. 9,0 Prozent alle recht niedrig. In den drei Produkten der Firma Sikkens (*Diwadur HD LF*, *Diwaplus* und *Diwamatt-LF*) sind laut Sicherheitsdatenblatt gar keine gefährlichen Inhaltsstoffe vorhanden. So können bei Einsatz der Dispersionsfarben im Referenzhaus zwischen 5,0 kg und 22,6 kg (Holzhaus: zwischen 6,3 kg und 28,1 kg) gefährliche Stoffe vorhanden sein. Auch bei den Dispersionsfarben lässt sich der Anteil auf 0 kg reduzieren.

---

<sup>18</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).



Tabelle 19: Deckfarben; lösemittelhaltige Dickschicht-Lasuren

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Kompakt 94	Lösemittelhaltige Dickschicht-Holzlasur auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	42,5	30,9	21,9
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	15,6	11,3	8,0
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	3,7	2,7	1,9
			<b>61,8</b>	<b>44,9</b>	<b>31,8</b>
Sikkens Cetol Filter 7		Dichlofluorid	0,5	0,4	0,3
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	42,5	30,9	21,9
		Aromatische Kohlenwasserstoffe, hochsiedend	8,5	6,2	4,4
			<b>51,5</b>	<b>37,5</b>	<b>26,6</b>

Tabelle 20: Deckfarben; wasserverdünnbare Dickschicht-Lasur

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Aqua-Kompaktlasur	Zubereitung auf Basis einer wässrigen Dispersion von Alkydharz und Acrylat-Copolymerisat	2-Butoxyethanol	4,7	3,4	2,4
			<b>4,7</b>	<b>3,4</b>	<b>2,4</b>

**Tabelle 21: Deckfarben; lösemittelhaltige Imprägnier-Lasuren**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Holzlasur	Lösemittelhaltige Imprägnier-Holzlasur auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	68,6	49,9	35,3
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	2,3	1,7	1,2
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	1,0	0,7	0,5
			<b>71,9</b>	<b>52,3</b>	<b>37,0</b>
Sikkens Cetol HLS		Dichlofluorid	1,0	0,7	0,5
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	53,0	38,5	27,3
		Aromatische Kohlenwasserstoffe, hochsiedend	10,5	7,6	5,4
		<b>64,5</b>	<b>46,8</b>	<b>33,2</b>	
Sikkens Cetol Novatech		Xylol Isomerengemisch	1,5	1,1	0,8
		Dichlofluorid	1,0	0,7	0,5
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	19,5	14,2	10,0
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	8,0	5,8	4,1
		<b>30,0</b>	<b>21,8</b>	<b>15,4</b>	

**Tabelle 22: Deckfarben; wasserverdünnbare Imprägnier-Lasuren**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Aquanol	Zubereitung auf Basis einer wässrigen Dispersion von Alkydharz und Acrylat-Copolymerisat	2-Butoxyethanol	5,5	4,0	2,8
			<b>5,5</b>	<b>4,0</b>	<b>2,8</b>
Sikkens Cetol BL Decor		Butylglykol	3,5	2,5	1,8
		Propylenglykol Technisch	5,5	4,0	2,8
			<b>9,0</b>	<b>6,5</b>	<b>4,6</b>

**Tabelle 23: Deckfarben; wasserverdünnbare Dispersionslacke**

<b>Produktbezeichnung</b>	<b>Chemische Charakterisierung</b>	<b>Gefährliche Inhaltsstoffe</b>	<b>Gehalt [%]</b>	<b>Referenzhaus [kg]</b>	<b>Holzhaus [kg]</b>
Einza Reinacryl	Zubereitung auf Basis einer wässrigen Acrylharzdispersion	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,2	1,6	1,1
			<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>
Einza Holzcolor	Dispersionslackfarbe auf Basis einer wässrigen Acrylcopolymerdispersion	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

**Tabelle 24: Dispersionsfarben; wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Kunstharzdispersion)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Sikkens Diwagolan Superweiß		Propylenglykol Technisch	3,5	8,8	11,0
			<b>3,5</b>	<b>8,8</b>	<b>11,0</b>

**Tabelle 25: Dispersionsfarben; wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Silikonharz, Siloxan)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Sikkens Diwaloxan Bauschutzfarbe		Monoethylenglykol	2,0	5,0	6,3
			<b>2,0</b>	<b>5,0</b>	<b>6,3</b>

**Tabelle 26: Dispersionsfarben; wasserverdünnter Dispersionslack**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Sikkens Color Acryllack		Butylglykol	1,0	2,5	3,1
		Butyldiglykol	1,0	2,5	3,1
		Propylenglykol Technisch	7,0	17,6	21,9
			<b>9,0</b>	<b>22,6</b>	<b>28,1</b>

**Tabelle 27: Dispersionsfarben; Dispersionswandfarben**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Sikkens Diwadur HD LF		entfällt	0,0	0,0	0,0
Sikkens Diwaplus		entfällt	0,0	0,0	0,0
Sikkens Diwamatt-LF		entfällt	0,0	0,0	0,0



### 6.1.2 Holzfensterlacke

Es werden drei verschiedene Holzfensterlacke der Firma Einza miteinander verglichen (siehe Tabelle 28). Der Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>19</sup> liegt zwischen 21,6 und 37,7 Prozent. Im Referenzhaus sind demnach zwischen 10,1 kg und 17,6 kg gefährliche Stoffe zu finden, im Holzhaus zwischen 8,9 kg und 15,6 kg.

### 6.1.3 Heizkörperlacke

Es werden die Sicherheitsdatenblätter von vier verschiedenen Heizkörperlacken ausgewertet, davon drei lösemittelhaltige Lacke und ein wasserverdünnbarer Lack mit Umweltzeichen (siehe Tabelle 29). Die drei lösemittelhaltigen Heizkörperlacke besitzen einen Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>19</sup> zwischen 34,9 und 39,5 Prozent. Der schadstoffarme Heizkörperlack weicht mit 2,2 Prozent gefährlichen Inhaltsstoffen deutlich von den anderen drei Produkten ab.

Umgerechnet auf die in den beiden Gebäuden eingesetzten Lackmengen (Referenzhaus 7,5 kg, Holzhaus 1,9 kg) bedeutet dies, dass sich im Referenzhaus zwischen 0,17 kg und 2,97 kg gefährliche Stoffe befinden können, im Holzhaus hingegen lediglich zwischen 0,04 kg und 0,76 kg. Der geringere Wert für das Holzhaus ergibt sich daraus, dass im Referenzhaus in allen Räumen über Radiatoren (Flächenheizkörper) geheizt wird (insgesamt 13 Radiatoren), die mit Heizkörperlack behandelt werden, während im Holzhaus lediglich drei Radiatoren eingesetzt werden. Zusätzlich steht im Holzhaus eine Fußbodenheizung aus Kunststoff zur Verfügung, die jedoch nicht mit Heizkörperlack behandelt wird.

Bei den Holzschutzölen ist der Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen sehr hoch, er beträgt überwiegend 100 Prozent (einzige Ausnahme: *Aidol Carbolin* mit 62,5 Prozent). In den beiden Gebäudevarianten befinden sich demnach bei Verwendung von Holzschutzölen im Referenzhaus zwischen 5,6 kg und 8,9 kg, im Holzhaus zwischen 11,7 kg und 18,6 kg gefährliche Stoffe.

---

<sup>19</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle 28: Holzfensterlacke**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Fensterbasis	Lösemittelhaltiges, feuchtigkeitsregulierendes Anstrichmittel auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	20,8	9,7	8,6
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	15,0	7,0	6,2
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	1,9	0,9	0,8
			<b>37,7</b>	<b>17,6</b>	<b>15,6</b>
Einza Fensterfinish	Lösemittelhaltiger Weißlack auf Alkydharzbasis	Xylol Isomerengemisch	3,3	1,5	1,4
		p-Menthadien-1,8 (9)	1,1	0,5	0,4
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	2,3	1,1	0,9
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	14,9	7,0	6,2
		<b>21,6</b>	<b>10,1</b>	<b>8,9</b>	
Einza Selection Fensterlack	Lösemittelhaltiges Anstrichmittel auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	9,5	4,4	3,9
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	7,8	3,6	3,2
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	8,2	3,8	3,4
		<b>25,5</b>	<b>11,8</b>	<b>10,5</b>	

Tabelle 29: Heizkörperlacke

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Einza Heizkörper-Flutlack	Lösemittelhaltiger Heizkörperlack auf Alkydharzbasis	Xylol Isomerengemisch	2,1	0,16	0,04
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	32,8	2,46	0,62
			<b>34,9</b>	<b>2,62</b>	<b>0,66</b>
Einza Heizkörper-Weißlack	Lösemittelhaltiger Weißlack auf Alkydharzbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 3 Flammpunkt 21-55°C	2,9	0,22	0,06
		Xylol Isomerengemisch	2,1	0,16	0,04
		Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	31,9	2,39	0,61
			<b>36,9</b>	<b>2,77</b>	<b>0,71</b>
Einza Aquatherm	Zubereitung auf Basis einer wässrigen Dispersion eines Methylmethacrylat-Butylacrylat-Copolymerisats	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,2	0,17	0,04
			<b>2,2</b>	<b>0,17</b>	<b>0,04</b>
Sikkens Heizkörperlack		Ethylbenzol	1,5	0,11	0,03
		Xylol Isomerengemisch	4,0	0,30	0,08
		Aliphatische Kohlenwasserstoffe	29,0	2,18	0,55
		Aromatische Kohlenwasserstoffe, hochsiedend	5,0	0,38	0,10
			<b>39,5</b>	<b>2,97</b>	<b>0,76</b>

## 6.2 Holzschutzmittel

Aus den Sachbilanzdaten der beiden Gebäudeökobilanzen geht lediglich die Masse an eingebautem Holz hervor, nicht jedoch, welche Mengen an Holzschutzmitteln damit verbunden sind. Die Berechnung des Holzschutzmittelverbrauchs in der vorliegenden Arbeit beruht daher auf verschiedenen Annahmen, die im Folgenden erläutert werden.

Der Verbrauch an Holzschutzmitteln ist in der Regel in Gramm Holzschutzmittel je m<sup>2</sup> Holz angegeben. Da in der vorliegenden Arbeit nur Massen- und Volumenangaben, nicht jedoch Angaben über die Oberfläche des eingebauten Holzes vorliegen, wird die Berechnung des Holzschutzmittelverbrauchs anhand von Durchschnittswerten aus der Umwelterklärung des Fertighausherstellers Weberhaus durchgeführt (Weberhaus 1999). In Tabelle 30 wird zunächst die Berechnung des durchschnittlich eingesetzten Bauholzes in den Jahren 1996 bis 1998 dargestellt.

**Tabelle 30: Berechnung des durchschnittlich eingesetzten Bauholzes je Haus**

	1998	1997	1996
<b>Bauholz im Werk [m<sup>3</sup>]</b>	19.759	18.918	17.425
<b>Anzahl erstellter Häuser</b>	616	610	581
<b>Bauholz je Haus [m<sup>3</sup>/Haus]</b>	<b>32,1</b>	<b>31,0</b>	<b>30,0</b>

Durchschnittlich werden demnach 31 m<sup>3</sup> Bauholz je Haus eingesetzt. Bei einer Holzdichte von 470 kg/m<sup>3</sup> (siehe Anhang, Tabelle A 8) sind dies umgerechnet 14.570 kg Bauholz je Gebäude. Auf Anfrage werden nach Angaben des Fertighausherstellers jedoch lediglich 4 Prozent des eingesetzten Bauholzes mit Holzschutzmitteln behandelt, was 583 kg imprägniertem Holz je Haus entspricht. In Tabelle 31 wird die Berechnung des durchschnittlichen Holzschutzmittelverbrauchs je Haus dargestellt.

**Tabelle 31: Berechnung des durchschnittlichen Holzschutzmittelverbrauchs je Haus**

	1998	1997	1996
<b>Holzschutzmittelverbrauch im Werk [kg]</b>	9.100	13.000	10.400
<b>Anzahl erstellter Häuser</b>	616	610	581
<b>HSM-Verbrauch je Haus [kg HSM/Haus]</b>	<b>14,8</b>	<b>21,3</b>	<b>17,9</b>

Der durchschnittliche Verbrauch an Holzschutzmitteln beträgt demnach 17,98 kg je Haus. Umgerechnet auf die Masse an imprägniertem Holz je Haus entspricht dies einem Verbrauch von 30,8 g Holzschutzmitteln je kg imprägniertem Holz.

Für die weiteren Berechnungen wird daher von einem Holzschutzmittelverbrauch von **30 g je kg imprägniertem Holz** ausgegangen. Dabei wird einerseits angenommen, dass dieser Verbrauch unabhängig von der Art des Holzschutzmittels ist, also sowohl für Holzschutzsalze als auch für Holzschutzöle zutrifft, andererseits, dass diese Angabe sowohl für das Referenzhaus als auch für das Holzhaus gilt.

In den beiden untersuchten Gebäudevarianten kommt Holz je nach Verwendungszweck in verschiedenen Bereichen zum Einsatz (siehe Tabelle 32).

Zunächst wird davon ausgegangen, dass die Platten (Holzwolleleichtbauplatten, Spanplatten und Hartfaserplatten) keiner Behandlung mit Holzschutzmitteln unterzogen werden. Das behandelbare Holz beläuft sich daher im Referenzhaus auf 7.399 kg, im Holzhaus auf 15.523 kg.

**Tabelle 32: Holzarten und Einsatzbereiche in den beiden Gebäudevarianten**

Holzarten und Einsatzbereiche	Referenzhaus [kg]	Zwischensumme [kg]	Holzhaus [kg]	Zwischensumme [kg]
Nadelschnittholz für Fassadenverkleidung	171			
Nadelschnittholz für Holzrahmenständer			2.626	
Nadelschnittholz für Lattung	3.867		6.250	
Balken für Kehlbalkendecke	520		3.130	
Sparren für Dach mit Zwischensparrendämmung	1.308	5.866	2.185	14.191
Nadelschnittholz für Technik (Wohnräume, Küche, WC)	3		3	
Nadelschnittholz für Technik (Kamin)	340	343	184	187
Außen-/Innentüren aus Nadelschnittholz	333		406	
Holzrahmen (Fenster, Türen)	450		398	
Fensterläden aus Nadelschnittholz	141	924	114	918
Geschosstreppe	266	266	227	227
Holzwolleleichtbauplatte	524			
Spanplatte	853		5.448	
Hartfaserplatte	253		286	
<b>Summe</b>	<b>9.029</b>	<b>7.399</b>	<b>21.257</b>	<b>15.523</b>

Analog zu den Angaben des Fertighausherstellers wird auch für die beiden untersuchten Gebäude die Annahme getroffen, dass lediglich 4 Prozent des Bauholzes mit Holzschutzmitteln behandelt werden. Im Referenzhaus beträgt die Masse an imprägniertem Holz daher 296 kg, im Holzhaus sind es 621 kg imprägniertes Holz. Bei einem durchschnittlichen Holzschutzmittelverbrauch von 30 g je kg imprägniertem Holz befinden sich demnach im Referenzhaus **8,88 kg**, im Holzhaus **18,63 kg Holzschutzmittel**. Mit diesen Daten werden die weiteren Berechnungen für Holzschutzmittel durchgeführt.

Hersteller von chemischen Holzschutzmitteln müssen ihre Produkte unterschiedlichen Produktgruppen zuordnen und mit einem Produkt-Code, dem sogenannten GISCODE versehen (Rühl und Kluger 1995). Tabelle 33 liefert eine Übersicht über einige Produktgruppen vorbeugender Holzschutzmittel und deren Produkt-Codes.

**Tabelle 33: Produkt-Codes für Holzschutzmittel nach Rühl und Kluger (1995)**

<b>Produkt-Code</b>	<b>Produktgruppenbezeichnung</b>
<b>HSM-W</b>	<b>Holzschutzmittel, vorbeugend wirksam, auf Salzbasis</b>
HSM-W 10	Borverbindungen
HSM-W 20	Silikofluoride
HSM-W 30	Hydrogenfluoride
HSM-W 40	Kupfer-, Bor- und Kupfer-HDO-Verbindungen
HSM-W 50	Quartäre Ammonium-Verbindungen
HSM-W 60	Kupfer- und quartäre Ammonium-Verbindungen
HSM-W 70	Chrom-, Kupfer- und Borverbindungen
HSM-W 80	Chrom-, Fluor- und Borverbindungen
HSM-W 90	Chrom-, Kupfer- und Fluorverbindungen
<b>HSM-LV</b>	<b>Holzschutzmittel, vorbeugend wirksam, auf anderer Grundlage (wässrig oder wasserverdünnbar sowie lösemittelhaltig)</b>
HSM-LV 10	Wässrig / wasserverdünnbar
HSM-LV 20	Lösemittelhaltig, entaromatisiert
HSM-LV 30	Lösemittelhaltig, aromatenarm
HSM-LV 40	Lösemittelhaltig, aromatenreich

In der vorliegenden Arbeit werden verschiedene Holzschutzmittel-Produkte der Firma Remmers verglichen, deren Sicherheitsdatenblätter öffentlich im Internet zugänglich sind (vergleiche Tabelle 14, Seite 55). Bei den untersuchten Produkten – vorbeugende Holzschutzmittel – handelt es sich um Flüssigsalze der Gruppen HSM-W 10, 40 und 70 sowie Holzschutzöle der Gruppen HSM-LV 10, 20 und 30.

### 6.2.1 Holzschutzmittel – Flüssigsalze

Bei den Holzschutzmitteln auf Flüssigsalzbasis liegen Daten für drei verschiedene Produktgruppen vor: mehrere borhaltige Holzschutzsalze (HSM-W 10), ein Produkt auf Basis von Kupfer-Bor-Verbindungen (HSM-W 40) und schließlich zwei Produkte auf Basis von Chrom-Kupfer-Borverbindungen (HSM-W 70). Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 34 bis Tabelle 36 dargestellt.

Die Bandbreite der Schadstoffgehalte<sup>20</sup> reicht von 6,7 Prozent bei der Produktgruppe HSM-W 40, über 10 bis 25 Prozent bei der Produktgruppe HSM-W 10, bis hin zu 64,4 bzw. 94,5 Prozent in der Produktgruppe HSM-W 70. Unter den borhaltigen Holzschutzsalzen befindet sich hingegen ein Produkt (*Adolit Bor flüssig*), das laut Angaben des Sicherheitsdatenblattes gar keine gefährlichen Inhaltsstoffe enthält.

Absolut gesehen bedeutet dies für den Vergleich der beiden Gebäudevarianten, dass sich im Referenzhaus zwischen minimal 0,6 kg und maximal 8,4 kg gefährliche Stoffe befinden, im Holzhaus entsprechend zwischen 1,3 kg und 17,6 kg. Bei Einsatz von *Adolit Bor flüssig* sind hingegen keine gefährlichen Stoffe vorhanden.

### 6.2.2 Holzschutzmittel – Holzschutzöle

Bei den Holzschutzölen können ebenfalls drei Produktgruppen verglichen werden: zum einen wasserverdünnbare (Produktgruppe HSM-LV 10), zum anderen lösemittelhaltige Holzschutzmittel – hier wiederum entaromatisierte (HSM-LV 20) und aromatenarme Holzschutzmittel (HSM-LV 30). Für aromatenreiche lösemittelhaltige Holzschutzmittel (HSM-LV 40) liegen hingegen keine Daten vor. In Tabelle 37 bis Tabelle 39 sind die Ergebnisse dargestellt.

Auf den Sicherheitsdatenblättern sind für den Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>20</sup> überwiegend sowohl minimale als auch maximale Werte angegeben. Bei einigen Holzschutzmitteln übersteigt der Gesamtgehalt bei der Summenbildung der Einzelstoffe allerdings 100 Prozent, weil mehrere Einzelstoffe einen Maximalgehalt von 100 Prozent besitzen. In diesen Fällen wird daher anstelle des maximal angegebenen Gehalts lediglich der maximal mögliche Gehalt gewählt.

Bei den Holzschutzölen ist der Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen sehr hoch, er beträgt überwiegend 100 Prozent (einzige Ausnahme: *Aidol Carbolin* mit 62,5 Prozent). In den beiden Gebäudevarianten befinden sich demnach bei Verwendung von Holzschutzölen im Referenzhaus zwischen 5,6 kg und 8,9 kg, im Holzhaus zwischen 11,7 kg und 18,6 kg gefährliche Stoffe.

---

<sup>20</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle 34: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (Produkt-Code HSM-W 10)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Adolit Holzbau B	Borhaltiges Holzschutzsalz	Diglycol	10,0	0,89	1,86
			<b>10,0</b>	<b>0,89</b>	<b>1,86</b>
Adolit Holzbau B	Borhaltiges Holzschutzsalz	2-Amino-ethanol	10,0	0,89	1,86
			<b>10,0</b>	<b>0,89</b>	<b>1,86</b>
Adolit Bor flüssig	Borhaltiges Holzschutzsalz	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Adolit Bor flüssig	Borhaltiges Holzschutzsalz	2-Amino-ethanol	25,0	2,22	4,66
			<b>25,0</b>	<b>2,22</b>	<b>4,66</b>

**Tabelle 35: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (Produkt-Code HSM-W 40)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Adolit TA 100	Flüssiges Holzschutzmittel auf Basis von Kupfer- und Borverbindungen	Kupfer(II)-hydroxidcarbonat	4,2	0,37	0,78
		Bis-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclohexylamitato-O,O') kupfer	2,5	0,22	0,47
			<b>6,7</b>	<b>0,59</b>	<b>1,25</b>

Tabelle 36: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (Produkt-Code HSM-W 70)

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Adolit CKO flüssig	Kupfer-Chrom-Borhaltiges Holzschutzsalz	Chromtrioxid	50,0	4,44	9,32
		Kupferoxid	14,4	1,28	2,68
			<b>64,4</b>	<b>5,72</b>	<b>12,00</b>
Adolit CKB-P	Kupfer-Chrom-Borhaltiges Holzschutzsalz	Kupfersulfat	31,0	2,75	5,78
		Natriumdichromat	50,0	4,44	9,32
		Chromtrioxid	10,0	0,89	1,86
		Kupferoxid	1,0	0,09	0,19
		Natriumhydrogensulfat	2,5	0,22	0,47
			<b>94,5</b>	<b>8,39</b>	<b>17,62</b>

Tabelle 37: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (Produkt-Code HSM-LV 10)

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Aidol VR echtbraun	Holzschutzmittel auf Alkydharzbasis mit bioziden Wirkstoffen	Kristallöl 60	78,0**	6,93	14,53
		Tris-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclohexylamitatoO,O')aluminium	2,0	0,18	0,37
		Kristallöl 30	10,0	0,89	1,86
		1,2,4-Trimethylbenzol	10,0	0,89	1,86
			<b>100</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>
Aidol Carbolin	Wässriges Holzanstrichmittel	Kristallöl 60	25,0	2,22	4,66
		Kristallöl 30	25,0	2,22	4,66
		Cocosfettsäurediethanol-amid mit Diethanolamin	10,0	0,89	1,86
		Isononylphenol, ethoxyliert	2,5	0,22	0,47
			<b>62,5</b>	<b>5,55</b>	<b>11,65</b>

\*\* Da der Gesamtgehalt bei der Summenbildung der Einzelstoffe 100 Prozent übersteigen würde, wird von diesem Einzelstoff der maximal mögliche Gehalt gewählt.

**Tabelle 38: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (Produkt-Code HSM-LV 20)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Aidol Grund/Bläuesperre	Lösemittelhaltiges Holzschutzmittel mit biozidem Wirkstoff	isoparaffinisches Kohlenwasserstoffgemisch	90,0**	7,99	16,77
		Kristallöl 60	10,0	0,89	1,86
			<b>100</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>
Aidol Imprägniergrund	Holzschutzmittel auf Alkydharzbasis mit bioziden Wirkstoffen	isoparaffinisches Kohlenwasserstoffgemisch	85,5**	7,59	15,93
		1,2,4-Trimethylbenzol	10,0	0,89	1,86
		Tris-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclohexylamitatoO,O')aluminium	2,0	0,18	0,37
		Kristallöl 60	2,5	0,22	0,47
		<b>100</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>	

\*\* Da der Gesamtgehalt bei der Summenbildung der Einzelstoffe 100 Prozent übersteigen würde, wird von diesem Einzelstoff der maximal mögliche Gehalt gewählt.

**Tabelle 39: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (Produkt-Code HSM-LV 30)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Aidol Imprägnierlasur	Lösemittelhaltiges Holzschutzmittel mit biozidem Wirkstoff	Kristallöl 60	100,0	8,88	18,63
			<b>100</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>
Aidol Fertigbau 100	Holzschutzmittel auf Alkydharzbasis mit bioziden Wirkstoffen	Kristallöl 60	86,5**	7,68	16,11
		1,2,4-Trimethylbenzol	10,0	0,89	1,86
		Tris-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclohexylamitatoO,O')aluminium	3,5	0,31	0,65
			<b>100</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>

\*\* Da der Gesamtgehalt bei der Summenbildung der Einzelstoffe 100 Prozent übersteigen würde, wird von diesem Einzelstoff der maximal mögliche Gehalt gewählt.



### 6.3 Klebstoffe

In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich Klebstoffe für Bodenbeläge untersucht, andere Klebstoffe, z.B. bei Tapezierarbeiten, werden nicht berücksichtigt.

Je nach Bodenbelag können verschiedene Klebstoffe eingesetzt werden. In den beiden Gebäudevarianten befinden sich Linoleumbeläge, textile Bodenbeläge und Steinzeugplatten. Die beiden Gebäude unterscheiden sich zum einen in der Gesamtfläche, zum anderen in der Verteilung der verschiedenen Bodenbeläge. Tabelle 40 liefert eine Übersicht über die flächenmäßige Verteilung der Bodenbeläge und der damit verbundenen Klebstoffmengen in den beiden Gebäudevarianten.

Die Gesamt-Bodenfläche ist im Holzhaus mit 174 m<sup>2</sup> ca. 10 m<sup>2</sup> höher als im Referenzhaus (164 m<sup>2</sup>). Im Referenzhaus wird der größte Anteil (66 m<sup>2</sup>) mit Linoleum ausgelegt, 58 m<sup>2</sup> sind mit textilem Bodenbelag und 40 m<sup>2</sup> mit Steinzeugplatten verlegt. Im Holzhaus hingegen wird der größte Teil der Bodenfläche (76 m<sup>2</sup>) mit Steinzeugplatten ausgelegt, 51 m<sup>2</sup> werden mit Linoleum beklebt und lediglich 47 m<sup>2</sup> mit textilem Bodenbelag. Ein interessanter Aspekt ist demnach, ob diese unterschiedliche Aufteilung in den beiden Gebäuden einen Einfluss auf die Schadstoffverteilung besitzt.

**Tabelle 40: Bodenbeläge; Fläche, Klebstoffmenge und -verbrauch in den beiden Gebäudevarianten**

	Referenzhaus			Holzhaus		
	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Klebstoffmenge [kg]	Klebstoffverbrauch [kg/m <sup>2</sup> ]	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Klebstoffmenge [kg]	Klebstoffverbrauch [kg/m <sup>2</sup> ]
<b>Linoleumbelag</b>	65,75	79	1,2	50,58	61	1,2
<b>Textiler Bodenbelag</b>	58,44	70	1,2	47,20	57	1,2
<b>Steinzeugplatten (Kleber: Mauer Mörtel)</b>	39,94	144	3,6	75,99	274	3,6
<b>Summe</b>	<b>164,13</b>	<b>293</b>		<b>173,77</b>	<b>392</b>	

Wie bereits für die Holzschutzmittel beschrieben (siehe Seite 70), gibt es auch für Klebstoffe eine Einteilung in verschiedene Produktgruppen, sogenannte GISCODE-Gruppen. In Tabelle 41 sind diese Produktgruppen zusammengefasst. Neben der Art des Klebstoffs (Dispersions-[D], Kunstkautschuk- oder Harz-Klebstoff [S], Epoxid- [RE] oder Polyurethanklebstoff [RU]) bietet diese Kennzeichnung auch einen Anhaltspunkt für den Lösemittelgehalt der verschiedenen Produkte.

**Tabelle 41: GISCODE für Klebstoffe im Bodenbereich nach Rühl und Kluger (1995)**

<b>Dispersionsklebstoffe</b>	
D 1	Lösemittelfrei
D 2	Lösemittelarm, aromatenfrei
D 3	Lösemittelarm, toluolfrei
D 4	Lösemittelarm, toluolhaltig
D 5	Lösemittelhaltig, aromatenfrei
D 6	Lösemittelhaltig, toluolfrei
D 7	Lösemittelhaltig, toluolhaltig
<b>Stark lösemittelhaltige Klebstoffe</b>	
S 1	Aromaten- und methanolfrei
S 2	toluol- und methanolfrei
S 3	Aromatenfrei
S 4	Methanolfrei
S 5	Toluolfrei und methanolhaltig
S 6	toluolhaltig
<b>Epoxidharz-Klebstoffe</b>	
RE 1	lösemittelfrei
RE 2	lösemittelarm
RE 3	lösemittelhaltig
RE 4	stark lösemittelhaltig
<b>Polyurethan-Klebstoffe</b>	
RU 1	lösemittelfrei
RU 2	lösemittelarm
RU 3	lösemittelhaltig
RU 4	stark lösemittelhaltig

Bei den untersuchten Klebstoffen handelt es sich – soweit ersichtlich – um Produkte der Gruppen D1, S6, RE1 und RU1. Die Daten entstammen aus den Sicherheitsdatenblättern der jeweiligen Produkte, die öffentlich im Internet zur Verfügung stehen (vergleiche Tabelle 14, Seite 55).

### 6.3.1 Klebstoffe für Linoleumbeläge und textile Bodenbeläge

Wie aus Tabelle 40 ersichtlich, beträgt der Klebstoffverbrauch bei den Klebstoffen für Linoleumbeläge und textile Bodenbeläge 1,2 kg je m<sup>2</sup> Bodenbelag. In den Sicherheitsdatenblättern der jeweiligen Klebstoffprodukte ist teilweise ein anderer Materialverbrauch angegeben, in der vorliegenden Arbeit werden die folgenden Berechnungen dennoch mit einem Materialverbrauch von 1,2 kg/m<sup>2</sup> durchgeführt.

### 6.3.1.1 Klebstoffe für Linoleumbeläge

In Tabelle 42 sind drei verschiedene Klebstoffe für Linoleumbeläge dargestellt. Bei den drei untersuchten Produkten handelt es sich um einen Dispersionsklebstoff (Produkt-Code D1), einen lösemittelfreien Zweikomponenten-Polyurethanklebstoff (Produkt-Code RU1) und einen lösemittelhaltigen Kontaktklebstoff (Produkt-Code S6). Bei dem Produkt *Schönox PU 900* handelt es sich um einen Zweikomponentenkleber, der aus einem Harz und einem Härter besteht. Die beiden Komponenten werden erst kurz vor der Verarbeitung zu einer homogenen Mischung verrührt, die sich laut Mischungsverhältnis zu 85 Prozent aus der Harz- und zu 15 Prozent aus der Härterkomponente zusammensetzt. Die jeweiligen Anteile der Komponenten müssen daher bei Berechnung der Schadstoffgehalte berücksichtigt werden. In der Harzkomponente sind laut Sicherheitsdatenblatt keine gefährlichen Inhaltsstoffe<sup>21</sup> vorhanden, in der Härterkomponente befinden sich hingegen bis zu 100 Prozent gefährliche Inhaltsstoffe, die jedoch nur mit 15 Prozent in die Rechnung eingehen. Umgerechnet auf die beiden Gebäudevarianten (Referenzhaus 79 kg, Holzhaus 61 kg Linoleumkleber) befinden sich also bei Einsatz von *Schönox PU 900* im Referenzhaus 11,9 kg, im Holzhaus 9,2 kg gefährliche Stoffe. In dem lösemittelhaltigen Kontaktkleber *Schönox N 640* sind 92,5 Prozent gefährliche Inhaltsstoffe enthalten, so dass bei dessen Verwendung die Menge an gefährlichen Stoffen im Referenzhaus 73,1 kg, im Holzhaus 56,4 kg beträgt. Der Dispersionsklebstoff *Schönox Linobond* enthält hingegen laut Sicherheitsdatenblatt keine gefährlichen Inhaltsstoffe. Bei dessen Einsatz lassen sich daher gefährliche Stoffe in beiden Gebäuden gänzlich vermeiden.

### 6.3.1.2 Klebstoffe für textile Bodenbeläge

In Tabelle 43 sind verschiedene Klebstoffe für textile Bodenbeläge dargestellt. Neben Linoleumbelägen können mit den beiden Produkten *Schönox PU 900* und *Schönox N 640* auch textile Bodenbeläge verklebt werden. Im Referenzhaus wurden insgesamt 70 kg, im Holzhaus 57 kg Klebstoffe für textile Bodenbeläge verbraucht, so dass sich bei Einsatz des Zweikomponenten-Polyurethanklebstoffs im Referenzhaus 10,5 kg (Holzhaus: 8,6 kg) gefährliche Stoffe<sup>21</sup> befinden. Verwendet man hingegen den lösemittelhaltigen Kontaktkleber, so beträgt die Menge an gefährlichen Stoffen im Referenzhaus 64,8 kg, im Holzhaus 52,7 kg. Auch bei den textilen Bodenbelägen gibt es als Alternative lösemittelfreie Dispersionskleber (*Schönox Floortex* und *Schönox Tex-Objekt*), die laut Angaben des Sicherheitsdatenblattes gar keine gefährlichen Inhaltsstoffe enthalten.

---

<sup>21</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle 42: Klebstoffe für Linoleumbeläge**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Schönox Linobond	Wässrige Dispersion eines Copolymerisats, modifiziertem Kolophoniumharz und Harzestern, karbonatische Füllstoffe	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Schönox PU 900	Lösemittelfreier Zweikomponenten-Polyurethanklebstoff Komponente A (Harz; 85%): Komponente B (Härter; 15%):	entfällt	0,0	0,0	0,0
		Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	100	11,9	9,2
			<b>15</b>	<b>11,9</b>	<b>9,2</b>
Schönox N 640	Polychloroprene in Lösungsmitteln	Spezialbenzin	50,0	39,5	30,5
		Toluol	12,5	9,9	7,6
		Ethylacetat	10,0	7,9	6,1
		Aceton	10,0	7,9	6,1
		Methylethylketon	10,0	7,9	6,1
			<b>92,5</b>	<b>73,1</b>	<b>56,4</b>

Tabelle 43: Klebstoffe für textile Bodenbeläge

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Schönox Floortex	Dispersionskleber, lösemittelfrei, emissionsarm	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Schönox Tex-Objekt	Dispersionskleber, lösemittelfrei, emissionsarm	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Schönox PU 900	Lösemittelfreier Zweikomponenten-Polyurethanklebstoff				
	Komponente A (Harz; 85%):	entfällt	0,0	0,0	0,0
	Komponente B (Härter; 15%):	Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	100	10,5	8,6
			<b>15</b>	<b>10,5</b>	<b>8,6</b>
Schönox N 640	Polychloroprene in Lösungsmitteln	Spezialbenzin	50,0	35,0	28,5
		Toluol	12,5	8,8	7,1
		Ethylacetat	10,0	7,0	5,7
		Aceton	10,0	7,0	5,7
		Methylethylketon	10,0	7,0	5,7
			<b>92,5</b>	<b>64,8</b>	<b>52,7</b>



### 6.3.2 Klebstoffe für Steinzeugplatten

Zur Verklebung von Steinzeugplatten können verschiedene Arten von Klebstoffen verwendet werden. In den beiden untersuchten Gebäuden wurde laut Sachbilanzdaten als Kleber für die Steinzeugplatten ausschließlich Mauermörtel, also ein Klebstoff auf zementärer Basis verwendet (siehe Tabelle A 10 und Tabelle A 17 im Anhang). Um dennoch einen Vergleich mit anderen Klebstoffen zu ermöglichen, wurden der Vollständigkeit halber mehrere Dispersionskleber sowie Kleber auf Polyurethan- und auf Epoxidharzbasis in der vorliegenden Arbeit mit untersucht.

Der Klebstoffverbrauch beträgt – bezogen auf den Klebstoff Mauermörtel – für den Bodenbelag Steinzeugplatten 3,6 kg/m<sup>2</sup> (siehe Tabelle 40, Seite 77). Bei Verwendung von Dispersionsklebern bzw. Klebern auf Polyurethan- oder Epoxidharzbasis variiert der Materialverbrauch laut Sicherheitsdatenblättern je nach Produkt. Dennoch werden die folgenden Berechnungen auch für diese Klebstoffe mit einem Materialverbrauch von 3,6 kg/m<sup>2</sup> durchgeführt.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Tabelle 44 bis Tabelle 46 dargestellt.

Alle untersuchten Dispersionsklebstoffe der verschiedenen Anbieter enthalten laut Sicherheitsdatenblatt keine gefährlichen Inhaltsstoffe<sup>22</sup>. Die Klebstoffe auf Polyurethan- oder Epoxidharzbasis bestehen jeweils aus zwei Komponenten – einem Harz und einem Härter. Wie schon für den Zweikomponenten-Linoleumklebstoff (siehe Seite 79) erläutert, muss die Berechnung der gefährlichen Inhaltsstoffe demnach je nach Mischungsverhältnis auf die jeweiligen Anteile der beiden Komponenten bezogen werden. Für den Klebstoff *Schönox 2K-PU* bedeutet dies beispielsweise, dass Komponente A, in der keine gefährlichen Inhaltsstoffe enthalten sind, mit 83 Prozent, Komponente B, die zu 100 Prozent aus gefährlichen Inhaltsstoffen besteht, jedoch nur zu 17 Prozent in die Rechnung eingeht.

Bei den drei untersuchten Klebstoffen auf Epoxidharzbasis liegt die Bandbreite an gefährlichen Inhaltsstoffen zwischen 23,8 und 37,8 Prozent, der Kleber auf Polyurethanbasis liegt mit 16,7 Prozent geringfügig darunter. Bezogen auf die beiden Gebäudevarianten (Referenzhaus 144 kg, Holzhaus 274 kg Klebstoff) bedeutet dies, dass im Referenzhaus zwischen 34,3 kg und 54,4 kg gefährliche Stoffe vorhanden sein können (Holzhaus: zwischen 65,1 kg und 103,6 kg), verwendet man den Polyurethankleber, dann befinden sich im Referenzhaus 24,0 kg, im Holzhaus 45,8 kg gefährliche Stoffe.

---

<sup>22</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Bei den Klebstoffen auf zementärer Basis sind als gefährliche Inhaltsstoffe<sup>23</sup> hauptsächlich Zement bzw. Portlandzement angegeben, in einem Produkt befindet sich zusätzlich ein geringer Anteil an Titandioxid. Da alle untersuchten Produkte als „chromatarm gemäß TRGS 613“ eingestuft sind, also einen Chromatgehalt kleiner als 2 ppm besitzen, spielt Chromat als gefährlicher Inhaltsstoff bei den untersuchten Klebstoffen keine Rolle. Der Gehalt an Zement liegt bei den untersuchten Klebstoffen bei 25 bzw. 50 Prozent, so dass im Referenzhaus bei Einsatz von Klebstoffen auf zementärer Basis zwischen 36 und 72 kg, im Holzhaus zwischen 68,5 und 137 kg gefährliche Stoffe vorhanden sind.

---

<sup>23</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle 44: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Dispersionskleber)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Albon Coll Paneel- und Montagekleber	Einkomponentiger Dispersionskleber, lösemittelfrei	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Schönox TL	Wässrige Dispersion eines Copolymerisats und silikatischen Füllstoffen, enthält geringe Mengen Lösemittel	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Relö Fliesenklebstoff wasserbeständig	Wässrige Dispersion; Dispersionsklebstoff mit besonderen Additiven	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Relö Fliesen- und Mehrzweckkleber	Dispersionsklebstoff (Bindemittel: Polystyrol-Acrylat Copolymerisat in wässriger Dispersion; Füllstoffe: calcitisch)	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

Tabelle 45: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Polyurethan-Basis / Epoxidharz-Basis)

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt Komponenten [%]	Gehalt Mischung [%]	Ref.-haus [kg]	Holzhaus [kg]
Schönox 2K-PU	Zweikomponentiges Reaktionsharzsystem auf Polyurethan-Basis; Komponente A (Harz; 83,33%):	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
	Komponente B (Härter; 16,67%):	Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	100	16,7	24,0	45,8
				<b>16,7</b>	<b>24,0</b>	<b>45,8</b>
Schönox KR	Zweikomponentiges Reaktionsharzsystem auf Epoxidharz-Basis; Komponente A (Harz; 80%):	Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	25,0		28,8	54,8
		Benzylalkohol	2,5	22,0	2,9	5,5
	Komponente B (Härter; 20%):	Diethylentriamin	10,0		2,9	5,5
		3-Aminopropyltriethoxysilan	10,0	4,0	2,9	5,5
				<b>26,0</b>	<b>37,5</b>	<b>71,2</b>
Viscacid Epoxi-Fugenspachtel / Kleber	Lösemittelfreies, mineralisch gefülltes Epoxidharz, mit Glycidylether verdünnt; Komponente A (Harz; 62,5%):	Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	25,0		22,5	42,8
		o-Kresylglycidylether	10,0	21,9	9,0	17,1
	Komponente B (Härter; 37,5%):	1,2,4-Trimethylbenzol	2,5		1,4	2,6
		Triethylentetramin	2,5	1,9	1,4	2,6
				<b>23,8</b>	<b>34,3</b>	<b>65,1</b>
Relö EP-Fliesenklebstoff	Lösemittelfreies Epoxidharz mit mineralischen Zuschlagstoffen und Thixotropiermitteln; Komponente A (Harz; 64%):	Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	25,0		23,0	43,8
		Bisphenol-F-Epichlorhydrinharze	10,0		9,2	17,5
		Hexandiol diglycidylether	10,0	28,8	9,2	17,5
	Komponente B (Härter; 36%):	Isophoron-diamin	10,0		5,2	9,9
		Tetraethylenpentamin	10,0		5,2	9,9
		2,4,6-Tri-(dimethylaminomethyl)phenol	2,5		1,3	2,5
		1,2,4-Trimethylbenzol	2,5	9,0	1,3	2,5
				<b>37,8</b>	<b>54,4</b>	<b>103,6</b>

**Tabelle 46: Klebstoffe für Steinzeugplatten (zementäre Basis)**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Relö Fliesenkleber	Anorganische Bindemittelkombination mit Füll-/Zusatzstoffen und organischen Additiven	Zement	50,0	72,0	137,0
			<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>
Aida Elastokleber	Trockenmörtel mit Portlandzement, mit mineralischen Zuschlägen und Additiven	Zement	50,0	72,0	137,0
			<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>
Schönox FK-1	Normen-Zement gemäß EN 196, silikatische Füllstoffe und redispergierbare Kunststoffe	Portlandzement	50,0	72,0	137,0
			<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>
Schönox MBK weiß	Normen-Zement gemäß EN 196, grob-silikatische Füllstoffe und redispergierbare Kunststoffe	Portlandzement	25,0	36,0	68,5
		Titandioxid	2,5	3,6	6,9
			<b>27,5</b>	<b>39,6</b>	<b>75,4</b>
Relö Fließbettkleber	Gemisch aus nachfolgend angeführten Stoffen mit ungefährlichen Beimengungen	Zement	25,0	36,0	68,5
			<b>25,0</b>	<b>36,0</b>	<b>68,5</b>
Schönox SK	Normen-Zement gemäß EN 196, silikatische Füllstoffe und redispergierbare Kunststoffe	Portlandzement	50,0	72,0	137,0
			<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>

## 6.4 Dichtungsmittel

Die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit beziehen sich ausschließlich auf Produkte zur Abdichtung im Fensterbereich. Andere Dichtungsmittel (z.B. im Sanitärbereich) werden aufgrund fehlender Sachbilanzdaten nicht berücksichtigt. Die beiden Gebäudevarianten unterscheiden sich nur geringfügig in der Menge an Dichtungsmitteln. Während im Referenzhaus, dessen Gesamtfensterfläche 30 m<sup>2</sup> beträgt, 13 kg Dichtungsmittel eingesetzt werden, sind es im Holzhaus bei einer Fensterfläche von 26,5 m<sup>2</sup> nur 12 kg Dichtungsmittel.

Zum Abdichten von Fugen können verschiedene Dichtungsmassen eingesetzt werden. Weit verbreitet sind Silikon- und Acrylatdichtungsmassen, des Weiteren gibt es Fugenmassen auf Basis von Polysulfid, Polyurethan und einige andere (Kluger et al. 1995).

Silikondichtungsmassen kann man in drei verschiedene Vernetzungssysteme unterteilen (als Vernetzung wird der Vorgang der Aushärtung nach dem Auftragen bezeichnet): das alkalisch reagierende Amin-System, das sauer reagierende Acetat-System und einige neutral reagierende Systeme (z.B. Oxim-System, Alkohol-System). Je nach Vernetzungssystem werden dabei unterschiedliche Stoffe freigesetzt, die in Abhängigkeit von der Konzentration eine Gefährdung darstellen können.

In der vorliegenden Arbeit werden jeweils ein Dichtstoff auf Polyurethanbasis, Carbonsäure-Copolymerisatbasis und Kunstharzbasis sowie verschiedene Dichtstoffe auf Silikonbasis mit unterschiedlichen Vernetzungssystemen untersucht. Als Datengrundlage dienen die Sicherheitsdatenblätter der verschiedenen Produkte (vergleiche Tabelle 14, Seite 55). Die Ergebnisse sind in Tabelle 47 dargestellt.

Die Bandbreite an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>24</sup> liegt bei den Dichtungsmassen zwischen 2,5 und 20 Prozent, drei Produkte (*Bostik 1566*, *Bostik 2720* sowie *Klebe- und Dichtmasse CS*) enthalten laut Sicherheitsdatenblatt keine gefährlichen Inhaltsstoffe.

Für die beiden Gebäudevarianten bedeutet dies, dass sich im Referenzhaus zwischen 0,33 kg und 2,6 kg gefährliche Stoffe befinden können, im Holzhaus zwischen 0,30 kg und 2,4 kg. Bei Einsatz der Dichtstoffe *Bostik 1566*, *Bostik 2720* bzw. *Klebe- und Dichtmasse CS* sind hingegen keine gefährlichen Stoffe in den beiden Gebäuden vorhanden.

Es wird nochmals betont, dass es sich bei den Dichtungsmassen lediglich um Produkte zur Abdichtung von Fenstern handelt. Die Masse an gefährlichen Stoffen erhöht sich dementsprechend, wenn beispielsweise Dichtungsmassen im Sanitärbereich mit berücksichtigt werden.

---

<sup>24</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle 47: Dichtungsmassen für Glas- und Fensterbau**

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Bostik 1566	Einkomponentiger plastischer Fugendichtstoff (trocknende Öle)	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Bostik 2720	Einkomponenten-Hybrid-Dichtstoff, neutral vernetzend	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Klebe- und Dichtmasse CS	Lösungsmittelhaltiger Einkomponenten-Dichtstoff auf Basis Carbonsäure-Copolymerisat, neutral/physikalisch trocknend	entfällt	0,0	0,0	0,0
			<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Universaldichtmasse	Lösungsmittelfreier Dichtstoff auf Kunstharzbasis, neutral/physikalisch trocknend	Diglycol Naphtha (Erdöl), (Benzolgehalt < 0,1%)	2,5 2,5	0,33 0,33	0,30 0,30
			<b>5,0</b>	<b>0,66</b>	<b>0,60</b>
Bostik 2637	Einkomponenten-Polyurethandichtstoff	Xylol Isomerengemisch 2,4-Diisocyanat-toluol	5,0 0,02	0,65 0,003	0,60 0,002
			<b>5,0</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>
Albardin Multi-Sil	Silikonkautschukdichtstoff, neutral vernetzend (Alkohol-System)	Trimethoxyvinylsilan	5,0	0,65	0,60
			<b>5,0</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>
Silikon SL	Einkomponenten-Silikondichtstoff, neutral vernetzend (Alkoxy-System)	Methyltrimethoxysilan	2,5	0,33	0,30
			<b>2,5</b>	<b>0,33</b>	<b>0,30</b>

## Fortsetzung Tabelle 47: Dichtungsmassen für Glas- und Fensterbau

Produktbezeichnung	Chemische Charakterisierung	Gefährliche Inhaltsstoffe	Gehalt [%]	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
Silikon SO	Einkomponenten-Silikondichtstoff, neutral vernetzend (Oxim-System)	Trisbutanonoximmethylsilan	10,0	1,30	1,20
			<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>
Silikon N	Einkomponenten-Silikondichtstoff, neutral vernetzend (Oxim-System)	Naphtha (Erdöl), (Benzolgehalt < 0,1%) Trisbutanonoximmethylsilan	10,0	1,30	1,20
			10,0	1,30	1,20
		<b>20,0</b>	<b>2,60</b>	<b>2,40</b>	
Nibosil 3052 N	Einkomponenten-Silikonkautschuk, neutral vernetzend (Oxim-System)	Butan-2-on-O,O',O''- (methylsilylidyn)trioxim	10,0	1,30	1,20
			<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>
Albardin Silicon anstrichverträglich	Silikonkautschukdichtstoff, neutral vernetzend (Oxim-System)	Butan-tris-ketoximo- ethylmethylsilan	6,0	0,78	0,72
			<b>6,0</b>	<b>0,78</b>	<b>0,72</b>
Albardin Silicon 100	Fugendichtmasse auf Silikonbasis, acetatvernetzend	Ethyltriacetoxysilan	5,0	0,65	0,60
			<b>5,0</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>
Sanitär Silikon	Einkomponenten-Silikondichtstoff, acetatvernetzend	Ethyltriacetoxysilan	10,0	1,30	1,20
			<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>
Silikon SR	Einkomponenten-Silikondichtstoff, acetatvernetzend	Ethyltriacetoxysilan	10,0	1,30	1,20
			<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>
Silikon A	Einkomponenten-Silikondichtstoff, acetatvernetzend	Naphtha (Erdöl), (Benzolgehalt < 0,1%) Ethyltriacetoxysilan	10,0	1,30	1,20
			10,0	1,30	1,20
		<b>20,0</b>	<b>2,60</b>	<b>2,40</b>	

## 6.5 Zement

Zement ist in beiden Gebäuden als Zuschlagstoff in verschiedenen zementhaltigen Baustoffen wie Beton, Zementestrich, Putz und Mauermörtel vorhanden. Der Anteil an Zement variiert dabei je nach Baustoff. In Tabelle 48 sind daher die Daten abgebildet, die zur Berechnung des Zements in der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt werden. Folgende Annahmen bzw. Vereinfachungen werden dabei getroffen:

Je nach Herstellung, Zusammensetzung etc. unterscheidet man verschiedene Zementsorten (Portlandzement, Hochofenzement u.a.). Alle folgenden Berechnungen werden auf der Basis von Portlandzement (Dichte: 3100 kg/m<sup>3</sup>)<sup>25</sup> durchgeführt. Mineralputz und mineralischer Außenputz werden als Zement-Maschinenputz für innen und außen zusammengefasst. Für Mauermörtel wird die Mörtelgruppe 3 zugrunde gelegt.

**Tabelle 48: Zementanteile in zementhaltigen Baustoffen**

Zementhaltige Baustoffe	Anteil Zement / Baustoff	Quelle
<b>Beton</b>	0,12 kg Zement / kg Fertigbeton	ifib et al. (1995), S. 33
<b>Mineralputz</b>	0,18 kg Zement / kg Putz	ifib et al. (1995), S. 197
<b>Außenputz mineralisch</b>	0,18 kg Zement / kg Putz	ifib et al. (1995), S. 197
<b>Zementestrich</b>	340 - 480 kg Zement / m <sup>3</sup> Estrich; gerechnet wird mit 400 kg/m <sup>3</sup>	Knoblauch et al. (1991), S. 405
<b>Mauermörtel MG2</b>	0,20 kg Zement / kg Mauermörtel	ifib et al. (1995), S. 180

Aus den Materialbilanzen der beiden Gebäude (siehe Anhang, Tabelle A 9 bis Tabelle A 20) können Masse und Volumen der zementhaltigen Produkte entnommen werden, die mit Hilfe der jeweiligen Zementanteile dann in Masse bzw. Volumen des Zements umgerechnet werden. Die Ergebnisse sind für das Referenzhaus in Tabelle 49 dargestellt, für das Holzhaus in Tabelle 50.

**Tabelle 49: Referenzhaus; Anteil Zement in den zementhaltigen Baustoffen**

	Zementhaltige Produkte		Zement	
	Masse [kg]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
<b>Beton</b>	179.309	77,6	21.517	6,9
<b>Mineralputz</b>	21.574	12,0	3.883	1,3
<b>Außenputz mineralisch</b>	5.320	2,7	958	0,3
<b>Zementestrich</b>	26.431	13,2	5.280	1,7
<b>Mauermörtel MG2</b>	397	0,2	79	0,03
<b>Summe</b>	233.031	105,7	<b>31.717</b>	<b>10,2</b>

<sup>25</sup> Quelle: <http://www-stud.fh-konstanz.de/~bau11697/studium/bt1/uebung1.html> vom 09.05.00.

**Tabelle 50: Holzhaus; Anteil Zement in den zementhaltigen Baustoffen**

	Zementhaltige Produkte		Zement	
	Masse [kg]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
<b>Beton</b>	127.360	53,1	15.283	4,9
<b>Mineralputz</b>	7.128	4,0	1.283	0,4
<b>Außenputz mineralisch</b>	5.379	2,7	968	0,3
<b>Zementestrich</b>	34.982	17,5	7.000	2,3
<b>Mauermörtel MG2</b>	411	0,2	82	0,03
<b>Summe</b>	<b>175.260</b>	<b>77,5</b>	<b>24.616</b>	<b>7,9</b>

Zement enthält Chromat als gefährlichen Inhaltsstoff<sup>26</sup>. Für den Chromatgehalt in Zement findet man in der Literatur verschiedene Werte:

Nach Angaben von ITAS, IWU, ifib und Partner (1996) liegt der Chromatgehalt im Zement zwischen 0,1 und 27 ppm. Nach Rühl und Kluger (1995) beträgt der Gehalt an wasserlöslichem Chromat bei den in Deutschland erhältlichen Portlandzementen zwischen 3 und 35 ppm, bei anderen Zementsorten, z.B. Hochofenzement, ist der Chromatgehalt niedriger. Alle als „chromatarm gemäß TRGS 613“ gekennzeichneten Zemente müssen einen Chromatgehalt von weniger als 2 ppm aufweisen.

Abweichend von den in den vorigen Abschnitten beschriebenen Baustoffen, bei denen Sicherheitsdatenblätter als Datengrundlage für den Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen dienen, werden zur Berechnung der Chromatmenge in den beiden Gebäudevarianten beispielhaft der niedrigste (0,1 ppm), der höchste (35 ppm) sowie der Chromatgehalt nach TRGS 613 (2 ppm) ausgewählt. Die Einheit ppm („parts per million“) gibt nach Streit (1994) an, wie viele Gewichts- oder Volumeneinheiten einer Substanz in 10<sup>6</sup> Einheiten einer anderen Substanz enthalten sind. Ein Chromatgehalt in ppm entspricht demnach einem Chromatgehalt in mg/kg.

In Tabelle 51 bis Tabelle 53 sind die absoluten Chromatmengen in den beiden Gebäudevarianten für die verschiedenen Chromatgehalte des Zements dargestellt. Im Referenzhaus können sich demnach je nach Zementart zwischen 3,2 g und 1,1 kg Chromat befinden, im Holzhaus zwischen 2,5 g und 862 g. Wird bei den zementhaltigen Produkten ausschließlich chromatarmer Zement gemäß TRGS 613 verwendet, so sind im Referenzhaus maximal 63 g, im Holzhaus maximal 49 g Chromat vorhanden.

<sup>26</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle 51: Chromatmengen in beiden Gebäudevarianten (Chromatgehalt = 0,1 ppm)

	Referenzhaus Zement [kg]	Holzhaus Zement [kg]	Referenzhaus Chromat [g]	Holzhaus Chromat [g]
<b>Beton</b>	21.517	15.283	2,152	1,528
<b>Mineralputz</b>	3.883	1.283	0,388	0,128
<b>Außenputz mineralisch</b>	958	968	0,096	0,097
<b>Zementestrich</b>	5.280	7.000	0,528	0,700
<b>Mauermörtel MG2</b>	79	82	0,008	0,008
<b>Summe</b>	<b>31.717</b>	<b>24.616</b>	<b>3,172</b>	<b>2,461</b>

Tabelle 52: Chromatmengen in beiden Gebäudevarianten (Chromatgehalt = 2 ppm)

	Referenzhaus Zement [kg]	Holzhaus Zement [kg]	Referenzhaus Chromat [g]	Holzhaus Chromat [g]
<b>Beton</b>	21.517	15.283	43,03	30,57
<b>Mineralputz</b>	3.883	1.283	7,77	2,57
<b>Außenputz mineralisch</b>	958	968	1,92	1,94
<b>Zementestrich</b>	5.280	7.000	10,56	14,00
<b>Mauermörtel MG2</b>	79	82	0,16	0,16
<b>Summe</b>	<b>31.717</b>	<b>24.616</b>	<b>63,44</b>	<b>49,24</b>

Tabelle 53: Chromatmengen in beiden Gebäudevarianten (Chromatgehalt = 35 ppm)

	Referenzhaus Zement [kg]	Holzhaus Zement [kg]	Referenzhaus Chromat [g]	Holzhaus Chromat [g]
<b>Beton</b>	21.517	15.283	753,1	534,9
<b>Mineralputz</b>	3.883	1.283	135,9	44,9
<b>Außenputz mineralisch</b>	958	968	33,5	33,9
<b>Zementestrich</b>	5.280	7.000	184,8	245,0
<b>Mauermörtel MG2</b>	79	82	2,8	2,9
<b>Summe</b>	<b>31.717</b>	<b>24.616</b>	<b>1.110,1</b>	<b>861,6</b>

## 7 Wirkungsabschätzung – Wirkung der bilanzierten Schadstoffe

In Kapitel 6 wurden für beide Gebäudevarianten auf Grundlage bereits bestehender Sachbilanzdaten die in den eingesetzten Baustoffen enthaltenen gefährlichen Inhaltsstoffe<sup>27</sup> berechnet, wobei verschiedene Produktalternativen berücksichtigt wurden.

In diesem Abschnitt folgt daher nach der Methode der Ökobilanz eine Wirkungsabschätzung für die bilanzierten Schadstoffe. Wie bereits in Kapitel 3.1.3 (siehe Seite 21) beschrieben, setzt sich eine Wirkungsabschätzung aus den drei verbindlichen Teilschritten *Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Modellen*, der *Klassifizierung* und der *Charakterisierung* zusammen (DIN 14042).

### 7.1 Auswahl von Wirkungskategorien und Klassifizierung

Während die Sachbilanzdaten der beiden Gebäudeökobilanzen in der Arbeit von Quack (2000) z.B. Wirkungskategorien wie Treibhaus- und Versauerungspotenzial zugeordnet wurden, wird in der vorliegenden Arbeit eine Methode zur Berechnung des Gefahrstoffpotenzials HSP (Hazardous Substance Potential) innerhalb der Wirkungskategorie Humantoxizität vorgestellt.

Die bilanzierten gefährlichen Inhaltsstoffe werden daher alle dieser einen Wirkungskategorie zugeordnet (Klassifizierung). Sofern einige der bilanzierten Inhaltsstoffe auch einen Beitrag zu anderen Wirkungskategorien (z.B. Treibhauseffekt oder Ökotoxizität) besitzen, wird dieser Effekt in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

### 7.2 Charakterisierung

Im dritten Schritt der Wirkungsabschätzung, der Charakterisierung, werden anhand der Sachbilanzdaten Wirkungsindikatorergebnisse berechnet. Dieser Vorgang besteht wiederum aus den beiden Teilschritten

- Auswahl und Anwendung eines Charakterisierungsfaktors, um die zugeordneten Sachbilanzergebnisse in gemeinsame Einheiten umzuwandeln,
- Zusammenfassung der umgewandelten Sachbilanzergebnisse zum Indikatorergebnis.

Im Folgenden wird daher ausführlich eine neue Methode vorgestellt und diskutiert, die innerhalb der Wirkungskategorie Humantoxizität einen Charakterisierungsfaktor für das Gefahrstoffpotenzial ermittelt, mit dessen Hilfe die Indikatorergebnisse berechnet werden können.

---

<sup>27</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

### 7.2.1 Berechnungsschema nach TRGS 440

Am Beispiel der Holzfensterlacke (siehe Seite 67, Tabelle 28) wird deutlich, dass eine mengenmäßige Betrachtung der Schadstoffe für eine vergleichende Beurteilung der untersuchten Produktalternativen nicht ausreicht.

Der Holzfensterlack mit dem prozentual geringsten Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>28</sup> (21,6 Prozent) enthält nämlich gegenüber den beiden Produktalternativen zusätzlich die Stoffe Xylol und p-Menthadien-1,8. p-Menthadien-1,8 und Xylol reizen die Haut (R-Satz 38), Xylol ist zudem gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut (R 20/21). Hingegen kann p-Menthadien-1,8 eine Sensibilisierung durch Hautkontakt bewirken (R 43), ist sehr giftig für Wasserorganismen und kann in Gewässern längerfristige schädliche Wirkungen haben (R50/53).

Hier stellt sich also die Frage, ob die Schadwirkung dieser beiden Stoffe im Vergleich zu den Inhaltsstoffen der anderen Produkte höher ist, so dass trotz der geringeren Gesamtschadstoffmenge in diesem Produkt eine Verwendung dennoch nicht zu empfehlen wäre.

Eine Hilfe bietet hier die TRGS 440 "Ermitteln und Beurteilen der Gefährdung durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz" (BMA 1996). 1996 wurde in der TRGS 440 erstmals ein Verfahren zur Bewertung des gesundheitlichen Risikos von Arbeitsstoffen vorgestellt. Zum einen wird das Wirkpotenzial der Stoffe einbezogen (W-Faktor), zum anderen wird über den Dampfdruck die Exposition berücksichtigt, indem ein sogenannter Freisetzungsfaktor berechnet wird (F-Faktor).

Jedem dieser Faktoren werden entsprechend seiner Bedeutung im Hinblick auf ein eventuelles gesundheitliches Risiko sogenannte Bewertungspunkte zugeteilt und zwar umso mehr, je größer ihr Beitrag zum Risiko ist (bei Stoffen mit mehreren Wirkungen wird die Wirkung berücksichtigt, der die meisten Bewertungspunkte zugeordnet sind).

Nach Ablauf von zwei Jahren sollte dieses Konzept erneut beraten werden. 1998 wurde daher das Bewertungsverfahren aus der bis dahin gültigen TRGS 440 herausgenommen. Im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin wurde vom Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe (FoBiG) in Freiburg eine Untersuchung durchgeführt, in der Optimierungsvorschläge hinsichtlich der Wirkfaktoren und eine grundsätzliche Vorgehensweise beim Freisetzungsfaktor erarbeitet wurden (Kalberlah et al. 1998). Eine Entscheidung über eine Aufnahme dieser Vorschläge in die TRGS 440 ist zum heutigen Zeitpunkt noch nicht getroffen worden.

---

<sup>28</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Während in der TRGS 440 von 1996 der W-Faktor von 1 bis 5 abgestuft ist, sind die Abstufungen in dem Modell des FoBiG deutlich größer gewählt, um den Unterschieden zwischen den Eigenschaften der Stoffe gerechter zu werden. Bei dem Freisetzungsfaktor wird in der TRGS 440 von 1996 von einem annähernd logarithmischen Zusammenhang zwischen Freisetzung und Dampfdruck ausgegangen, in dem Modell des FoBiG wird hingegen ein linearer Zusammenhang dargestellt. Insbesondere aufgrund der breiteren Abstufung der W-Faktoren, die für sinnvoll erachtet wird, beziehen sich alle nachfolgenden Berechnungen zunächst auf die Vorschläge des FoBiG. Im Anschluss wird aber, um den Unterschied zwischen den beiden Berechnungsverfahren zu verdeutlichen, die Berechnung für ausgewählte Produkte zusätzlich nach der TRGS 440 von 1996 durchgeführt.

Im Folgenden wird daher für beide Verfahren die Einstufung der W- und F-Faktoren erläutert. Dabei wird mit *TRGS 440* das Berechnungsverfahren der TRGS 440 von 1996 bezeichnet, mit *FoBiG* das Verfahren von Kalberlah et al. (1998).

### 7.2.1.1 Wirkpotenzial W

Von Stoffen und Zubereitungen können, wenn sie bestimmte physikalisch-chemische, toxische oder ökotoxische Eigenschaften besitzen, Gefahren für den Menschen oder die Umwelt ausgehen. Um Personen, die mit diesen Stoffen oder Zubereitungen umgehen, erste wesentliche Informationen über die Gefahren zu vermitteln, müssen gefährliche Stoffe und Zubereitungen auf der Verpackung durch Gefahrensymbole sowie Gefahrenhinweise (R-Sätze) und Sicherheitsratschläge (S-Sätze) gekennzeichnet werden (Kluger et al. 1995).

In dem Berechnungsschema der TRGS 440 zur Beurteilung des gesundheitlichen Risikos von Arbeitsstoffen wird der Wirkpotenz eines Stoffes anhand dieser R-Sätze eine bestimmte Punktzahl zugeordnet. Bei Stoffen mit mehreren aufgeführten Eigenschaften (R-Sätzen) ist für die Bestimmung des Wirkpotenzials die Eigenschaft mit dem höchsten Wert heranzuziehen. Ein Kombinationssatz – z.B. R39/26 – ist als Zusammensetzung aus den einzelnen R-Sätzen – hier R39 und R26 – zu betrachten (BMA 1996). Tabelle 54 liefert eine Gegenüberstellung der Zuordnung der R-Sätze zu bestimmten Wirkpotenzialen nach der TRGS 440 von 1996 und den Optimierungsvorschlägen nach Kalberlah et al. (1998).

Diese Gegenüberstellung zeigt deutliche Unterschiede bei der Beurteilung der Wirkpotenziale. Nach *TRGS 440* erhalten gekennzeichnete Stoffe ein Wirkpotenzial zwischen  $W = 2$  und  $5$ , alle übrigen Stoffe werden mit  $W = 1$  eingestuft. In der Studie von *FoBiG* wurde anhand von vorhandenen Einstufungsregeln (Letaldosis), MAK-Werten und Kennzeichnungsregeln für Zubereitungen überprüft, ob die Zunahme der Toxizität von „gesundheitsschädlich“ über „giftig“ bis „sehr giftig“ mit dieser Abstufung des W-Faktors von 1 bis 5 angemessen berücksichtigt wird.

Die Studie ergibt, dass die Unterschiede zwischen gesundheitsschädlichen, giftigen und sehr giftigen Stoffen erheblich weiter auseinander liegen. Es wird daher in Anlehnung an die Letalkonzentrationen sowie dem Konzentrationsbereich von Arbeitsplatzgrenzwerten eine Abstufung nach drei Größenordnungen vorgeschlagen, so dass gesundheitsschädliche Stoffe nach *FoBiG* mit  $W = 10$ , giftige Stoffe mit  $W = 100$  und sehr giftige Stoffe mit  $W = 1000$  eingestuft werden.

Einige R-Sätze werden nach *FoBiG* jedoch abweichend von dieser Einstufung eingeordnet. Hervorzuheben sind dabei folgende:

Für Stoffe, die keine direkte toxikologische Gefährdung für den Menschen darstellen, aber zum Beispiel chemisch-physikalische Eigenschaften (R1 bis R19, R30, R44) oder Umwelteigenschaften (R50 bis R59) besitzen, wird der Faktor  $W = 0,5$  gewählt, um sie deutlich von den gesundheitsschädlichen Stoffen abzugrenzen.

In der TRGS 440 von 1996 werden Stoffe mit Reizwirkung (R36 bis R38) zwar geringer als gesundheitsschädliche Stoffe ( $W = 3$ ) eingestuft, was sich anhand der Arbeitsplatzgrenzwerte auch begründen lässt. Sie werden jedoch solchen Stoffen gleichgestellt, die keine toxikologisch begründeten R-Sätze ( $W = 2$ ) aufweisen. Die Arbeitsplatzgrenzwerte für reizende Stoffe (geometrischer Mittelwert:  $77 \text{ mg/m}^3$ ) liegen jedoch deutlich niedriger als für Stoffe ohne toxikologisch begründete R-Sätze, deren geometrischer Mittelwert bei  $1404 \text{ mg/m}^3$  liegt (Kalberlah et al. 1998). Daher wird nach *FoBiG* ein  $W$ -Faktor von  $W = 5$  vorgeschlagen.

Für die R-Sätze R29, R31 und R32 (Entwickelt bei Berührung mit Wasser bzw. Säure giftige oder sehr giftige Gase) sind in der TRGS 440 von 1996 keine Wirkfaktoren angegeben. Nach *FoBiG* werden diese R-Sätze analog zur Einstufung der giftigen und sehr giftigen Stoffe mit  $W = 100$  bzw.  $W = 1000$  berücksichtigt.

Auch die R-Sätze R45, R46 und R49 (krebserzeugende und erbgutverändernde Stoffe) sind in dem Berechnungsverfahren der TRGS 440 von 1996 nicht enthalten. Für diese R-Sätze wird nach *FoBiG* einen Wirkfaktor von  $W = 50.000$  vorgeschlagen. Zwar wird bei dieser Einstufung nicht berücksichtigt, dass es auch schwächere und stärkere Kanzerogene gibt, aber mit diesem sehr hohen Wert ist sichergestellt, dass auch in sehr geringen Mengen enthaltene krebserzeugende oder erbgutverändernde Stoffe noch eine Punktzahl erhalten.

Anhand dieser Einstufungen wird bereits deutlich, dass die Toxizitätszunahme – z.B. von „gesundheitsschädlich“ über „giftig“ bis „sehr giftig“ – zwar in Anlehnung an Einstufungsregeln (Letalkonzentrationen), Arbeitsplatzgrenzwerte (MAK-Werte) sowie Kennzeichnungsregeln für Zubereitungen erfolgt und somit auf vorhandenen Regeln und naturwissenschaftlichen Erkenntnissen beruht. Für die Einstufung unterschiedlicher Wirkungsarten (z.B. die Abgrenzung der Wirkung „gesundheitsschädlich“ gegenüber „reizend“ oder „krebserzeugend“) werden hingegen vorwiegend Annahmen getroffen, die auf Werthaltungen beruhen.

**Tabelle 54: Bedeutung der R-Sätze und Zuordnung zu Wirkpotenzialen nach Kalberlah et al. (1998) und BMA (1996)**

R-Satz	Bedeutung der R-Sätze	Wirkpotenzial W (FoBiG)	Wirkpotenzial W (TRGS 440)
1 bis 19	Nicht humantoxikologisch begründete R-Sätze	0,5	2
20	Gesundheitsschädlich beim Einatmen	10	3
21	Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut	10	3
22	Gesundheitsschädlich beim Verschlucken	10	3
23	Giftig beim Einatmen	100	4
24	Giftig bei Berührung mit der Haut	100	4
25	Giftig beim Verschlucken	100	4
26	Sehr giftig beim Einatmen	1.000	5
27	Sehr giftig bei Berührung mit der Haut	1.000	5
28	Sehr giftig beim Verschlucken	1.000	5
29	Entwickelt bei Berührung mit Wasser giftige Gase	100	k.A.
30	Nicht humantoxikologisch begründeter R-Satz	0,5	2
31	Entwickelt bei Berührung mit Säure giftige Gase	100	k.A.
32	Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase	1.000	k.A.
33	Gefahr kumulativer Wirkungen	100	3
34	Verursacht Verätzungen	100	3
35	Verursacht schwere Verätzungen	500	4
36	Reizt die Augen	5	2
37	Reizt die Atmungsorgane	5	2
38	Reizt die Haut	5	2
40	Irreversibler Schaden möglich	100	4
41	Gefahr ernster Augenschäden	100	4
42	Sensibilisierung durch Einatmen möglich	500	4
43	Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich	500	4
44	Nicht humantoxikologisch begründeter R-Satz	0,5	2
45	Kann Krebs erzeugen	50.000	k.A.
46	Kann vererbare Schäden verursachen	50.000	k.A.
48/23	Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition / Giftig beim Einatmen	500	5
48/24	Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition / Giftig bei Berührung mit der Haut	500	5
48/25	Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition / Giftig beim Verschlucken	500	5
48/20	Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition / Gesundheitsschädlich beim Einatmen	50	4
48/21	Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition / Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut	50	4
48/22	Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition / Gesundheitsschädlich beim Verschlucken	50	4
49	Kann Krebs erzeugen beim Einatmen	50.000	k.A.
50 bis 59	Nicht humantoxikologisch begründete R-Sätze	0,5	2
60	Kann die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen	1.000	5
61	Kann das Kind im Mutterleib schädigen	1.000	5
62	Kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen	50	3
63	Kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen	50	3
64	Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen	100	3
65	Gesundheitsschädlich; kann beim Verschlucken Lungenschäden verursachen	10	k.A.

### 7.2.1.2 Freisetzungsfaktor F

Neben dem Wirkpotenzial eines Stoffes spielt es auch eine Rolle, wie dieser Stoff und damit dessen gefährliche Wirkung freigesetzt wird, z.B. bei flüchtigen Stoffen oder bei staubenden Bearbeitungsverfahren. Die Abschätzung der Gefährdung eines Stoffes erfordert demnach nicht nur eine Abschätzung des Wirkpotenzials, sondern auch die Abschätzung der Exposition. Die Flüchtigkeit eines Stoffes wird daher durch den Freisetzungsfaktor F, die verfahrensbedingte Freisetzung durch den Verfahrensfaktor V beschrieben. Da in der vorliegenden Arbeit jedoch nur die in den Baustoffen vorhandenen Schadstoffe betrachtet werden, wird der Verfahrensfaktor in die nachfolgenden Berechnungen nicht mit einbezogen.

Im Ermittlungsschema der TRGS 440 von 1996 wird das Freisetzungspotenzial in Abhängigkeit vom Dampfdruck annähernd logarithmisch beschrieben (siehe Tabelle 55). Dies hat z.B. zur Auswirkung, dass in einem breiten Bereich (zwischen 50 und 250 hPa) geringfügige Änderungen des Dampfdrucks nicht berücksichtigt werden.

**Tabelle 55: Freisetzungspotenzial nach TRGS 440 (BMA 1996)**

Dampfdruck [hPa] bei Arbeitstemperatur	Freisetzungspotenzial F
> 250      sehr hoch (auch Gase)	4
> 50 - 250    hoch	3
10 - 50      mittel	2
< 10        gering (auch Feststoffe)	1

Das Modell des *FoBiG* orientiert sich hingegen bei der Freisetzung an Gleichung 1, die einen linearen Zusammenhang zwischen Verdampfung (Freisetzung) für Einzelsubstanzen und Dampfdruck beschreibt.

**Gleichung 1: Berechnung der relativen Evaporationsrate im Vergleich zu Butylacetat, zitiert nach Kalberlah et al. (1998)**

$$E[\text{rel}] = 0,8215 \cdot \sqrt{M} \cdot p[\text{mmHg}]$$

mit

E[rel]    relative Evaporationsrate im Vergleich zu Butylacetat,

M        Molgewicht,

p        Dampfdruck [mm Hg].

Gleichung 1 und auch der Faktor 0,8215 sind dabei aus empirischen Ermittlungen gewonnen (Kalberlah et al. 1998). Sowohl nach dieser Formel berechnete als auch experimentelle Werte bestätigen nach Kalberlah et al. (1998) diesen linearen Zusammenhang für einen Bereich zwischen 1 und 360 hPa.

In der Studie des *FoBiG* wird vorgeschlagen, den Freisetzungsfaktor  $F$  in einem Konzentrationsbereich zwischen 0,25 und 250 hPa folgendermaßen zu berechnen (siehe Gleichung 2):

**Gleichung 2: Berechnung des Freisetzungsfaktors  $F$  (Kalberlah et al. 1998):**

$$F = 4 \cdot p$$

mit

$p$  Dampfdruck [hPa].

Bei einem Dampfdruck  $< 0,25$  hPa wird nach *FoBiG* der Freisetzungsfaktor  $F = 1$  angenommen, bei einem Dampfdruck  $> 250$  hPa wird  $F = 1000$  als Maximum fixiert. Der Faktor 4 in Gleichung 2 wird gewählt, um analog zu dem Höchstwert  $W = 1000$  bei den Wirkfaktoren einen Höchstwert  $F = 1000$  beim Freisetzungsfaktor zu erhalten.

In der vorliegenden Arbeit wird bei Stoffen, für die in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden werden, in weiteren Berechnungen der Freisetzungsfaktor  $F = 1$  angenommen. Diese Stoffe sind in den jeweiligen Tabellen gekennzeichnet.

**7.2.1.3 Berechnung des potenziellen relativen Risikos  $pR$**

Zweck des potenziellen relativen Risikos ist es, durch den Vergleich mit anderen potenziellen relativen Risiken nachvollziehbare Aussagen zum relativen gesundheitlichen Risiko von Ersatzlösungen zu ermöglichen und Entscheidungen über den Einsatz von Ersatzstoffen vorzubereiten. Das potenzielle relative Risiko beschreibt jedoch kein absolutes Risiko, so dass aus einem einzelnen Wert je nach Höhe lediglich Anhaltspunkte darüber gewonnen werden können, ob es sich um einen kritischen oder weniger kritischen Stoff handelt. Mit diesem Verfahren zur vergleichenden Abschätzung ist daher keine Beurteilung des absoluten Risikos möglich (HVBG 1996). Hierfür wären zusätzliche Angaben zur Expositionssituation am Arbeitsplatz (Anlagentyp, Belastungsdauer etc.) erforderlich.

Das potenzielle relative Risiko  $pR$ , das sich aus den Wirk- und Freisetzungsfaktoren zusammensetzt, wird bei einer *Einzelsubstanz*  $i$  nach Gleichung 3 berechnet:

**Gleichung 3: Berechnung des potenziellen relativen Risikos  $pR$  für Einzelsubstanzen (Kalberlah et al. 1998)**

$$pR_i = W_i \cdot F_i$$

Bei der Berechnung des potenziellen relativen Risikos von *Zubereitungen* (siehe Gleichung 4) werden die einzelnen Komponenten entsprechend ihren Gewichtsanteilen in der Zubereitung berücksichtigt:

#### Gleichung 4: Berechnung des potenziellen relativen Risikos pR für Zubereitungen (Kalberlah et al. 1998)

$$pR = (W_1 \cdot F_1 \cdot P_1) + (W_2 \cdot F_2 \cdot P_2) + \dots + (W_n \cdot F_n \cdot P_n)$$

mit

$W_i$  Wirkpotenzial (W-Faktor) von Einzelstoff i,

$F_i$  Freisetzungsfaktor (F-Faktor) von Einzelstoff i,

$P_i$  Menge in Prozent / 100 von Einzelstoff i in der Zubereitung.

Sind also zu den einzelnen Substanzen R-Sätze, Dampfdruckwerte und prozentuale Anteile vorhanden, so kann für die jeweiligen Einzelstoffe und ebenso für die Produkte das potenzielle relative Risiko berechnet und verglichen werden.

#### 7.2.2 Auswahl eines Charakterisierungsfaktors

In Ökobilanzen werden, um verschiedene Stoffe miteinander vergleichen zu können, Bezugsstoffe gewählt. Auf diese Stoffe werden alle anderen Substanzen bezogen, es werden sogenannte Äquivalente gebildet, z.B. CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP) oder SO<sub>2</sub>-Äquivalente für das Versauerungspotenzial (AP).

Analog zu diesem für andere Wirkungskategorien üblichen Verfahren wird daher in der vorliegenden Arbeit das Gefahrstoffpotenzial (HSP) berechnet. Als Bezugssubstanz sollte ein Stoff dienen, dessen Wirk- und Freisetzungspotenzial gut dokumentiert sind, also nicht auf Annahmen beruhen, und dessen potenzielles relatives Risiko im mittleren Bereich liegt. Die Auswahl der Bezugssubstanz ist demnach nicht wissenschaftlich, sondern rein praktisch begründet.

In der vorliegenden Arbeit wird als Bezugssubstanz **Monoethylenglykol (MEG)** gewählt. Bei dieser Referenzsubstanz handelt es sich um einen Gefahrstoff, der gesundheitsschädlich beim Verschlucken (R22) ist und daher nach Kalberlah et al. (1998) das Wirkpotenzial  $W = 10$  besitzt. Der Dampfdruck beträgt 0,07 hPa, was nach Kalberlah et al. (1998) einem Freisetzungsfaktor von  $F = 1$  entspricht. Damit liegt das potenzielle relative Risiko von Monoethylenglykol bei  $pR = 10$  (siehe Tabelle 58 auf Seite 103).

Das folgende Beispiel (Tabelle 56) soll verdeutlichen, warum es sinnvoller ist, Monoethylenglykol mit einem potenziellen relativen Risiko  $pR = 10$  zu wählen als beispielsweise eine Bezugssubstanz mit  $pR = 10.000$ . Obwohl sich nur der absolute Wert, nicht jedoch das Verhältnis der Gefahrstoffpotenziale zueinander ändert, wird deutlich, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Substanzen nicht mehr so offenbar sind, wenn man als Bezugssubstanz einen Stoff auf hohem Niveau ansetzt.

**Tabelle 56: Vergleich zweier möglicher Bezugssubstanzen**

Produkt	Menge [kg]	Potenzielles relatives Risiko pR (Produkt)	Potenzielles relatives Risiko pR (Bezugssubstanz)	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]
A	50	1	10	0,1	5
B	1	500	10	50	50
A	50	1	10.000	0,0001	0,005
B	1	500	10.000	0,05	0,05

Durch Bezug des potenziellen relativen Risikos der Einzelsubstanzen bzw. Produkte auf das potenzielle relative Risiko der Bezugssubstanz Monoethylenglykol werden Charakterisierungsfaktoren gebildet, man erhält das Gefahrstoffpotenzial  $HSP_i$  der Einzelsubstanz bzw. des Produktes (siehe Gleichung 5).

**Gleichung 5: Berechnung des Charakterisierungsfaktors  $HSP_i$**

$$HSP_i = \frac{pR_i}{pR_{MEG}}$$

mit

$pR_i$  potenzielles relatives Risiko der Einzelsubstanz bzw. des Produktes  $i$ ,

$pR_{MEG}$  potenzielles relatives Risiko der Bezugssubstanz Monoethylenglykol.

**7.2.3 Zusammenfassung zum Indikatorergebnis**

In dem letzten Schritt der Wirkungsabschätzung werden die umgewandelten Sachbilanz-ergebnisse nach Gleichung 6 zu einem sogenannten Indikatorergebnis zusammengefasst, indem das Gefahrstoffpotenzial der Einzelsubstanzen bzw. Produkte mit der jeweiligen Menge multipliziert und anschließend für alle Einzelstoffe bzw. Produkte aufaddiert wird.

**Gleichung 6: Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials HSP**

$$HSP = \sum_i (m_i \cdot HSP_i)$$

mit

$m_i$  Menge des Einzelstoffs bzw. Produktes  $i$  [kg],

$HSP_i$  Gefahrstoffpotenzial des Einzelstoffs bzw. Produktes  $i$  [kg MEG-Äquivalente].

In der vorliegenden Arbeit werden die Berechnungen zur Bestimmung des Gefahrstoffpotenzials auf der Produktebene durchgeführt, um einen direkten Vergleich der Produkte bezüglich ihres Gefahrstoffpotenzials zu ermöglichen. Gleichung 6 kann jedoch ebenso für die Berechnung des Gefahrstoffpotenzials von Einzelsubstanzen angewandt werden.

### 7.3 Berechnung der potenziellen relativen Risiken der bilanzierten Baustoffe

In den folgenden Abschnitten wird anhand der Sachbilanzdaten zu den gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>29</sup> in den einzelnen Baustoffen mit Hilfe des Berechnungsverfahrens von *FoBiG* zunächst das potenzielle relative Risiko der verschiedenen Produkte berechnet. Dabei wird mit *TRGS 440* das Berechnungsverfahren der TRGS 440 von 1996 bezeichnet, mit *FoBiG* das Verfahren von Kalberlah et al. (1998).

#### 7.3.1 Potenzielles relatives Risiko der Farben und Lacke

Hintergrund für die Berechnung des potenziellen relativen Risikos  $pR$  war die Frage, ob von Produkten, die einen prozentual geringeren Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen aufweisen, aufgrund der Eigenschaften dieser Inhaltsstoffe eventuell ein höheres Risiko ausgehen kann als von anderen Produkten mit einem prozentual höheren Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen.

Zur Berechnung des potenziellen relativen Risikos verschiedener Produkte mittels des Berechnungsschemas nach *TRGS 440* (BMA 1996) bzw. den Optimierungsvorschlägen nach *FoBiG* (Kalberlah et al. 1998) sind, wie in den vorigen Abschnitten beschrieben, die R-Sätze und der Dampfdruck der jeweiligen Inhaltsstoffe erforderlich. In der vorliegenden Arbeit werden zur Ermittlung dieser Daten verschiedene im Internet zur Verfügung stehende Datenbanken sowie weitere Quellen genutzt. Eine Übersicht darüber ist in Tabelle 57 dargestellt. Zur Vereinfachung sind bei den folgenden Berechnungen in den jeweiligen Tabellen in der Spalte *Datenherkunft* nur die in Tabelle 57 in Klammern stehenden Buchstaben angegeben.

**Tabelle 57: R-Sätze und Dampfdruckwerte – Datenherkunft**

Datenbank / Datenherkunft	Abkürzung
<a href="http://www.bgv.de/fbs/chem/civs/_civs.htm">http://www.bgv.de/fbs/chem/civs/_civs.htm</a>	[A]
<a href="http://www.oekopro.de/">http://www.oekopro.de/</a> *	[B]
<a href="http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/german.html">http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/german.html</a> (vom 22.05.00)	[C]
<a href="http://selene.rz.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/benzol.htm">http://selene.rz.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/benzol.htm</a> (vom 22.05.00)	[D]
<a href="http://www.ubavie.gv.at/umweltregister/chemi/chem/50stoffe.htm">http://www.ubavie.gv.at/umweltregister/chemi/chem/50stoffe.htm</a> (vom 22.05.00)	[E]
<a href="http://www.pentol.ch/d/site/lexikon/dichl.html">http://www.pentol.ch/d/site/lexikon/dichl.html</a> (vom 22.05.00)	[F]
Gefahrstoff-Informationssystem der Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (GISBAU 1997)	[G]
Sicherheitsdatenblätter der jeweiligen Produkte, in denen diese Stoffe enthalten sind	[H]

\* Zur Nutzung der Datenbank Oekopro muss man sich vorab kostenlos anmelden.

<sup>29</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle 58 liefert eine Übersicht über die in den untersuchten Farben und Lacken enthaltenen gefährlichen Inhaltsstoffe, deren R-Sätze und – soweit vorhanden – Dampfdrücke. Daraus sind sowohl nach der TRGS 440 von 1996 als auch nach den Optimierungsvorschlägen von Kalberlah et al. (1998) die W- und F-Faktoren und das potenzielle relative Risiko  $pR$  der einzelnen Substanzen ermittelt worden. Anhand des potenziellen relativen Risikos der Einzelsubstanzen wird im Folgenden das potenzielle relative Risiko der Farbprodukte berechnet.

Tabelle 58: Farben und Lacke – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR

Stoffbezeichnung	CAS-Nr.	R-Sätze	Dampfdruck 20°C [hPa]	W-Faktor (FoBiG)	F-Faktor (FoBiG)	Potenzielles relatives Risiko pR (FoBiG)	W-Faktor (TRGS 440)	F-Faktor (TRGS 440)	Potenzielles relatives Risiko pR (TRGS 440)	Datenherkunft (vergleiche Tabelle 57)
Propylenglykol Technisch	57-55-6	k.A.	0,106 / 1,066	0	0,424 / 4,264	<b>0</b>	1	1	<b>1</b>	Dampfdruck: [A], [C]
Ethylbenzol	100-41-4	20	9,32	10	37,28	<b>373</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A], [C] Dampfdruck: [A], [C]
Monoethylenglykol	107-21-1	22	0,07	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A], [C] Dampfdruck: [A], [C]
1-Methoxypropylacetat-2	108-65-6	36	4,9	5	19,6	<b>98</b>	2	1	<b>2</b>	R-Sätze: [A], [C] Dampfdruck: [A], [C]
2-Butoxyethanol, Butylglykol	111-76-2	20/21/22- 37	1,01	10	4,04	<b>40</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A], [C] Dampfdruck: [A], [C]
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol, Butyldiglykol	112-34-5	36	0,0299	5	1	<b>5</b>	2	1	<b>2</b>	R-Sätze: [A], [C] Dampfdruck: [A], [C]
p-Menthadien-1,8 (9)	138-86-3	38	1,33-2,1	5	5,32-8,4	<b>27 - 42***</b>	2	1	<b>2</b>	R-Sätze: [B] Dampfdruck: [B]
Dichlofluamid	1085-98-9	20-36-43- 50/53	< 10 <sup>-5</sup>	500	1	<b>500</b>	4	1	<b>4</b>	R-Sätze: [B], [E] Dampfdruck: [F]
Xylol Isomerengemisch	1330-20-7	20/21-38	7-9	10	28-36	<b>280 - 360***</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H] Dampfdruck: [D]
Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1	k.A.	11	**	0,5	**	<b>0,5</b>	2	1	<b>2</b>	R-Sätze: [G]
Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2, aliphatische Kohlenwasserstoffe	64742-88-7	11-20/21- 37/38-65	**	10	**	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A], [G]
Aromatische Kohlenwasserstoffe hochsiedend	64742-94-5	22-65	0,07 / < 0,45	10	1 / < 1,8	<b>10 – 18***</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [B], [G] Dampfdruck: [B]
Solventnaphtha, aromat. KW hochsiedend, KW-Gemisch Gr. 3	64742-95-6	45-65	**	50.000	**	<b>50.000</b>	1	1	<b>1</b>	R-Sätze: [A], [B]
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	64742-96-7	65	**	10	**	<b>10</b>	1	1	<b>1</b>	R-Sätze: [A]

\*\* Für diese Stoffe wurden in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden. Für weitere Berechnungen wird daher der F-Faktor F = 1 angenommen.

\*\*\* Sind mehrere Angaben für Dampfdrücke und damit das potenzielle relative Risiko pR vorhanden, so wird vorsorglich mit dem höchsten Wert gerechnet.

### 7.3.1.1 Dispersions- und Deckfarben

#### 7.3.1.1.1 Kombinierte Dispersions- und Deckfarben

In Tabelle 59 sind die Schadstoffmengen<sup>30</sup> und das potenzielle relative Risiko der kombinierten Dispersions- und Deckfarben zusammengefasst (ausführliche Berechnung im Anhang in Tabelle A 21 bis Tabelle A 23).

Wie aus der Übersicht deutlich wird, sind die potenziellen relativen Risiken der Produkte keineswegs proportional zu den Schadstoffgehalten. Bei den beiden Farbprodukten mit dem niedrigsten Schadstoffgehalt ist auch das potenzielle relative Risiko mit 0,1 bzw. 0,8 sehr niedrig. Auch das Risiko der Produkte *Einza Gold-Weißlack* und *Einza Selection Brillant-Weißlack* liegt mit 0,5 bzw. 0,9 noch sehr niedrig, obwohl der Gesamtgehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen mit 19,2 bzw. 23,7 Prozent schon bedeutend höher liegt.

Das Produkt *Einza Bunt* besitzt mit  $pR = 657$  ein vergleichsweise hohes potenzielles relatives Risiko. Dies liegt daran, dass als gefährlicher Inhaltsstoff das Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 3 enthalten ist, das Krebs erzeugen kann (R-Satz 45). Auch in den drei Produkten *Einza Lawinol Kunstharzlack*, *Sikkens Uni-Weißlack plus* und *Sikkens Color Hochglanzlack Basis* sind diese aromatischen Kohlenwasserstoffe enthalten. Die Unterschiede bei dem potenziellen relativen Risiko resultieren lediglich aus dem Anteil dieser Kohlenwasserstoffe, der in den jeweiligen Produkten zwischen 1,3 und 10 Prozent liegt.

Betrachtet man die beiden Produkte *Einza Aquamatt* (1,9 Prozent,  $pR = 0,8$ ) und *Einza Samt-Acryl* (2,4 Prozent,  $pR = 0,1$ ), so besitzt letzteres zwar einen geringfügig höheren Gehalt an schädlichen Inhaltsstoffen, das potenzielle relative Risiko von *Einza Samt-Acryl* ist dennoch geringer als bei *Einza Aquamatt*. Dies liegt an dem unterschiedlichen Gefahrenpotenzial der jeweiligen Inhaltsstoffe. Während von dem Inhaltsstoff in *Einza Aquamatt* beim Einatmen, Verschlucken und Berühren mit der Haut eine gesundheitsschädliche Wirkung ausgeht (R20/21/22), reizt die Substanz in *Einza Samtacyl* die Augen (R36). Dieser Effekt wird nach Kalberlah et al. (1998) humantoxikologisch geringer bewertet, so dass trotz des höheren Schadstoffgehalts ein geringeres Risiko vorhanden ist.

---

<sup>30</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle 59: Dispersions- und Deckfarben – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Einza Aquamatt	1,9	0,8
Einza Samt-Acryl	2,4	0,1
Sikkens Rubbol Optima Semi-gloss	13,0	1,3
Einza Gold-Weißlack	19,2	0,5
Sikkens Rubbol A-Z	20,5	2,1
Einza Selection Brillant-Weißlack	23,7	0,9
Einza Selection Samt-Weißlack	26,7	2,3
Sikkens Rubbol Satura	29,0	2,9
Sikkens Uni-Weißlack plus	32,5	2.503
Sikkens Color Seidenglanz MM	33,0	3,3
Sikkens Color Hochglanzlack, Basis	37,5	5.012
Einza Lawinol Kunstharzlack	51,8	1.762
Einza Seidenmatt	54,7	4,9
Einza Bunt	56,5	657

#### 7.3.1.1.2 Getrennte Betrachtung von Dispersions- und Deckfarben

##### Deckfarben

In Tabelle 60 sind für die reinen Deckfarben die Schadstoffgehalte<sup>31</sup> und das potenzielle relative Risiko dargestellt. Die ausführlichen Berechnungen sind im Anhang in Tabelle A 24 bis Tabelle A 28 zu finden. Auch aus dieser Übersicht wird – wie schon bei den kombinierten Dispersions- und Deckfarben – deutlich, dass das potenzielle relative Risiko nicht proportional zu dem Schadstoffgehalt in den Produkten ist. *Einza Reinacryl* besitzt zwar sowohl den geringsten Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen (2,2 Prozent) als auch das geringste potenzielle relative Risiko (pR = 0,1), *Einza Holzlasur*, das Produkt mit dem höchsten Schadstoffgehalt (71,9 Prozent), besitzt hingegen unter den untersuchten Produkten nicht das höchste potenzielle relative Risiko (pR = 7,1).

Es wird demnach deutlich, dass keineswegs nur die Schadstoffgehalte der Produkte, sondern auch die Eigenschaften der einzelnen Inhaltsstoffe und deren Flüchtigkeit bei der Wirkungsabschätzung berücksichtigt werden müssen. Während z.B. die Deckfarbe *Einza Aquanol* einen Schadstoffgehalt von 5,5 Prozent und ein potenzielles relatives Risiko von pR = 2,2 besitzt, ist der Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen bei der Deckfarbe *Sikkens Cetol BL De-*

<sup>31</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

cor zwar mit 9,0 Prozent deutlich höher, das potenzielle relative Risiko ist mit  $pR = 1,4$  jedoch geringer als bei dem Vergleichsprodukt.

Das höchste potenzielle relative Risiko besitzen die Produkte *Sikkens Cetol Filter 7*, *Sikkens Cetol HLS* und *Sikkens Cetol Novatech* ( $pR = 8,3$ ,  $12,2$  bzw.  $13,2$ ). In diesen drei Produkten befindet sich Dichlofluorid, das eine Sensibilisierung durch Hautkontakt bewirken kann (R-Satz 43). In *Sikkens Cetol Novatech* ist zudem Xylol enthalten, dessen Wirkpotenzial zwar niedriger ist, das jedoch einen hohen Dampfdruck besitzt und demnach schneller freigesetzt wird. Diese Eigenschaften der Inhaltsstoffe sind die Ursache für das vergleichsweise höhere potenzielle relative Risiko dieser drei Produkte.

**Tabelle 60: Deckfarben – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Einza Reinacryl	2,2	0,1
Einza Aqua-Kompaktlasur	4,7	1,9
Einza Aquanol	5,5	2,2
Sikkens Cetol BL Decor	9,0	1,4
Sikkens Cetol Novatech	30,0	13,2
Sikkens Cetol Filter 7	51,5	8,3
Einza Kompakt 94	61,8	5,8
Sikkens Cetol HLS	64,5	12,2
Einza Holzlasur	71,9	7,1

### Dispersionsfarben

Das potenzielle relative Risiko liegt bei allen drei untersuchten reinen Dispersionsfarben mit  $pR = 0$  bis  $0,5$  sehr niedrig (siehe Tabelle 61, ausführliche Berechnungen im Anhang in Tabelle A 29 bis Tabelle A 32). Das Produkt mit dem höchsten Schadstoffgehalt besitzt gleichzeitig das höchste potenzielle relative Risiko. Bei *Sikkens Diwagolan Superweiß* besteht hingegen kein potenzielles relatives Risiko. Dies liegt daran, dass der auf dem Sicherheitsdatenblatt genannte einzige gefährliche Inhaltsstoff Propylenglykol keinen R-Satz und damit auch kein Wirkpotenzial besitzt.

**Tabelle 61: Dispersionsfarben – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Sikkens Diwagolan Superweiß	3,5	0,0
Sikkens Diwagolan Bauschutzfarbe	2,0	0,2
Sikkens Color Acryllack	9,0	0,5

### 7.3.1.2 Holzfensterlacke

Während bei den untersuchten Holzfensterlacken die Werte für den Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>32</sup> mit 21,6 bis 37,7 relativ nahe beieinander liegen, variiert das potenzielle relative Risiko der drei Produkte mit pR = 1,8, 3,6 bzw. 12,6 erheblich (siehe Tabelle 62, ausführliche Berechnungen im Anhang in Tabelle A 33). Das vergleichsweise hohe potenzielle relative Risiko von *Einza Fensterfinish* (pR = 12,6) ergibt sich daraus, dass das Produkt 3,3 Prozent Xylol enthält, das – wie schon bei den Deckfarben beschrieben – einen relativ hohen Dampfdruck und damit einen höheren Freisetzungsfaktor besitzt.

**Tabelle 62: Holzfensterlacke – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Einza Fensterfinish	21,6	12,6
Einza Selection Fensterlack	25,5	1,8
Einza Fensterbasis	37,7	3,6

### 7.3.1.3 Heizkörperlacke

Wie aus Tabelle 63 ersichtlich wird, ist bei den vier untersuchten Heizkörperlacken das potenzielle relative Risiko proportional zu dem Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>32</sup>. *Einza Aquatherm*, der Heizkörperlack mit dem geringsten Schadstoffgehalt (2,2 Prozent) besitzt mit pR = 0,1 gleichzeitig das geringste potenzielle relative Risiko. Die beiden Produkte *Einza Heizkörper-Weißlack* und *Sikkens Heizkörperlack* besitzen neben einem hohen Schadstoffgehalt zudem mit pR = 1.461 bzw. 2.523 ein deutlich höheres potenzielles relatives Risiko. In diesen beiden Heizkörperlacken befinden sich aromatische Kohlenwasserstoffe, die Krebs erzeugen können (R-Satz 45) und damit ein hohes Wirkpotenzial besitzen. Die verschiedenen pR-Werte stammen aus dem unterschiedlichen Anteil (2,9 bzw. 5,0 Prozent), mit dem diese Kohlenwasserstoffe in den jeweiligen Heizkörperlacken enthalten sind. Die ausführlichen Berechnungen sind im Anhang in Tabelle A 34 dargestellt.

**Tabelle 63: Heizkörperlacke – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Einza Aquatherm	2,2	0,1
Einza Heizkörper-Flutlack	34,9	10,8
Einza Heizkörper-Weißlack	36,9	1.461
Sikkens Heizkörperlack	39,5	2.523

<sup>32</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

### 7.3.2 Potenzielles relatives Risiko der Holzschutzmittel

Betrachtet man beispielsweise die beiden Produktvarianten von Adolit Holzbau B (siehe Seite 73, Tabelle 34), so enthalten beide 10 Prozent an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>33</sup>. Bei der einen Variante handelt es sich allerdings um Diglycol, bei der anderen um 2-Amino-ethanol. Um eine genauere Aussage zu den beiden Holzschutzmitteln treffen zu können, ist daher – wie schon bei den Farben und Lacken – wieder eine Wirkungsabschätzung der einzelnen Inhaltsstoffe erforderlich.

Auch bei den Holzschutzmitteln soll deshalb versucht werden, neben dem rein mengenmäßigen Vergleich der Schadstoffgehalte zusätzlich die Eigenschaften der einzelnen Inhaltsstoffe und deren Flüchtigkeit einzubeziehen. Mit Hilfe des in Kapitel 7.2.1 beschriebenen Verfahrens zur Berechnung des potenziellen relativen Risikos (pR) werden daher auch für die Holzschutzmittel die Wirk- und Freisetzungspotenziale (W- und F-Faktoren) der einzelnen Inhaltsstoffe und auf dieser Grundlage das potenzielle relative Risiko der Produkte berechnet, um einen Vergleich zu ermöglichen.

In Tabelle 64 sind die gefährlichen Inhaltsstoffe in den untersuchten Holzschutzmitteln zusammengestellt, des Weiteren deren R-Sätze und – soweit ermittelbar – die Dampfdrücke der einzelnen Substanzen. Auf dieser Grundlage können die W- und F-Faktoren und damit das potenzielle relative Risiko pR dieser Substanzen sowohl nach TRGS 440 (BMA 1996) als auch nach den Optimierungsvorschlägen des FoBiG (Kalberlah et al. 1998) berechnet werden. Werden in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden, so wird für diese Stoffe mit dem geringsten Freisetzungsfaktor  $F = 1$  weitergerechnet.

In Tabelle A 35 bis Tabelle A 40 im Anhang sind die ausführlichen Berechnungen dargestellt.

---

<sup>33</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle 64: Holzschutzmittel – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR

Stoffbezeichnung	CAS-Nr.	R-Sätze	Dampfdruck 20°C [hPa]	W-Faktor (FoBiG)	F-Faktor (FoBiG)	Potenzielles relatives Risiko pR (FoBiG)	W-Faktor (TRGS 440)	F-Faktor (TRGS 440)	Potenzielles relatives Risiko pR (TRGS 440)	Datenherkunft (vergleiche Tabelle 57)
1,2,4-Trimethylbenzol	95-63-6	20-36/37/38- 51/53	2,527	10	10,108	<b>101</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H] Dampfdruck: [A]
Diglycol	111-46-6	22	0,05	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H] Dampfdruck: [A]
Butylglykol	111-76-2	20/21/22-37	1,01	10	4,04	<b>40</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H] Dampfdruck: [A]
2-Amino-ethanol	141-43-5	20-36/37/38	0,64	10	2,56	<b>26</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H] Dampfdruck: [A]
Kupferoxid	1317-38-0	22	Pulver**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]
Chromtrioxid	1333-82-0	49-8-25-35- 43-50/53	Pulver**	50.000	1	<b>50.000</b>	4	1	<b>4</b>	R-Sätze: [H]
Natriumhydrogensulfat	7681-38-1	34-37	Kristalle**	100	1	<b>100</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]
Kupfersulfat	7758-98-7	22-36/38- 50/53	Kristalle**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]
Natriumdichromat	10588-01-9	49-46-8-21- 25-26-37/38- 41-43-50/53	k.A.**	50.000	1	<b>50.000</b>	5	1	<b>5</b>	R-Sätze: [H]
Kupfer(II)-hydroxidcarbonat	12069-69-1	20/22	Pulver**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]
Bis-(N-hydroxy-N-nitroso- cyclohexylamitato-O,O')kupfer	15627-09-5	20-36/38	k.A.**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]
Isononylphenol, ethoxyliert	37205-87-1	36/38	k.A.**	5	1	<b>5</b>	2	1	<b>2</b>	R-Sätze: [H]
Tris-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclo- hexylamitato-O,O')aluminium	40027-80-3	36/38	k.A.**	5	1	<b>5</b>	2	1	<b>2</b>	R-Sätze: [H]
Cocosfettsäurediethanolamid mit Diethanolamin	61790-63-4	36/38	k.A.**	5	1	<b>5</b>	2	1	<b>2</b>	R-Sätze: [H]
Kristallöl 60	64742-82-1	65	k.A.**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]
Kristallöl 30	64742-88-7	65	k.A.**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]
isoparaffines Kohlenwasserstoff- gemisch	90622-58-5	65	k.A.**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [H]

\*\* Für diese Stoffe wurden in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden. Für weitere Berechnungen wird daher der F-Faktor F = 1 angenommen.

Wie aus Tabelle 65 nun ersichtlich wird, besteht trotz des identischen Gehalts an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>34</sup> in den beiden Varianten von *Adolit Holzbau B* ein Unterschied hinsichtlich des potenziellen relativen Risikos. Zwar haben die beiden Substanzen Diglycol und 2-Amino-ethanol dasselbe Wirkpotenzial (W-Faktor 10), aber 2-Amino-ethanol besitzt einen höheren Dampfdruck, d.h. es ist flüchtiger, so dass bei gleicher Temperatur eine größere Menge an 2-Amino-ethanol freigesetzt wird.

Auch bei den fünf Holzschutzölen, die einen Schadstoffgehalt von 100 Prozent aufweisen, ergibt sich aufgrund der Berechnung des potenziellen relativen Risikos nun ein differenziertes Bild. Während drei Produkte ein potenzielles relatives Risiko von  $pR = 19$  besitzen, liegt dieses bei den beiden Produkten *Aidol Grund / Bläuesperre* und *Aidol Imprägnierlasur* mit dem Wert  $pR = 10$  niedriger.

Besonders auffällig sind die beiden Flüssigsalze *Adolit CKO flüssig* und *Adolit CKB-P*. Betrachtet man lediglich die absolute Menge an gefährlichen Inhaltsstoffen, so ist sie bei diesen beiden Flüssigsalzen mit 64,4 bzw. 94,5 Prozent geringer als bei den meisten Holzschutzölen mit 100 Prozent. Das potenzielle relative Risiko dieser beiden Produkte ist jedoch mit 25.000 bzw. 30.000 erheblich höher als das der Holzschutzöle ( $pR = 10$  bzw. 19). Dies liegt an dem Wirkpotenzial der in diesen beiden Produkten enthaltenen gefährlichen Inhaltsstoffe. In *Adolit CKO flüssig* können bis zu 50 Prozent Chromtrioxid enthalten sein, das beim Einatmen Krebs erzeugen kann (R-Satz 49). In *Adolit CKB-P* ist Chromtrioxid zwar nur mit einem Anteil von maximal 10 Prozent enthalten, hinzu kommen jedoch bis zu 50 Prozent Natriumdichromat, das ebenfalls beim Einatmen Krebs erzeugen und zusätzlich vererbare Schäden verursachen kann (R-Satz 46).

Ein weiterer interessanter Aspekt ergibt sich, wenn man die drei Produktgruppen HSM-LV 10, 20 und 30 untereinander vergleicht. Gruppe 10 ist wasserverdünnsbar, Gruppe 20 entaromatisiert, Gruppe 30 aromatenarm. In dieser Darstellung kann man vermuten, dass in der Gruppe 10 die geringsten und in der Gruppe 30 die höchsten Schadstoffanteile zu finden sind. Bei einem Vergleich der Produkte *Aidol VR echtbraun*, *Aidol Imprägniergrund* und *Aidol Fertigbau 100* zeigt sich jedoch, dass in allen drei Produktgruppen Schadstoffanteile bis zu 100 Prozent vorhanden sein können. Bezieht man zusätzlich das potenzielle relative Risiko in die Betrachtung ein, so liegt das des Produktes HSM-LV 10 mit  $pR = 19$  sogar höher als bei den beiden Produkten *Aidol Grund / Bläuesperre* (HSM-LV 20) und *Aidol Imprägnierlasur* (HSM-LV 30), deren potenzielles relatives Risiko  $pR = 10$  beträgt.

---

<sup>34</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Eine Betrachtung des Wirkpotenzials und der Flüchtigkeit einzelner Substanzen und ein Vergleich der potenziellen relativen Risiken der Produkte ermöglicht somit wesentlich differenziertere Aussagen als lediglich die Berechnung der absoluten Schadstoffgehalte in den verschiedenen Produkten.

**Tabelle 65: Holzschutzmittel – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Adolit TA 100 (Flüssigsalz HSM-W 40)	6,7	0,7
Adolit Holzbau B (Flüssigsalz HSM-W 10)	10,0	1,0
Adolit Holzbau B (Flüssigsalz HSM-W 10)	10,0	2,6
Adolit Bor flüssig (Flüssigsalz HSM-W 10)	25,0	6,5
Aidol Carbolin (Holzschutzöl HSM-LV 10)	62,5	5,6
Adolit CKO flüssig (Flüssigsalz HSM-W 70)	64,4	25.001
Adolit CKB-P (Flüssigsalz HSM-W 70)	94,5	30.006
Aidol Grund / Bläuesperre (Holzschutzöl HSM-LV 20)	100	10,0
Aidol Imprägnierlasur (Holzschutzöl HSM-LV 30)	100	10,0
Aidol VR echtbraun (Holzschutzöl HSM-LV 10)	100	19,0
Aidol Fertigbau 100 (Holzschutzöl HSM-LV 30)	100	19,0
Aidol Imprägniergrund (Holzschutzöl HSM-LV 20)	100	19,1

### 7.3.3 Potenzielles relatives Risiko der Klebstoffe

Wie schon in den vorherigen Kapiteln stellt sich aufgrund der unterschiedlichen Inhaltsstoffe auch für die Klebstoffe die Frage nach dem potenziellen relativen Risiko der Produkte. In Tabelle 67 sind für die einzelnen Inhaltsstoffe der Klebstoffe die R-Sätze und – soweit vorhanden – die Dampfdrücke angegeben, mit deren Hilfe die W- und F-Faktoren und damit das potenzielle relative Risiko pR der jeweiligen Einzelstoffe sowohl nach TRGS 440 (BMA 1996) als auch nach den Optimierungsvorschlägen des FoBiG (Kalberlah et al. 1998) berechnet wird. In Tabelle A 41 bis Tabelle A 45 im Anhang sind die ausführlichen Berechnungen dargestellt, in Tabelle 66 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

**Tabelle 66: Klebstoffe – Schadstoffgehalte und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Bodenbelag	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Schönox PU 900	Linoleum / Textil	15,0	75,0
Schönox N 640		92,5	25.426
Schönox 2K-PU	Steinzeugplatten (Basis: Polyurethan / Epoxidharz)	16,7	83,5
Viscacid Epoxi-Fugenspachtel / Kleber		23,7	115
Schönox KR		26,0	117
Relö EP-Fliesenklebstoff		37,8	181
Relö Fließbettkleber	Steinzeugplatten (zementäre Basis)	25,0	1,3
Schönox MBK weiß		27,5	1,6
Relö Fliesenkleber		50,0	2,5
Aida Elastokleber		50,0	2,5
Schönox FK-1		50,0	2,5
Schönox SK		50,0	2,5

### 7.3.3.1 Klebstoffe für Linoleumbeläge und textile Bodenbeläge

Bei den beiden untersuchten Klebstoffen für Linoleum- und Textilbodenbeläge zeigt sich, dass in dem Kleber *Schönox N 640* mit 92,5 Prozent ein erheblich höherer Anteil an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>35</sup> vorhanden ist (*Schönox PU 900*: 15 Prozent). Hinzu kommt, dass das potenzielle relative Risiko dieses Klebers mit  $pR = 25.426$  sehr groß ist, da die einzelnen Substanzen in diesem Produkt ein höheres potenzielles relatives Risiko besitzen.

So sind in *Schönox N 640* zum Beispiel 50 Prozent Spezialbenzin enthalten, das nach Angaben des bgvv<sup>36</sup> Krebs erzeugen kann (R-Satz 45). Die übrigen Inhaltsstoffe besitzen zwar kein so hohes Wirkpotenzial, jedoch einen höheren Dampfdruck, so dass deren Freisetzungsfaktor dementsprechend höher liegt und insgesamt zu dem hohen potenziellen relativen Risiko führt.

### 7.3.3.2 Klebstoffe für Steinzeugplatten

Bei den Klebstoffen für Steinzeugplatten auf Polyurethan- bzw. Epoxidharzbasis liegt der Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>35</sup> zwischen 16,7 und 37,8 Prozent. Das potenzielle relative Risiko der Produkte liegt zwischen  $pR = 83,5$  und 181. Der Kleber mit dem geringsten Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen besitzt in diesem Fall auch das geringste potenzielle Risiko, der Kleber mit dem höchsten Schadstoffgehalt das höchste Risiko.

Betrachtet man die Klebstoffe auf zementärer Basis, so stellt man fest, dass ihr potenzielles relatives Risiko trotz der höheren Schadstoffgehalte (25 bis 50 Prozent) mit  $pR = 1,3$  bis 2,5 deutlich niedriger liegt als das der Klebstoffe auf Polyurethan- bzw. Epoxidharzbasis. Dies liegt an dem Wirkpotenzial der Einzelsubstanzen. Die zementären Klebstoffe enthalten als gefährlichen Inhaltsstoff hauptsächlich Zement, der einen niedrigen Wirkfaktor besitzt (Reizt die Augen und die Haut – R36/38). Laut Angaben auf den Sicherheitsdatenblättern handelt es sich zudem bei allen untersuchten Produkten um chromatarmen Zement gemäß TRGS 613 (enthält weniger als 2 ppm Chromat), so dass die Schadwirkung „Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich“ (R 43), die üblicherweise für chromathaltigen Zement gilt, hier entfällt.

---

<sup>35</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

<sup>36</sup> Quelle: <http://www.bgvv.de/fbs/chem/civs/6474289.htm> vom 29.05.00.

Tabelle 67: Klebstoffe – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR

Stoffbezeichnung	CAS-Nr.	R-Sätze	Dampfdruck 20°C [hPa]	W-Faktor (FoBiG)	F-Faktor (FoBiG)	Potenzielles relatives Risiko pR (FoBiG)	W-Faktor (TRGS 440)	F-Faktor (TRGS 440)	Potenzielles relatives Risiko pR (TRGS 440)	Datenherkunft (vergleiche Tabelle 57)
Aceton	67-64-1	11	240	0,5	960	<b>480</b>	2	3	<b>6</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Methylethylketon	78-93-3	11-36/37	105	5	420	<b>2100</b>	2	3	<b>6</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
2,4,6-Tri- (dimethylaminomethyl)phenol	90-72-2	22-36/38	k.A.**	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A]
1,2,4-Trimethylbenzol	95-63-6	10-20- 36/37/38	2,527	10	10,108	<b>101</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Benzylalkohol	100-51-6	20/22	0,03	10	1	<b>10</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Toluol	108-88-3	11-20	29,0	10	116	<b>1160</b>	3	2	<b>6</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Diethylentriamin	111-40-0	21/22-34-43	0,37	500	1,48	<b>740</b>	4	1	<b>4</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Triethylentetramin	112-24-3	21-34-43- 52/53	0,013	500	1	<b>500</b>	4	1	<b>4</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Tetraethylenpentamin	112-57-2	21/22-34-43- 51/53	0,0099	500	1	<b>500</b>	4	1	<b>4</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Ethylacetat	141-78-6	11	97 / 103 / 114,6***	0,5	458,4	<b>229</b>	2	3	<b>6</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [B]
3-Aminopropyltriethoxysilan	919-30-2	22-34	vernach- lässigbar	100	1	<b>100</b>	3	1	<b>3</b>	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
o-Kresylglycidylether	2210-79-9	36/38-43	0,0002	500	1	<b>500</b>	4	1	<b>4</b>	R-Sätze: [H] Dampfdruck: [A]

\*\* Für diese Stoffe wurden in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden. Für weitere Berechnungen wird daher der F-Faktor F = 1 angenommen.

\*\*\* Sind mehrere Angaben für Dampfdrücke und damit das potenzielle relative Risiko pR vorhanden, so wird vorsorglich mit dem höchsten Wert gerechnet.

Fortsetzung Tabelle 67: Klebstoffe – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR

Stoffbezeichnung	CAS-Nr.	R-Sätze	Dampfdruck 20°C [hPa]	W-Faktor (FoBiG)	F-Faktor (FoBiG)	Potenzielles relatives Risiko pR (FoBiG)	W-Faktor (TRGS 440)	F-Faktor (TRGS 440)	Potenzielles relatives Risiko pR (TRGS 440)	Datenherkunft (vergleiche Tabelle 57)
Isophoron-diamin	2855-13-2	21/22-34-43	0,02	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Bisphenol-F-Epichlorhydrinharze	9003-36-5	36/38-43-51/53	k.A.**	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [H]
Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	9016-87-9	20-36/37/38-42/43	k.A.**	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [H]
Titandioxid	13463-67-7	20	Kristalle **	10	1	10	3	1	3	R-Sätze: [B]
Hexandioldiglycidylether	16096-31-4	36/38-43	k.A.**	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [H]
Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	25068-38-6	36/38-43	k.A.**	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [H]
Spezialbenzin*	64742-89-8	45-65	k.A.**	50.000	1	50.000	1	1	1	R-Sätze: [A]
Zement (chromatarm gemäß TRGS 613)	65997-15-1	36/38	k.A.**	5	1	5	2	1	2	R-Sätze: [H]
Portlandzement (chromatarm gemäß TRGS 613)	68475-76-3	36/38	k.A.**	5	1	5	2	1	2	R-Sätze: [H]

\* Laut Sicherheitsdatenblatt ohne CAS-Nr.; daher CAS-Nr. gemäß bgv für Spezialbenzine C5-10 Siedebereich 35-160°C: 64742-89-8 angenommen.

\*\* Für diese Stoffe wurden in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden. Für weitere Berechnungen wird daher der F-Faktor F = 1 angenommen.

\*\*\* Sind mehrere Angaben für Dampfdrücke und damit das potenzielle relative Risiko pR vorhanden, so wird vorsorglich mit dem höchsten Wert gerechnet.

### 7.3.4 Potenzielles relatives Risiko der Dichtungsmittel

Ebenso wie für die vorangegangenen Produkte gibt es auch bei den Dichtungsmitteln Sicherheitsdatenblätter mit Angaben über den Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen<sup>37</sup> in den jeweiligen Produkten. Mit Hilfe dieser Daten sowie den zugehörigen R-Sätzen und Dampfdrücken der einzelnen Substanzen kann demnach auch für die Dichtungsmittel eine Berechnung des potenziellen relativen Risikos anhand der Optimierungsvorschläge von Kalberlah et al. (1998) vorgenommen werden.

In Tabelle 69 sind die gefährlichen Inhaltsstoffe in den untersuchten Dichtungsmitteln, die zugehörigen R-Sätze und – soweit ermittelbar – die Dampfdrücke der einzelnen Substanzen dargestellt. Wird zu einzelnen Substanzen in der Literatur kein Dampfdruckwert gefunden, so wird in diesen Fällen mit dem Freisetzungsfaktor  $F = 1$  weitergerechnet. Die aus den vorliegenden Daten ermittelten Werte für das potenzielle relative Risiko  $pR$  der einzelnen gefährlichen Inhaltsstoffe sind ebenfalls in Tabelle 69 dargestellt.

Mit Hilfe der Daten zu den Einzelsubstanzen kann schließlich das potenzielle relative Risiko der Produkte berechnet werden. Tabelle 68 enthält eine Zusammenstellung der Schadstoffgehalte und potenziellen relativen Risiken der untersuchten Dichtungsmittel (im Anhang in Tabelle A 46 sind die ausführlichen Berechnungen dargestellt).

Bei den untersuchten Dichtungsmitteln besitzt das Produkt mit dem niedrigsten Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen (*Silikon SL*) zugleich auch das niedrigste potenzielle relative Risiko ( $pR = 0,3$ ), während die beiden Produkte mit dem höchsten Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen (*Silikon A* und *Silikon N*) das höchste potenzielle relative Risiko haben ( $pR = 5.010$  bzw.  $5.050$ ).

Betrachtet man hingegen die vier Produkte, deren Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen bei 5 Prozent liegt, so bestehen bei dem potenziellen relativen Risiko deutliche Unterschiede: Bei *Albardin Multi-Sil* liegt das Risiko bei  $pR = 0,3$ , *Bostik 2637* besitzt ein potenzielles relatives Risiko von  $pR = 18,1$  und bei der *Universaldichtmasse* liegt das potenzielle relative Risiko sogar bei  $pR = 1.250$ . Auch bei den vier Produkten, deren Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen bei 10 Prozent liegt, bestehen Unterschiede. Zwei der Produkte besitzen ein potenzielles relatives Risiko von  $pR = 10$ , bei den anderen beiden Produkten liegt das potenzielle relative Risiko mit  $pR = 50$  vergleichsweise höher.

---

<sup>37</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle 68: Dichtungsmittel – Schadstoffgehalt und potenzielles relatives Risiko pR**

<b>Produktbezeichnung</b>	<b>Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]</b>	<b>Potenzielles relatives Risiko pR</b>
Silikon SL	2,5	0,3
Albardin Multi-Sil	5,0	0,3
Albardin Silicon 100	5,0	5,0
Bostik 2637	5,0	18,1
Universaldichtmasse	5,0	1.250
Albardin Silicon anstrichverträglich	6,0	30,0
Sanitär Silikon	10,0	10,0
Silikon SR	10,0	10,0
Nibosil 3052 N	10,0	50,0
Silikon SO	10,0	50,0
Silikon A	20,0	5.010
Silikon N	20,0	5.050

Tabelle 69: Dichtungsmittel – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR

Stoffbezeichnung	CAS-Nr.	R-Sätze	Dampfdruck 20°C [hPa]	W-Faktor (FoBiG)	F-Faktor (FoBiG)	Potenzielles relatives Risiko pR (FoBiG)	W-Faktor (TRGS 440)	F-Faktor (TRGS 440)	Potenzielles relatives Risiko pR (TRGS 440)	Datenherkunft (vergleiche Tabelle 57)
Diglycol	111-46-6	22	0,02-0,05	10	1	10	3	1	3	R-Sätze: [B], [H] Dampfdruck: [A], [C]
2,4-Diisocyanat-toluol	584-84-9	23- 36/37/38-42	0,013	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [A] Dampfdruck: [A]
Methyltrimethoxysilan	1185-55-3	11-20/22	k.A.**	10	1	10	3	1	3	R-Sätze: [H]
Xylol Isomerengemisch	1330-20-7	20/21-38	7-9	10	28-36	280-360***	3	1	3	R-Sätze: [H] Dampfdruck: [D]
Trimethoxyvinylsilan	2768-02-7	10-20-36	k.A.**	5	1	5	3	1	3	R-Sätze: [H]
Ethyltriacetoxysilan	17689-77-9	14-34	k.A.**	100	1	100	3	1	3	R-Sätze: [H]
Butan-tris-ketoximo- ethylmethyl-silan, Butan-2-on- O,O',O''- (methylsilylidyn)trioxim	22984-54-9	36/38-43	k.A.**	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [H]
Naphtha (Erdöl), Benzolgehalt < 0,1%)	64742-49-0	22-45-65	k.A.**	50.000	1	50.000	3	1	3	R-Sätze: [B], [H]

\*\* Für diese Stoffe wurden in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden. Für weitere Berechnungen wird daher der F-Faktor F = 1 angenommen.

\*\*\* Sind mehrere Angaben für Dampfdrücke und damit das potenzielle relative Risiko pR vorhanden, so wird vorsorglich mit dem höchsten Wert gerechnet.

### 7.3.5 Potenzielles relatives Risiko des Zements

Im Gegensatz zu den in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Baustoffen werden für die zementhaltigen Baustoffe keine Sicherheitsdatenblätter ausgewertet. Zement selbst stellt bereits einen Gefahrstoff<sup>38</sup> dar (Reizt die Augen und die Haut, R36/38), zudem kann in Zement Chromat enthalten sein, das mit R43 (Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich) gekennzeichnet ist.

Die Auswertung des Zements anhand der Optimierungsvorschläge des *FoBiG* (Kalberlah et al. 1998) erfolgt in der vorliegenden Arbeit lediglich für verschiedene Chromatgehalte. Als Anhaltspunkt für den Chromatgehalt in zementhaltigen Produkten werden zum einen der niedrigste und der höchste in der Literatur angegebene Wert, zum anderen der Maximalgehalt für Produkte, die als „chromatarm gemäß TRGS 613“ eingestuft sind, gewählt. Wie bereits aus Tabelle 51 bis Tabelle 53 (siehe Seite 91) ersichtlich wird, handelt es sich bei den absoluten Chromatmengen nur um sehr geringe Mengen (2,5 g bis 1,1 kg). Bezogen auf die absoluten Mengen an Zement in den beiden Gebäuden (Referenzhaus 31.717 kg, Holzhaus 24.616 kg) beträgt der Chromatgehalt demnach zwischen  $0,1 \cdot 10^{-4}$  und  $35 \cdot 10^{-4}$  Prozent.

In Tabelle 71 sind für Portlandzement R-Sätze, Dampfdruck und die daraus abgeleiteten W- und F-Faktoren sowie das potenzielle relative Risiko dargestellt – jeweils nach *TRGS 440* (BMA 1996) und nach *FoBiG* (Kalberlah et al. 1998). Da für Portlandzement in der Literatur kein Dampfdruckwert gefunden wurde, wird ein F-Faktor von  $F = 1$  angenommen. Im Anhang in Tabelle A 47 sind die ausführlichen Berechnungen des potenziellen relativen Risikos für Zement mit den jeweiligen Chromatgehalten aufgeführt. Tabelle 70 bietet eine Zusammenstellung über die Chromatgehalte und dem damit verbundenen potenziellen relativen Risiko der jeweiligen Zementsorte. Dieses ist proportional zu dem Chromatgehalt und beträgt zwischen  $pR = 0,5 \cdot 10^{-4}$  und  $pR = 175 \cdot 10^{-4}$ .

**Tabelle 70: Zement – Schadstoffgehalte und potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen [%]	Potenzielles relatives Risiko pR
Portlandzement (0,1 ppm Chromat)	$0,1 \cdot 10^{-4}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$
Portlandzement (2 ppm Chromat)	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$
Portlandzement (35 ppm Chromat)	$35,0 \cdot 10^{-4}$	$175 \cdot 10^{-4}$

<sup>38</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle 71: Zement – W- und F-Faktoren, potenzielles relatives Risiko pR

Stoffbezeichnung	CAS-Nr.	R-Sätze	Dampfdruck 20°C [hPa]	W-Faktor (FoBiG)	F-Faktor (FoBiG)	Potenzielles relatives Risiko pR (FoBiG)	W-Faktor (TRGS 440)	F-Faktor (TRGS 440)	Potenzielles relatives Risiko pR (TRGS 440)	Datenherkunft (vergleiche Tabelle 57)
Portlandzement	68475-76-3	36/38-43	k.A.**	500	1	500	4	1	4	R-Sätze: [H]

\*\* Für diesen Stoff wurde in der Literatur kein Dampfdruckwert gefunden. Für weitere Berechnungen wird daher der F-Faktor  $F = 1$  angenommen.

## 7.4 Ergebnis der Wirkungsabschätzung für die beiden Gebäudevarianten

Im folgenden Schritt wird für alle Produkte ein Charakterisierungsfaktor gebildet, indem die potenziellen relativen Risiken der jeweiligen Produkte auf das potenzielle relative Risiko der Bezugssubstanz Monoethylenglykol bezogen werden. Durch Multiplikation des jeweiligen Charakterisierungsfaktors mit der Produktmenge erhält man schließlich das Gefahrstoffpotenzial HSP (Hazardous Substance Potential), so dass die Produkte innerhalb der Wirkungskategorie Humantoxizität direkt bezüglich ihres Gefahrstoffpotenzials miteinander verglichen werden können. In Tabelle 72 sind nochmals die Produktmengen in den beiden Gebäudevarianten zusammengestellt, die als Berechnungsgrundlage dienen.

**Tabelle 72: Produktmengen in den beiden Gebäudevarianten**

Produkt	Referenzhaus [kg]	Holzhaus [kg]
<b>Kombinierte Dispersions- und Deckfarben</b>	323,7	364,8
<b>Dispersionsfarben</b>	251,0	313,3
<b>Deckfarben</b>	72,7	51,5
<b>Holzfensterlacke</b>	46,7	41,4
<b>Heizkörperlacke</b>	7,5	1,9
<b>Holzschutzmittel</b>	8,9	18,6
<b>Klebstoffe für Linoleumbeläge</b>	79,0	61,0
<b>Klebstoffe für textile Bodenbeläge</b>	70,0	57,0
<b>Klebstoffe für Steinzeugplatten</b>	144,0	274,0
<b>Dichtungsmittel</b>	13,0	12,0
<b>Zement</b>	31.725	24.612

In der vorliegenden Arbeit werden zwei unterschiedliche Gebäudevarianten sowie verschiedene Produktalternativen untersucht. Bei der abschließenden Zusammenfassung zu einem Indikatorergebnis werden daher für die beiden Gebäude Szenarien gebildet. Zum einen werden für beide Gebäude nur diejenigen Produkte betrachtet, deren Gefahrstoffpotenzial HSP in der jeweiligen Produktgruppe am niedrigsten ist („Best-Case-Szenario“). Parallel dazu wird ein „Worst-Case-Szenario“ gebildet, indem jeweils die Produkte mit dem höchsten Gefahrstoffpotenzial ausgewählt werden. Um einen Vergleich der beiden Berechnungsverfahren – nach *TRGS 440* (BMA 1996) und nach den Optimierungsvorschlägen des *FoBiG* (Kalberlah et al. 1998) – zu ermöglichen, werden diese Szenarien jeweils nach beiden Methoden berechnet.

### 7.4.1 Indikatorergebnis für das Berechnungsverfahren nach *FoBiG*

Die ausführlichen Berechnungen des Gefahrstoffpotenzials nach dem Verfahren des *FoBiG* sind im Anhang in Tabelle A 48 bis Tabelle A 74 zu finden, die Ergebnisse der beiden Szenarien für das Referenz- und das Holzhaus sind in Tabelle 73 und Tabelle 74 dargestellt.

Dabei erhält man je nach Einsatz kombinierter oder getrennter Deck- und Dispersionsfarben bzw. Verwendung von Klebstoffen auf zementärer oder auf anderer Basis (Dispersions-, Epoxidharz- oder Polyurethanklebstoffe) für den Bodenbelag Steinzeugplatten jeweils unterschiedliche Ergebnisse.

#### 7.4.1.1 Best-Case-Szenario nach FoBiG

Im Best-Case-Szenario beträgt die Gesamtmenge an Schadstoffen<sup>39</sup> im Referenzhaus zwischen 12,0 und 55,8 kg, im Holzhaus sind es zwischen 10,5 und 87,8 kg. Das geringste Gefahrstoffpotenzial ergibt sich, wenn man getrennte Dispersions- und Deckfarben sowie Dispersionsklebstoffe für den Bodenbelag Steinzeugplatten einsetzt. Hier besteht die Möglichkeit, Produkte auszuwählen, die gar keine gefährlichen Inhaltsstoffe enthalten. In diesem Fall beträgt das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus 8,6 kg MEG-Äquivalente, das Holzhaus liegt mit 7,6 kg MEG-Äquivalenten geringfügig darunter. Verwendet man kombinierte Dispersions- und Deckfarben, bei denen es keine Produkte ohne gefährliche Inhaltsstoffe gibt, so erhöht sich die Schadstoffmenge in den beiden Gebäuden. Im Referenzhaus beträgt das Gefahrstoffpotenzial in diesem Fall 11,8 kg MEG-Äquivalente, im Holzhaus 11,2 kg MEG-Äquivalente. Interessanterweise ändert sich die Situation, sobald man anstelle von Dispersionsklebstoffen für die Steinzeugplatten Klebstoffe auf zementärer Basis verwendet. Aufgrund der größeren Fläche an Steinzeugplatten ist in diesem Fall die Schadstoffmenge im Holzhaus höher als im Referenzhaus. Als ungünstigste Variante erweist sich der Einsatz von kombinierten Dispersions- und Deckfarben und zugleich die Verwendung von zementären Klebstoffen. Hier ergeben sich für das Referenzhaus 30,5 kg MEG-Äquivalente, für das Holzhaus 46,8 kg MEG-Äquivalente.

#### 7.4.1.2 Worst-Case-Szenario nach FoBiG

Setzt man in den beiden Gebäudevarianten jeweils nur die Baustoffe ein, deren Gefahrstoffpotenzial am größten ist, so ergeben sich deutliche Unterschiede im Vergleich zum Best-Case-Szenario. Auch hier kommt man wieder zu verschiedenen Ergebnissen, in Abhängigkeit von der Wahl der Deck- und Dispersionsfarben bzw. der Klebstoffart für Steinzeugplatten.

---

<sup>39</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Die Schadstoffmenge<sup>40</sup> beträgt in den beiden Gebäuden zwischen 261,9 kg und 413,4 kg, das Gefahrstoffpotenzial HSP zwischen 362.715 und 578.907 kg MEG-Äquivalenten. Während jedoch die absoluten Schadstoffmengen im Holzhaus höher als im Referenzhaus sind, ist das Gefahrstoffpotenzial niedriger als im Referenzhaus. Im Worst-Case-Szenario ist der getrennte Einsatz von Dispersions- und Deckfarben bezüglich des Gefahrstoffpotenzials günstiger als die Verwendung kombinierter Farben.

Die beste Variante besteht jedoch darin, für die Steinzeugplatten Klebstoffe auf zementärer Basis zu verwenden (Referenzhaus 414.208 kg MEG-Äquivalente, Holzhaus 362.715 kg MEG-Äquivalente). Auf den ersten Blick erhöht sich dadurch zwar die absolute Schadstoffmenge (im Referenzhaus von 261,9 auf 279,5 kg, im Holzhaus von 286,7 auf 320,1 kg), da die Inhaltsstoffe des Epoxidharz-Klebstoffs jedoch ein erheblich größeres potenzielles relatives Risiko besitzen, ist bei dessen Verwendung auch das Gefahrstoffpotenzial in den beiden Gebäuden höher (Referenzhaus 416.778 kg MEG-Äquivalente, Holzhaus 367.605 kg MEG-Äquivalente). Die ungünstigste Variante ergibt sich hingegen, wenn man kombinierte Deck- und Dispersionsfarben und zudem den Epoxidharzklebstoff für die Steinzeugplatten verwendet. In diesem Fall beträgt das HSP im Referenzhaus 578.907 kg MEG-Äquivalente, im Holzhaus liegt der Wert bei 550.359 kg MEG-Äquivalenten.

Anhand Tabelle 74 erkennt man zudem die Unterschiede zwischen den einzelnen Baustoffen. Betrachtet man die einzelnen Produkte, so kann man deutlich erkennen, in welchen Produkten Inhaltsstoffe mit einem hohen Wirkpotenzial enthalten sind. Während beispielsweise bei den Klebstoffen für Steinzeugplatten auf zementärer Basis und den Klebstoffen für Linoleumbeläge die absolute Schadstoffmenge nahezu gleich ist (72,0 bzw. 73,1 kg), ist das HSP der Linoleumklebstoffe mit 200.865 kg MEG-Äquivalenten bedeutend höher als das der zementären Klebstoffe (36 kg MEG-Äquivalente).

#### **7.4.1.3 Vergleich der beiden Szenarien**

Bei der Gegenüberstellung der beiden Szenarien werden die Unterschiede besonders deutlich: Während das geringste Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus bei 8,6 und im Holzhaus bei 7,6 kg MEG-Äquivalenten liegt, beträgt das höchste Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus 578.907, im Holzhaus 550.359 kg MEG-Äquivalente. Die erheblich höheren Werte im Worst-Case-Szenario kommen hauptsächlich dadurch zustande, dass Produkte eingesetzt werden, deren Inhaltsstoffe ein hohes Wirkpotenzial besitzen, also beispielsweise krebserregend sind, während im Best-Case-Szenario mehrere Produkte ausgewählt wurden, die gar keine gefährlichen Inhaltsstoffe enthalten.

---

<sup>40</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Hier ergeben sich erste Optimierungsansätze. Ersetzt man beispielsweise im Worst-Case-Szenario in der ungünstigsten Variante (kombinierte Dispersions- und Deckfarben, Klebstoffe auf anderer Basis) lediglich die drei Produkte mit dem höchsten Gefahrstoffpotenzial (kombinierte Dispersions- und Deckfarbe, Klebstoff für Linoleumbeläge und Klebstoff für textile Bodenbeläge) durch die vergleichbaren Produkte aus dem Best-Case-Szenario, so senkt sich das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus bereits um 93,5 Prozent (von 578.907 auf 37.822 kg MEG-Äquivalente), im Holzhaus senkt sich das Gefahrstoffpotenzial entsprechend von 550.359 auf 67.498 kg MEG-Äquivalente, also um 87,7 Prozent.

In Kapitel 6.3 auf Seite 77 stellte sich zudem die Frage, ob die unterschiedliche Aufteilung der Bodenbelagsarten einen Einfluss auf die Schadstoffverteilung besitzt. Während im Referenzhaus 124 m<sup>2</sup> mit Linoleumbelägen bzw. textilen Bodenbelägen und lediglich 40 m<sup>2</sup> mit Steinzeugplatten ausgelegt sind, sind im Holzhaus 98 m<sup>2</sup> mit Linoleum- bzw. textilen Bodenbelägen sowie 76 m<sup>2</sup> mit Steinzeugplatten verlegt. Betrachtet man in den beiden Szenarien daher lediglich die Klebstoffe, so gibt es jeweils zwei Möglichkeiten. Im Best-Case-Szenario enthalten die Klebstoffe für Linoleum- und Textilbeläge keine gefährlichen Inhaltsstoffe<sup>41</sup>. Verwendet man zusätzlich für die Steinzeugplatten Dispersionsklebstoffe, so beträgt das Gefahrstoffpotenzial in beiden Gebäuden 0 kg MEG-Äquivalente. Werden jedoch für die Steinzeugplatten – wie in den beiden Gebäuden auch geschehen – Kleber auf zementärer Basis eingesetzt, so ist das Gefahrstoffpotenzial im Holzhaus mit 35,6 kg MEG-Äquivalenten fast doppelt so hoch wie im Referenzhaus mit 18,7 kg MEG-Äquivalenten.

Im Worst-Case-Szenario werden Klebstoffe eingesetzt, deren Gefahrstoffpotenzial am größten ist. Hier werden die Unterschiede in der Verteilung der Bodenbeläge in den beiden Gebäuden deutlicher. Betrachtet man nur die Linoleumbeläge und die textilen Bodenbeläge, so beträgt das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus 378.847 kg MEG-Äquivalente, im Holzhaus ist es mit 300.027 kg MEG-Äquivalenten hingegen deutlich geringer. Dieses Verhältnis kann auch durch die Auswahl des Klebstoffs für Steinzeugplatten nicht gravierend geändert werden. Bei Einsatz eines Klebstoffs auf zementärer Basis erhöht sich das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus um 36, im Holzhaus um 68,5 kg MEG-Äquivalente. Wird hingegen ein Epoxidharzklebstoff für die Steinzeugplatten verwendet, so erhöht sich das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus auf 381.453, im Holzhaus auf 304.986 kg MEG-Äquivalente.

In beiden Fällen führt die geringere Fläche an Linoleumbelägen und textilen Bodenbelägen im Holzhaus zu einem erheblich geringeren Gefahrstoffpotenzial verglichen mit dem Referenzhaus.

---

<sup>41</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle 73: Best-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach FoBiG

Anwendungsgebiet	Produkt	Referenzhaus		Holzhaus	
		Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]	Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]
Dispersions- und Deckfarbe	Einza Samt-Acryl	7,8	3,2	8,8	3,6
Deckfarbe	Einza Holzcolor	0	0	0	0
Dispersionsfarbe	Sikkens Diwagolan Superweiß, Sikkens Diwadur HD-LF, Sikkens Diwaplus, Sikkens Diwamatt-LF	0	0	0	0
Holzfensterlack	Einza Selection Fensterlack	11,8	8,4	10,5	7,5
Heizkörperlack	Einza Aquatherm	0,17	0,08	0,04	0,02
Holzschutzmittel	Adolit Bor flüssig	0	0	0	0
Klebstoff Linoleumbeläge	Schönox Linobond	0	0	0	0
Klebstoff textile Bodenbeläge	Schönox Floortex, Schönox Tex-Objekt	0	0	0	0
Klebstoff Steinzeugplatten (zementäre Basis)	Relö Fließbettkleber	36,0	18,7	68,5	35,6
Klebstoff Steinzeugplatten (andere Basis)	Albon Coll Paneel- und Montagekleber, Schönox TL, Relö Fliesenklebstoff wasserbeständig, Relö Fliesen- und Mehrzweckkleber	0	0	0	0
Dichtungsmittel	Bostik 1566, Bostik 2720, Klebe- und Dichtmasse CS	0	0	0	0
Zement	Portlandzement, Chromatgehalt 0,1 ppm	0,0032	0,16	0,0025	0,12
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>12,0</b>	<b>8,6</b>	<b>10,5</b>	<b>7,6</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>19,8</b>	<b>11,8</b>	<b>19,3</b>	<b>11,2</b>
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>48,0</b>	<b>27,3</b>	<b>79,0</b>	<b>43,2</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>55,8</b>	<b>30,5</b>	<b>87,8</b>	<b>46,8</b>

\* Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle 74: Worst-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach FoBiG

Anwendungsgebiet	Produkt	Referenzhaus		Holzhaus	
		Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]	Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]
Dispersions- und Deckfarbe	Sikkens Color Hochglanzlack, Basis	121,4	162.238	136,8	182.838
Deckfarbe	Sikkens Cetol Novatech	21,8	96,0	15,4	68,0
Dispersionsfarbe	Sikkens Color Acryllack	22,6	12,6	28,1	15,7
Holzfensterlack	Einza Fensterfinish	10,1	58,8	8,9	52,2
Heizkörperlack	Sikkens Heizkörperlack	2,97	1.892	0,76	479
Holzschutzmittel	Adolit CKB-P	8,4	26.645	17,6	55.901
Klebstoff Linoleumbeläge	Schönox N 640	73,1	200.865	56,4	155.099
Klebstoff textile Bodenbeläge	Schönox N 640	64,8	177.982	52,7	144.928
Klebstoff Steinzeugplatten (zementäre Basis)	Relö Fliesenkleber, Aida Elastokleber, Schönox FK-1, Schönox SK	72,0	36,0	137,0	68,5
Klebstoff Steinzeugplatten (andere Basis)	Relö EP-Fliesenklebstoff	54,4	2.606	103,6	4.959
Dichtungsmittel	Silikon N	2,60	6.565	2,40	6.060
Zement	Portlandzement, Chromatgehalt 35 ppm	1,11	55,5	0,86	43,1
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>279,5</b>	<b>414.208</b>	<b>320,1</b>	<b>362.715</b>
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>261,9</b>	<b>416.778</b>	<b>286,7</b>	<b>367.605</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>356,5</b>	<b>576.337</b>	<b>413,4</b>	<b>545.469</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>338,9</b>	<b>578.907</b>	<b>380,0</b>	<b>550.359</b>

\* Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

## 7.4.2 Indikatorergebnis für das Berechnungsverfahren nach TRGS 440

In Kapitel 7.4.1 wurde zur Berechnung der beiden Szenarien das Berechnungsverfahren nach den optimierten Vorschlägen des *FoBiG* (Kalberlah et al. 1998) angewandt. In diesem Abschnitt werden dieselben Produkte nach dem Verfahren der *TRGS 440* (BMA 1996) berechnet, um zu prüfen, ob signifikante Unterschiede bestehen.

Zur Berechnung des Gefahrstoffpotenzials werden einige Annahmen getroffen. Analog zu dem Berechnungsverfahren nach *FoBiG* wird für Stoffe, für die in der Literatur keine Dampfdruckwerte gefunden werden, als Freisetzungsfaktor  $F = 1$  angenommen.

Wie aus Tabelle 54 auf Seite 96 ersichtlich wird, ist zudem einigen R-Sätzen nach der *TRGS 440* von 1996 kein Wirkpotenzial zugeordnet. Der R-Satz R65 erhält nach den Optimierungsvorschlägen des *FoBiG* den Wirkfaktor  $W = 10$ . In Anlehnung an die R-Sätze R20 bis R22, die ebenfalls mit  $W = 10$  eingestuft sind, wird daher in der vorliegenden Arbeit dem R-Satz R65 nach *TRGS 440* das Wirkpotenzial  $W = 3$  zugeordnet. Für die R-Sätze R29 und R31 (Entwickelt bei Berührung mit Wasser bzw. Säure giftige Gase) wird analog zu den R-Sätzen R24 bis R26 (Giftig beim Einatmen, bei Berührung mit der Haut bzw. beim Verschlucken)  $W = 4$ , für R32 (Entwickelt bei Berührung mit Säure sehr giftige Gase) wird analog zu den R-Sätzen R26 bis R28 (Sehr giftig beim Einatmen, bei Berührung mit der Haut bzw. beim Verschlucken)  $W = 5$  angenommen.

Die R-Sätze R45, R46 und R49 (krebserzeugende oder erbgutverändernde Stoffe) erhalten nach den Vorschlägen des *FoBiG* einen Wirkfaktor  $W = 50.000$ , der somit um Faktor 50 höher als der höchste Wirkfaktor liegt. In dem Berechnungsverfahren nach der *TRGS 440* von 1996 liegt die Abstufung der Wirkfaktoren zwischen  $W = 1$  bis 5, so dass ein analoger Höchstwert von  $W = 250$  kaum denkbar ist. Um diese drei R-Sätze dennoch deutlich von den anderen Einstufungen abzugrenzen, wird in der vorliegenden Arbeit für R45, R46 und R49 ein Wirkfaktor  $W = 10$  angenommen.

Als Bezugssubstanz wird ebenfalls Monoethylenglykol (MEG) gewählt, dessen potenzielles relatives Risiko nach *TRGS 440* jedoch  $pR = 3$  beträgt. Alle Substanzen werden daher auf diesen Wert bezogen. Zur Berechnung des Gefahrstoffpotenzials HSP werden wiederum die Produktmengen aus Tabelle 72 auf Seite 121 zugrunde gelegt.

Die ausführlichen Berechnungen sind im Anhang in Tabelle A 75 und Tabelle A 76 dargestellt, die Ergebnisse sind für das Best-Case-Szenario in Tabelle 75, für das Worst-Case-Szenario in Tabelle 76 zusammengefasst.

#### 7.4.2.1 Best-Case-Szenario nach TRGS 440

Berechnet man das Gefahrstoffpotenzial für die Produkte des Best-Case-Szenarios mit den W- und F-Faktoren nach TRGS 440 (BMA 1996), so ergeben sich in der günstigsten Variante (Verwendung getrennter Dispersions- und Deckfarben, Klebstoffe für Steinzeugplatten auf Dispersionsbasis) für das Referenzhaus 10,7 kg MEG-Äquivalente, für das Holzhaus sind es 9,4 kg MEG-Äquivalente. Bei Verwendung kombinierter Dispersions- und Deckfarben erhöht sich das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus auf 15,9 kg MEG-Äquivalente, im Holzhaus auf 15,2 kg MEG-Äquivalente.

Bei der Berechnung nach TRGS 440 ist das Gefahrstoffpotenzial im Holzhaus höher als im Referenzhaus, sobald als Klebstoff für Steinzeugplatten anstelle von Dispersionsklebstoffen zementäre Klebstoffe eingesetzt werden. Das höchste Gefahrstoffpotenzial ergibt sich, wenn man kombinierte Dispersions- und Deckfarben sowie Klebstoffe auf zementärer Basis verwendet. In diesem Fall liegt das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus bei 39,9 kg MEG-Äquivalenten, im Holzhaus bei 60,9 kg MEG-Äquivalenten.

#### 7.4.2.2 Worst-Case-Szenario nach TRGS 440

Bei der Berechnung des Worst-Case-Szenarios nach TRGS 440 besteht die beste Variante darin, für die Steinzeugplatten Klebstoffe auf zementärer Basis sowie getrennte Dispersions- und Deckfarben zu verwenden (Referenzhaus 494,1 kg MEG-Äquivalente, Holzhaus 474,3 kg MEG-Äquivalente). Verwendet man statt des zementären Klebstoffs hingegen einen Epoxidharzklebstoff, so erhöht sich das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus auf 517,8 kg MEG-Äquivalente, im Holzhaus auf 519,5 kg MEG-Äquivalente.

Die ungünstigste Variante im Worst-Case-Szenario ergibt sich, wenn man kombinierte Deck- und Dispersionsfarben und zudem den Epoxidharzklebstoff für die Steinzeugplatten verwendet. Hier beträgt das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus 682,6 kg MEG-Äquivalente, im Holzhaus liegt der Wert bei 713,3 kg MEG-Äquivalenten.

#### 7.4.3 Ergebnisse – Vergleich der unterschiedlichen Berechnungsverfahren

Vergleicht man die Szenarien mit den unterschiedlichen Berechnungsverfahren, so unterscheiden sich die beiden Best-Case-Szenarien nur geringfügig voneinander. Das geringste Gefahrstoffpotenzial liegt für das Referenzhaus in dem Verfahren nach FoBiG bei 8,6 (10,7 kg MEG-Äquivalente nach TRGS 440), für das Holzhaus bei 7,6 (9,4 kg MEG-Äquivalente nach TRGS 440). In der ungünstigsten Variante beträgt das Gefahrstoffpotenzial für das Referenzhaus nach FoBiG 30,5 (39,9 kg MEG-Äquivalente nach TRGS 440), für das Holzhaus 46,8 (60,9 kg MEG-Äquivalente nach TRGS 440).

Erhebliche Unterschiede bestehen hingegen beim Vergleich der beiden Worst-Case-Szenarien. Nach *TRGS 440* beträgt das Gefahrstoffpotenzial im Referenzhaus zwischen 494 und 683 kg MEG-Äquivalenten, im Holzhaus zwischen 474 und 713 kg MEG-Äquivalenten. In dem Berechnungsverfahren nach *FoBiG* liegen die Werte im Referenzhaus hingegen zwischen 414.208 und 578.907 kg MEG-Äquivalenten, im Holzhaus zwischen 362.715 und 550.359 kg MEG-Äquivalenten. Diese weitaus höheren Werte kommen dadurch zustande, dass in dem Berechnungsverfahren nach *FoBiG* Stoffe, die krebserregend oder erbgutverändernd sind (R45, R46 oder R49), mit einem Wirkfaktor von  $W = 50.000$  in die Berechnung eingehen, während nach *TRGS 440* lediglich ein Wirkfaktor von  $W = 10$  angenommen wird.

Diese unterschiedliche Einstufung führt außerdem dazu, dass das Gefahrstoffpotenzial in dem Berechnungsverfahren nach *TRGS 440* nur für die Variante „getrennter Einsatz von Dispersions- und Deckfarben sowie Verwendung zementärer Klebstoffe für die Steinzeugplatten“ im Referenzhaus höher als im Holzhaus ist, während jedoch bei dem Verfahren nach *FoBiG* das Gefahrstoffpotenzial in allen Varianten im Referenzhaus höher liegt als im Holzhaus. Betrachtet man die Charakterisierungsfaktoren der Produkte, die mit R45, R46 oder R49 gekennzeichnete Inhaltsstoffe enthalten, näher, so wird der Unterschied zwischen den beiden Berechnungsverfahren deutlich:

	<b>TRGS 440</b>	<b>FoBiG</b>
<b>Adolit CKB-P:</b>	2,345	3.000,6
<b>Schönox N 640:</b>	2,517	2.542,6

Während nach *TRGS 440* der Klebstoff *Schönox N 640* einen höheren Charakterisierungsfaktor als das Holzschutzmittel *Adolit CKB-P* besitzt, ist es nach *FoBiG* umgekehrt. In *Adolit CKB-P* sind die Stoffe Natriumdichromat und Chromtrioxid enthalten, die beide beim Einatmen Krebs erzeugen können (R49), und damit in dem Berechnungsverfahren nach *FoBiG* einen Wirkfaktor  $W = 50.000$  erhalten. In dem Verfahren nach *TRGS 440*, in dem krebserregende Stoffe ausdrücklich nicht berücksichtigt werden, wird für diese Stoffe in der vorliegenden Arbeit nur ein Wirkfaktor von  $W = 10$  angenommen, so dass die Unterschiede deutlich geringer ausfallen.

Vergleicht man in dem Berechnungsverfahren nach *TRGS 440* zudem die Charakterisierungsfaktoren der Produkte *Sikkens Color Hochglanzlack, Basis* (0,608) und *Relö EP-Fliesenklebstoff* (0,498), so unterscheiden sie sich nur geringfügig. In dem Berechnungsverfahren nach *FoBiG* besteht hingegen ein deutlicher Unterschied. Während *Relö EP-Fliesenklebstoff* einen Charakterisierungsfaktor von 18,1 besitzt, ist dieser bei *Sikkens Color Hochglanzlack, Basis* mit 501,2 erheblich höher. In diesem Produkt ist Solventnaphtha enthalten, das mit R45 gekennzeichnet ist und somit nach *FoBiG* ebenfalls den Wirkfaktor  $W = 50.000$  besitzt.

An diesen beiden Beispielen wird deutlich, dass zwischen den beiden Berechnungsverfahren erhebliche Unterschiede bestehen, die sich auch auf das Ergebnis auswirken können.

Tabelle 75: Best-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach TRGS 440

Anwendungsgebiet	Produkt	Referenzhaus		Holzhaus	
		Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]	Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]
Dispersions- und Deckfarbe	Einza Samt-Acryl	7,8	5,2	8,8	5,8
Deckfarbe	Einza Holzcolor	0	0	0	0
Dispersionsfarbe	Sikkens Diwagolan Superweiß, Sikkens Diwadur HD-LF, Sikkens Diwaplus, Sikkens Diwamatt-LF	0	0	0	0
Holzfensterlack	Einza Selection Fensterlack	11,8	10,6	10,5	9,4
Heizkörperlack	Einza Aquatherm	0,17	0,11	0,04	0,028
Holzschutzmittel	Adolit Bor flüssig	0	0	0	0
Klebstoff Linoleumbeläge	Schönox Linobond	0	0	0	0
Klebstoff textile Bodenbeläge	Schönox Floortex, Schönox Tex-Objekt	0	0	0	0
Klebstoff Steinzeugplatten (zementäre Basis)	Relö Fließbettkleber	36,0	24,0	68,5	45,7
Klebstoff Steinzeugplatten (andere Basis)	Albon Coll Paneel- und Montagekleber, Schönox TL, Relö Fliesenklebstoff wasserbeständig, Relö Fliesen- und Mehrzweckkleber	0	0	0	0
Dichtungsmittel	Bostik 1566, Bostik 2720, Klebe- und Dichtmasse CS	0	0	0	0
Zement	Portlandzement, Chromatgehalt 0,1 ppm	0,0032	$4,2 \cdot 10^{-3}$	0,0025	$3,3 \cdot 10^{-3}$
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>12,0</b>	<b>10,7</b>	<b>10,5</b>	<b>9,4</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>19,8</b>	<b>15,9</b>	<b>19,3</b>	<b>15,2</b>
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>48,0</b>	<b>34,7</b>	<b>79,0</b>	<b>55,1</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>55,8</b>	<b>39,9</b>	<b>87,8</b>	<b>60,9</b>

\* Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle 76: Worst-Case-Szenario für Referenzhaus und Holzhaus nach TRGS 440

Anwendungsgebiet	Produkt	Referenzhaus		Holzhaus	
		Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]	Schadstoffe* [kg]	HSP [kg MEG- Äquivalente]
Dispersions- und Deckfarbe	Sikkens Color Hochglanzlack, Basis	121,4	196,9	136,8	221,9
Deckfarbe	Sikkens Cetol Novatech	21,8	22,1	15,4	15,6
Dispersionsfarbe	Sikkens Color Acryllack	22,6	10,0	28,1	12,5
Holzfensterlack	Einza Fensterfinish	10,1	7,6	8,9	6,7
Heizkörperlack	Sikkens Heizkörperlack	2,97	3,0	0,76	0,8
Holzschutzmittel	Adolit CKB-P	8,4	20,8	17,6	43,7
Klebstoff Linoleumbeläge	Schönox N 640	73,1	198,8	56,4	153,5
Klebstoff textile Bodenbeläge	Schönox N 640	64,8	176,2	52,7	143,5
Klebstoff Steinzeugplatten (zementäre Basis)	Relö Fliesenkleber, Aida Elastikleber, Schönox FK-1, Schönox SK	72,0	48,0	137,0	91,3
Klebstoff Steinzeugplatten (andere Basis)	Relö EP-Fliesenklebstoff	54,4	71,7	103,6	136,5
Dichtungsmittel	Silikon N	2,60	6,1	2,40	5,6
Zement	Portlandzement, Chromatgehalt 35 ppm	1,11	1,5	0,86	1,1
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>279,5</b>	<b>494,1</b>	<b>320,1</b>	<b>474,3</b>
<b>Summe (getrennte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>261,9</b>	<b>517,8</b>	<b>286,7</b>	<b>519,5</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, zementäre Klebstoffe)</b>		<b>356,5</b>	<b>658,9</b>	<b>413,4</b>	<b>668,1</b>
<b>Summe (kombinierte Disp./Deckfarben, andere Klebstoffe)</b>		<b>338,9</b>	<b>682,6</b>	<b>380,0</b>	<b>713,3</b>

\* Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

## 8 Diskussion

### 8.1 Diskussion der Methode zur Berechnung des Gefahrstoffpotenzials

In Kapitel 7.2.1 wird ein neues Berechnungsverfahren zur Wirkungsabschätzung innerhalb der Wirkungskategorie Humantoxizität vorgestellt, wobei der Fokus auf der Ermittlung von Gefahrstoffen<sup>42</sup> liegt (*Gefahrstoffpotenzial*). Das Verfahren bezieht das Wirkpotenzial von Stoffen anhand ihrer R-Sätze sowie das Freisetzungspotenzial über ihren Dampfdruck ein. Um die verschiedenen Stoffe zu einem Einzelstoffindex zusammenfassen zu können, wird als Bezugsstoff Monoethylenglykol (MEG) gewählt. Analog zur Bildung von CO<sub>2</sub>- oder SO<sub>2</sub>-Äquivalenten in den Wirkungskategorien Treibhauspotenzial bzw. Versauerung werden für die Produkte innerhalb der Wirkungskategorie Humantoxizität für das Gefahrstoffpotenzial sogenannte MEG-Äquivalente gebildet, mit deren Hilfe sie innerhalb dieser Wirkungskategorie vergleichbar werden und durch Summenbildung zu einem Wert zusammengefasst werden können.

In dem vorgestellten Verfahren werden – aufgrund fehlender oder abweichender Daten – verschiedene Annahmen getroffen. Die R-Sätze werden in der vorliegenden Arbeit den Sicherheitsdatenblättern der Produkte sowie Stoffdatenbanken entnommen. Werden in den Stoffdatenbanken zu den jeweiligen Stoffen R-Sätze gefunden, die ein höheres Wirkpotenzial besitzen als die R-Sätze, die auf den Sicherheitsdatenblättern angegeben sind, so wird mit dem höheren Wirkpotenzial weitergerechnet. Als Beispiel ist hier das Produkt *Sikkens Color Hochglanzlack, Basis* zu nennen. In diesem Lack ist Solventnaphtha enthalten. Während sich auf dem Sicherheitsdatenblatt<sup>43</sup> keine Angaben zu den R-Sätzen dieses Stoffes befinden, besitzt Solventnaphtha nach den Angaben des bgvv<sup>44</sup> jedoch die R-Sätze R45 und R65 und gehört damit zu den Stoffen, die Krebs erzeugen können.

Wie bei den R-Sätzen liegen auch für einige Dampfdruckwerte abweichende Angaben aus verschiedenen Quellen vor. In diesem Fall werden die Berechnungen ebenfalls vorsorglich mit dem höheren Wert durchgeführt. Bei einigen Stoffen sind zudem in der Literatur gar keine Angaben über den Dampfdruck zu finden. Bei diesen Stoffen wird daher für die weiteren Berechnungen der geringste Freisetzungsfaktor  $F = 1$  angenommen. Für Feststoffe ist diese Annahme sicherlich gerechtfertigt, nicht unbedingt jedoch für Flüssigkeiten.

---

<sup>42</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

<sup>43</sup> Quelle: <http://www.farben.com/sd/sikkens/105111.htm> vom 16.05.00.

<sup>44</sup> Quelle: <http://www.bgvv.de/fbs/chem/civs/6474295.htm> vom 17.05.00.

Führt man die Berechnungen daher mit dem reellen Dampfdruck durch, so kann das potenzielle relative Risiko einiger Produkte entsprechend höher liegen, was wiederum zu einem anderen Ergebnis führen kann.

Liegen zu einigen Inhaltsstoffen keine Angaben zu R-Sätzen vor, so kann dies zwar einerseits bedeuten, dass keine entsprechende Wirkung vorhanden ist, wahrscheinlicher ist jedoch, dass für diese Stoffe noch keine Prüfdaten bestehen. Um die Datenqualität bei der Berechnung des Gefahrstoffpotenzials zu verbessern, sind daher vollständige und einheitliche Angaben auf den Sicherheitsdatenblättern der Produkte, aber auch in den vorhandenen Stoffdatenbanken unerlässlich. Unzureichende Daten auf vielen Sicherheitsdatenblättern sind auch der Grund, weshalb nur ausgewählte Produkte, bei denen ausführliche Daten vorhanden sind, in die Berechnungen dieser Arbeit einbezogen werden. Da der Standard bei Sicherheitsdatenblättern jedoch voraussichtlich zunehmen wird, erscheint die Datensammlung anhand dieser Quellen dennoch als eine geeignete Methode.

Die vorliegende Methode beschränkt sich ausschließlich auf die Stoffe, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Tabelle 13, Seite 54). Wenn also laut Sicherheitsdatenblatt keine *gefährlichen* Inhaltsstoffe in den Produkten enthalten sind, so können dennoch andere Inhaltsstoffe vorhanden sein, die für die Gesundheit des Menschen ebenfalls bedenklich sind, z.B. Stoffe, die Allergien hervorrufen. Diese werden jedoch bei der Berechnung des Gefahrstoffpotenzials nach der vorgestellten Methode nicht berücksichtigt.

Wie bereits mehrfach erwähnt, werden mit der vorgestellten Methode mit R-Sätzen gekennzeichnete Gefahrstoffe berechnet. Neben toxischen werden zwar auch physikalisch-chemische (R1-19, R30, R44) und ökotoxische Eigenschaften (R50-59) von Stoffen mit R-Sätzen gekennzeichnet, durch die vergleichsweise geringe Einstufung des Wirkpotenzials mit  $W = 0,5$  (siehe Tabelle 54, Seite 96) nach dem Berechnungsverfahren von Kalberlah et al. (1998) wird jedoch deutlich, dass der Fokus in diesem Verfahren auf den toxischen Eigenschaften liegt. Eine Berechnung z.B. des Ökotoxizitätspotenzials ist daher mit dieser Methode nicht möglich.

Das vorgestellte Berechnungsverfahren orientiert sich an der Phase der Wirkungsabschätzung in der Ökobilanz-Methode (DIN 14042), die in Kapitel 3.1.3 auf Seite 21 erläutert wird. Während nach der Ökobilanz-Methode jedoch ein wertender Schritt in der Wirkungsabschätzung frühestens in den Arbeitsschritten *Ordnung* oder *Gewichtung* erfolgen darf, beruht durch die Auswahl der W- und F-Faktoren in dem vorliegenden Berechnungsverfahren bereits der Schritt der *Charakterisierung* auf Werthaltungen, da die Einstufung der Faktoren nur bedingt wissenschaftlich begründet ist.

Die Einstufung der Toxizitätszunahme – z.B. von „gesundheitsschädlich“ über „giftig“ bis „sehr giftig“ – erfolgt in dem Berechnungsverfahren nach Kalberlah et al. (1998) zwar in Anlehnung an Einstufungsregeln (Letalkonzentrationen), Arbeitsplatzgrenzwerte (MAK-Werte) sowie Kennzeichnungsregeln für Zubereitungen und beruht somit auf vorhandenen Regeln und naturwissenschaftlichen Erkenntnissen. Für die Einstufung unterschiedlicher Wirkungsarten (z.B. die Abgrenzung der Wirkung „gesundheitsschädlich“ gegenüber „reizend“ oder „krebserzeugend“) werden hingegen vorwiegend Annahmen getroffen.

Im Gegensatz zu anderen Wirkungskategorien in bisher durchgeführten Ökobilanzen (z.B. Berechnung des Treibhauseffekts mittels CO<sub>2</sub>-Äquivalenten), in denen der Schritt der Charakterisierung weitestgehend naturwissenschaftlich begründet ist, beruht demnach in dem vorgestellten Verfahren die Berechnung der Wirkungsindikatorergebnisse für das Gefahrstoffpotenzial teilweise auf Werthaltungen. Diese können – wie der Vergleich der verschiedenen Berechnungsverfahren nach *TRGS 440* und *FoBiG* in Kapitel 7.4.3 auf Seite 128 gezeigt hat – durchaus zu verschiedenen Ergebnissen führen.

Um analog zu anderen Wirkungskategorien auch für das Gefahrstoffpotenzial wertfreie Ergebnisse zu erhalten, sind daher weitere Prüfungen von Stoffeigenschaften und -wirkungen unerlässlich, mit deren Hilfe die Einstufung der Wirkpotenziale von verschiedenen Stoffeigenschaften dann wissenschaftlich begründet erfolgen kann.

Schließlich muss noch erwähnt werden, dass die Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit ausschließlich auf Ebene der Baustoffe durchgeführt werden. Eine Erweiterung der Methode auf die Materialebene – z.B. Berechnung und Vergleich des Gefahrstoffpotenzials von PVC-Bodenbelägen gegenüber textilen Bodenbelägen oder Steinfliesen – wäre durchaus vorstellbar, erweist sich zum heutigen Zeitpunkt jedoch noch schwierig, da eine vollständige Deklaration der Inhaltsstoffe auf Produkten größtenteils noch nicht gegeben ist.

## 8.2 Weitere Methoden zur Wirkungsabschätzung der Humantoxizität

Neben dieser Methode zur Berechnung des Gefahrstoffpotenzials gibt es bereits mehrere bestehende Ansätze zur Berechnung der Wirkungsabschätzung in der Kategorie Humantoxizität, von denen zwei im Folgenden kurz erläutert und gegenüber der vorgestellten Methode abgegrenzt werden.

### 8.2.1 Berechnung des Humantoxizitätspotenzials mit Phenol-Äquivalenten

In einer Studie von Guinée und Heijungs (1993) wird ein Verfahren zur Wirkungsabschätzung von potenziell toxischen Emissionen von Substanzen vorgeschlagen. In Anlehnung an Wirkungskategorien wie Treibhauseffekt (GWP) oder Ozonabbaupotenzial (ODP) wird in dieser Studie das Humantoxizitätspotenzial HTP definiert. Das HTP wird dabei in die zwei Bereiche Wirkung und Exposition gegliedert, die zunächst getrennt berechnet werden. Im Expositionsteil wird einerseits berücksichtigt, dass die toxischen Substanzen in verschiedene Umweltbereiche (Luft, Wasser, Boden) emittiert werden können, zum anderen, dass die Exposition gegenüber diesen toxischen Emissionen über drei verschiedene Aufnahmewege erfolgen kann: die orale Aufnahme über Nahrungsmittel und Getränke (Trinkwasser, Fisch, Fleisch, Feldfrüchte, Milchprodukte), die Aufnahme über die Atemwege und die Aufnahme über die Haut.

Die Berechnung der Wirkung erfolgt in dem Modell nach Guinée und Heijungs (1993) über sogenannte NEI-Werte (no effect intake), also die Konzentration bzw. Dosis, bei der noch kein Effekt bei Aufnahme der Substanz auftritt. Bei den NEI-Werten wird wiederum zwischen oraler Aufnahme und Aufnahme über die Atmung unterschieden.

Als Grundlage für die orale Aufnahme dienen sogenannte ADI- (acceptable daily intake) und TDI-Werte (tolerable daily intake). Während die ADI-Werte für eine begrenzte Anzahl an Substanzen von der Weltgesundheitsorganisation WHO bestimmt werden, sind die TDI-Werte vom holländischen National Institut for Public Health and Environmental Protection (RIVM) hergeleitet worden. Als Grundlage für die Aufnahme toxischer Substanzen über die Atemwege dienen sogenannte TAC-Werte (tolerable air concentration), die ebenfalls vom RIVM entwickelt wurden, oder – wenn diese Werte nicht vorliegen – sogenannte AQC-Werte (air quality guidelines) der WHO.

Als Referenzsubstanz wird in dem Modell nach Guinée und Heijungs (1993) Phenol ausgewählt, da die für diese Substanz erforderlichen physikalischen und toxischen Daten gut verfügbar sind. Durch Kombination des Expositions- und Wirkungsteils und Bezug auf die Referenzsubstanz Phenol erhält man schließlich den Klassifizierungsfaktor, das sogenannte Humantoxizitätspotenzial HTP, das nun für jeden Umweltbereich (Wasser, Boden, Luft), in den die toxische Substanz emittiert wird, nach Gleichung 7 berechnet werden kann:

**Gleichung 7: Berechnung des Humantoxizitätspotenzials HTP (Guinée und Heijungs 1993)**

$$HTP_{\text{subs,comp}} = \frac{K_{r,\text{subs,comp}}/NEI_{r,\text{subs}} + K_{o,\text{subs,comp}}/NEI_{o,\text{subs}}}{K_{r,\text{refsubs,refcomp}}/NEI_{r,\text{refsubs}} + K_{o,\text{refsubs,refcomp}}/NEI_{o,\text{refsubs}}}$$

mit

- HTP Humantoxizitätspotenzial einer Substanz,
- K Modellkonstante, die von den Eigenschaften der Substanz bzw. Referenzsub-  
stanz abhängt, z.B. Lebensdauer, Teilungskoeffizienten und Expositionspfade,
- NEI "No effect intake"-Werte,
- r Index für die Aufnahme über die Atemwege („respiratory“),
- o Index für die orale Aufnahme,
- subs Index für die Emission einer toxischen Substanz,
- refsubs Index für die Emission einer toxischen Referenzsubstanz,
- comp Index für den Umweltbereich (Boden, Wasser, Luft), in den die toxische Sub-  
stanz bzw. Referenzsubstanz emittiert wird.

**8.2.2 Berechnung des Krebsrisikopotenzials mit Arsen-Äquivalenten**

Vom ifeu-Institut Heidelberg wurde ein Verfahren entwickelt, das für Stoffe mit kanzerogener Wirkung, für die ein Expositionsweg für den Menschen gegeben ist, anwendbar ist, also hauptsächlich für kanzerogene Luftschadstoffe (Ostermayer et al. 1999). Mit Hilfe dieses Verfahrens lässt sich das Krebsrisikopotenzial (CRP = Carcinogenic Risk Potential) erfassen, indem alle in einer Sachbilanz erfassten Luftschadstoffemissionen, die kanzerogene Wirkungen auslösen, zu einem summarischen Wert zusammengefasst und auf einen Einzelstoffindex bezogen werden (siehe Gleichung 8).

**Gleichung 8: Bestimmung des Krebsrisikopotenzials CRP (Ostermayer et al. 1999)**

$$CRP = \sum_i (m_i \cdot CRP_i)$$

mit

- $m_i$  emittierte Menge des Schadstoffs  $i$ ,
- $CRP_i$  Krebsrisikopotenzial des Schadstoffes  $i$ .

Die Zusammenfassung der kanzerogenen Schadstoffemissionen wird auf der Grundlage sogenannter Einheitsrisikowerte (unit risk) durchgeführt, die unter anderem von der US-Umweltbehörde EPA herausgegeben und regelmäßig überarbeitet werden.

Als Bezugsstoff wird das Halbmetall Arsen gewählt, das zu den erwiesenermaßen krebserzeugenden Substanzen zählt und sowohl über den Atemweg als auch über die Nahrungsaufnahme wirksam ist. So kann für jeden Luftschadstoff anhand seines Krebsrisikopotenzials und der emittierten Menge der Beitrag zum Toxizitätspotenzial gebildet werden.

### 8.2.3 Vergleich der Ansätze zur Bestimmung der Humantoxizität

Während die Methode des ifeu-Instituts (Ostermayer et al. 1999) lediglich zur Bestimmung des Krebsrisikopotenzials, also zur Berechnung von Luftschadstoffemissionen, die kanzerogene Wirkungen auslösen, dient, sind der Ansatz von Guinée und Heijungs (1993) sowie die in dieser Arbeit vorgestellte Methode umfassender und beziehen neben dem Krebsrisiko auch andere humantoxische Wirkungen in die Berechnungen ein. Beide Methoden versuchen, neben der Wirkung, die durch toxische Substanzen ausgelöst werden kann, auch die Exposition zu berücksichtigen, also die Art und Weise, wie der Mensch diesen toxischen Substanzen ausgesetzt ist. Dennoch bestehen Unterschiede in der Art der Berechnung.

In dem Ansatz von Guinée und Heijungs (1993) werden die Wirkungen über sogenannte NEI-Werte („no effect intake“) berechnet, also Konzentrationen der Substanzen, bei denen noch kein Effekt bei der Aufnahme auftritt.

Nach der in dieser Arbeit vorgestellten Methode werden den verschiedenen Wirkungen hingegen je nach Art und Ausmaß Wirkfaktoren zugeordnet, die sich nach den R-Sätzen (Gefahrenhinweisen) richten, mit denen gefährliche Stoffe<sup>45</sup> bzw. Produkte gekennzeichnet werden müssen. Diese Wirkfaktoren orientieren sich z.T. an wissenschaftlichen Ansätzen, teilweise ist die Einstufung jedoch auch mit Werthaltungen verbunden (siehe Kapitel 8.1).

Vorteil dieser Methode ist, dass die erforderlichen Angaben über Zusammensetzung (Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen) und R-Sätze den zugehörigen Sicherheitsdatenblättern der Produkte entnommen werden können, die vom Hersteller zur Verfügung gestellt werden müssen. Voraussetzung für die Verfügbarkeit der Daten ist allerdings, dass die Angaben auf den Sicherheitsdatenblättern vollständig enthalten sind, und vor allem, dass die Stoffe ausreichend geprüft sind. Besitzt ein Stoff keine Angaben zu R-Sätzen, so kann dies zwar einerseits bedeuten, dass er kein Gefährlichkeitsmerkmal nach §3 Chemikaliengesetz besitzt, eine weitere Möglichkeit ist jedoch auch, dass seine Eigenschaften und Wirkungen noch nicht ausreichend geprüft wurden.

---

<sup>45</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Im dem Modell nach Guinée und Heijungs (1993) ist zur Berechnung der Wirkung eine große Anzahl an physikalischen und toxischen Kenndaten erforderlich (ADI- bzw. TDI-Werte, TAC- bzw. AQG-Werte). Einige dieser Daten sind bereits gut dokumentiert, aber es wird schwierig sein, alle diese Daten für die meisten relevanten toxischen Substanzen zusammenzustellen, so dass sich auch die Berechnung der Wirkung in diesen Fällen als schwierig erweisen kann. Dieselbe Schwierigkeit der Datenverfügbarkeit ergibt sich bei der Berechnung der Exposition, denn hier sind umfassende Daten zur Berechnung der Modellkonstante K erforderlich, die für die verschiedenen Aufnahmewege (oral, über die Atmung oder die Haut) jeweils unterschiedlich sein können.

In dem vorgestellten Berechnungsverfahren nach Kalberlah et al. (1998) wird die Exposition linear zum Dampfdruck der jeweiligen Substanzen berechnet. Hier besteht zum einen die Schwierigkeit, dass die Dampfdruckwerte nur für einige Substanzen gut dokumentiert sind, gerade jedoch bei Substanzgemischen, deren Zusammensetzung nicht einheitlich ist (z.B. Spezialbenzin), Angaben zum Dampfdruck fehlen. Fraglich ist auch, ob die Summe der Flüchtigkeit der Einzelsubstanzen gleichzusetzen ist mit der Flüchtigkeit des Substanzgemisches. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Exposition durch Hautkontakt bzw. bei staubenden Substanzen nicht berücksichtigt wird, wenn die Berechnung des Freisetzungsfaktors lediglich über den Dampfdruck erfolgt. Diese offenen Fragen werden derzeit jedoch in einer weiteren Studie des Forschungs- und Beratungsinstituts Gefahrstoffe (FoBiG) überprüft.

Gerade bei der Exposition bestehen daher erhebliche Unterschiede zu dem Verfahren nach Guinée und Heijungs (1993), da in deren Verfahren bei der Berechnung des Humantoxizitätspotenzials auch die Aufnahmewege (oral, über die Atemwege oder über Hautkontakt) in die Exposition einbezogen werden. Dieser Unterschied zu dem vorgestellten Verfahren wird in der vorliegenden Arbeit dadurch berücksichtigt, dass die Wirkungskategorie lediglich mit *Gefahrstoffpotenzial* und nicht mit *Humantoxizitätspotenzial* bezeichnet wird.

Obwohl in dem Modell nach Guinée und Heijungs (1993) die Daten zur Berechnung des Humantoxizitätspotenzials wissenschaftlich begründet sind und keine Werthaltungen beinhalten, ist dieses Modell dennoch aufgrund der großen Anzahl an erforderlichen Daten sowie deren bisher nur eingeschränkte Verfügbarkeit in der Praxis recht umständlich handzuhaben.

Das Verfahren zur Berechnung des Gefahrstoffpotenzials nach Kalberlah et al. (1998) bietet demgegenüber einen leichter anzuwendenden Ansatz, der jedoch gerade bei der Berechnung der Exposition noch weiteren Forschungsbedarf benötigt. Für eine Weiterentwicklung der Methodik können daher die Ergebnisse der aktuell durchgeführten Studien des FoBiG mit einbezogen werden.

## 9 Literaturverzeichnis

- Bahadir et al. 1995 Bahadir, M.; Parlar, H.; Spittler, M. (Hrsg.): „Springer Umweltlexikon“; Berlin/Heidelberg, 1995
- Bender 2000 Bender, H. F.: „Sicherer Umgang mit Gefahrstoffen – Sachkunde für Naturwissenschaftler“; 2. Auflage, Weinheim, 2000
- BMA 1996 Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung (Hrsg.): „Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS 440; Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen durch Gefahrstoffe am Arbeitsplatz: Vorgehensweise (Ermittlungspflichten)“; Bekanntmachung des BMA vom 3.9.1996 – IIIb4-35125-5; in Bundesarbeitsblatt Heft 10/1996; Stuttgart, 1996, S. 88 - 96
- BUWAL 1992 Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (Hrsg.): "Vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen im Baubereich – Band 1: Methode"; Schriftenreihe Umwelt Nr. 186, Bern, 1992
- CRB 1991 CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (Hrsg.): „EKG Elementkostengliederung 1991 – Kostengliederung nach Elementen, für Hoch- und Tiefbau, mit Projektkostengliederungen“; Zürich, 1991
- Dauderer 1996 Dauderer, M.: „Wohnraumgifte – Diagnostik und Therapie“; Kompendium der Klinischen Toxikologie Teil III – Band 16; Landsberg, 1996
- DIN 14040 DIN EN ISO 14040: „Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen“; Deutsches Institut für Normung e.V.; Berlin, 1997
- DIN 14041 DIN EN ISO 14041: „Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz“; Deutsches Institut für Normung e.V.; Berlin, 1998
- DIN 14042 DIN EN ISO 14042: „Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung“; Deutsches Institut für Normung e.V.; Berlin, 2000



- HVBG 1999  
Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) (Hrsg.): „BIA-Report 7/99. Grenzwerteliste 1999“; Sankt Augustin, 1999
- ifib et al. 1995  
Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib), Universität Karlsruhe (TH); Lehrstuhl Bauklimatik und Bauökologie, Hochschule für Architektur und Bauwesen (HAB) Weimar; Institut für Energietechnik (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich; M. Holliger, Holliger Energie Bern: „Baustoffdaten – Oekoinventare“; Karlsruhe/Weimar/Zürich, 1995
- ITAS, IWU, ifib und Partner 1996  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Paschen, H. et al.; Institut Wohnen und Umwelt (IWU); Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib), Kohler, N. et al.: "Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen"; AU Stud 13/66 – Teil 1 – Studie; Bericht für die Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des Deutschen Bundestages; Karlsruhe, 1996
- Jäger und Fundel 1999  
Jäger, I.; Fundel, K.: „Ökologisch optimierte Baustoffe“; in: Deutsche Bauzeitschrift – DBZ, Heft 3; 1999, S. 83 - 86
- Kalberlah et al. 1998  
Kalberlah, F.; Wriedt, H.: „Bewertung und Fortentwicklung der Regelsetzung: Anwendbarkeit der TRGS 440“; Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin; Dortmund/Berlin 1998
- Kohler et al. 1994  
Kohler, N. et al.: „Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer“, Bundesamt für Energiewirtschaft – BEW, Bern, 1994
- Kluger et al. 1995  
Kluger, N.; Rheker, R.; Rühl, R.: „Gefahrstoffe beim Bauen, Renovieren und Reinigen“; Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaften (Hrsg.), 3. Auflage; Flörsheim am Main, 1995

- Knoblauch et al. 1991 Knoblauch, H. (Hrsg.); Scholz, W. (Begr.); Fleischmann, H. D. et al: "Baustoffkenntnis"; 12., neubearbeitete und erweiterte Auflage; Düsseldorf, 1991
- Kursawa-Stucke und Schröder 1996 Kursawa-Stucke, H.-J., Schröder, H.-P.: "Bio kontra Chemie? Farben, Lacke, Holzschutzmittel und Klebstoffe – Eine Entscheidungshilfe für den umweltbewussten Umgang mit Heimwerkerprodukten"; Stiftung Verbraucherinstitut; Berlin, 1996
- Leiß 1992 Leiß, B.: "Holzschutzmittel im Einsatz: Bestandteile, Anwendungen, Umweltbelastungen"; Wiesbaden/Berlin, 1992
- Öko-Institut e.V. 1998 Buchert, M.; Fritsche, U. R.; Gensch C.-O.; Grieshammer, R.; Jenseit, W.; Rausch, L.: „Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung“; Endbericht zum Vorhaben FKZ-Nr. 29592148 für das Umweltbundesamt; Öko-Institut e.V. (Hrsg.); Darmstadt/Freiburg/Berlin, 1998
- Ostermayer et al. 1999 Ostermayer, A.; Schmidt, M.; Schorb, A.; Meyer, U.: „Ökobilanz der PET-Stoffkreislauf-Flasche und anderer Getränkeverpackungssysteme – Endbericht“; Heidelberg, 1999
- Quack 2000 Quack, D.: „Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden anhand des Demonstrationsprojekts Niedrigenergiehäuser Heidenheim – eine Ökobilanz“; Dissertation an der Fakultät für Architektur der RWTH Aachen; in Vorbereitung; 2000
- Reiß und Erhorn 1994 Reiß, J.; Erhorn, H.: „Niedrigenergiehäuser Heidenheim – Abschlussbericht“; Fraunhofer-Institut für Bauphysik, IBP-Bericht WB 75/1994; Stuttgart, 1994
- Rühl und Kluger 1995 Rühl, K.: "Handbuch Bau-Chemikalien"; Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (Hrsg.); Loseblatt-Ausgabe; Landsberg am Lech, 1995

- Sambeth 1996 Sambeth, B. M.: „Holz und Holzwerkstoffe“; in: "Baustoffe und Ökologie – Bewertungskriterien für Architekten und Bauherren"; Haefele, G.; Oed, W.; Sambeth, B. M. (Hrsg.); Tübingen, 1996
- Steinle und Lalive d'Epina y 1999 Steinle, P.; Lalive d'Epina y, A.: „Bau-Umweltbelastungskennwerte zur Abschätzung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden in frühen Planungsphasen“; Zürich, 1999
- Streit 1994 Streit, B.: „Lexikon Ökotoxikologie“; 2., aktualisierte und erweiterte Auflage; Weinheim, 1994
- Universum 1999 Universum Verlagsanstalt (Hrsg.): „Gefahrstoffe 2000“; Wiesbaden, 1999
- Weberhaus 1999 WeberHaus GmbH & Co. KG: „Umwelterklärung – Produktionsstandort Rheinau-Linx 1999“; Rheinau-Linx, 1999
- Wittassek und Rudolphi 1998 Wittassek, R.; Rudolphi, A.: „Produktökobilanzen und ihre Anwendungsmöglichkeiten im Baubereich“; Texte 69/98; Band 1; Umweltbundesamt (Hrsg.); Berlin, 1998
- Zeschmar-Lahl und Lahl 1987 Zeschmar-Lahl, B.; Lahl, U.: „Der Öko-Lackschrank – Eine Entscheidungshilfe für den gesundheits- und umweltbewussten Verbraucher“; Stiftung Verbraucherinstitut (Hrsg.); Berlin, 1987

### **Literaturverzeichnis Internet**

<http://home.t-online.de/home/iku-GmbH/start.htm> vom 3.11.99

<http://selene.rz.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/benzol.htm> vom 22.05.00

[http://www.bgvv.de/fbs/chem/civs/\\_civs.htm](http://www.bgvv.de/fbs/chem/civs/_civs.htm)

<http://www.bgvv.de/fbs/chem/civs/6474289.htm> vom 29.05.00

<http://www.bgvv.de/fbs/chem/civs/6474295.htm> vom 17.05.00

<http://www.bostik.de/>

<http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/german.html> vom 22.05.00

<http://www.farben.com/sd/einza/>

<http://www.farben.com/sd/sikkens/>

<http://www.farben.com/sd/sikkens/105111.htm> vom 16.05.00

<http://www.hanno.at/Acrylat.html>

<http://www.hanno.at/Dicht-Kl.html>

<http://www.hanno.at/Silikon.html>

<http://www.ikpgabi.uni-stuttgart.de/arbgeb/aud/Fertigbau.htm> vom 12.01.00

<http://www.katalyse.de/umweltlexikon>, Dichtungsstoffe, vom 17.11.99

<http://www.katalyse.de/umweltlexikon>, Klebstoffe, vom 15.12.99

<http://www.oekopro.de/>

<http://www.pentol.ch/d/site/lexikon/dichtl.html> vom 22.05.00

<http://www.remmers.de/produkt/sdlist.htm>

[http://www.schoenox.de/fussboden/fussboden\\_f.htm](http://www.schoenox.de/fussboden/fussboden_f.htm) [www.schoenox.de/fliesen/fliesen\\_f.htm](http://www.schoenox.de/fliesen/fliesen_f.htm)

<http://www-stud.fh-konstanz.de/~bau11697/studium/bt1/uebung1.html> vom 09.05.00

<http://www.ubavie.gv.at/umweltregister/chemi/chem/50stoffe.htm> vom 22.05.00

# ANHANG



## **Tabellenverzeichnis Anhang**

Tabelle A 1: Zusammenstellung der Elemente des Referenzhauses (Quack 2000) .....	150
Tabelle A 2: Zusammenstellung der Elemente des Holzhauses (Quack 2000).....	152
Tabelle A 3: Anteil der Bewehrung (Betonstahlmatte) in den betroffenen Elementen (Quack 2000) .....	154
Tabelle A 4: Dachdeckung der beiden Hausvarianten (Quack 2000).....	154
Tabelle A 5: Zusammensetzung des Elements Fenster (Quack 2000) .....	154
Tabelle A 6: Verbrauchsdaten für Farben und Lacke nach Quack (2000) .....	154
Tabelle A 7: Zusammensetzung der Elemente der Installation (Quack 2000).....	155
Tabelle A 8: Für die Erstellung der Elemente verwendete Baustoffmodule und deren Dichten (Quack 2000) .....	156
Tabelle A 9: Referenzhaus – Elemente der Kategorien Außenwand/Fassade, Fenster/Fenstertüren und Innenwände .....	157
Tabelle A 10: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Decken/Böden.....	158
Tabelle A 11: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Dächer.....	159
Tabelle A 12: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Technik.....	160
Tabelle A 13: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Sonstiges .....	162
Tabelle A 14: Holzhaus – Elemente der Kategorie Außenwand/Fassade .....	163
Tabelle A 15: Holzhaus – Elemente der Kategorie Fenster/Fenstertüren .....	164
Tabelle A 16: Holzhaus – Elemente der Kategorie Innenwände .....	165
Tabelle A 17: Holzhaus – Elemente der Kategorie Decken/Böden .....	166
Tabelle A 18: Holzhaus – Elemente der Kategorie Dächer.....	167
Tabelle A 19: Holzhaus – Elemente der Kategorie Technik.....	168
Tabelle A 20: Holzhaus – Elemente der Kategorie Sonstiges.....	170
Tabelle A 21: Klassische Lacke; potenzielles relatives Risiko pR.....	171
Tabelle A 22: High-Solid Lacke, potenzielles relatives Risiko pR .....	173
Tabelle A 23: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; potenzielles relatives Risiko pR.....	173
Tabelle A 24: Lösemittelhaltige Dickschicht-Lasur; potenzielles relatives Risiko pR.....	174
Tabelle A 25: Wasserverdünnbare Dickschicht-Lasur, potenzielles relatives Risiko pR.....	174
Tabelle A 26: Lösemittelhaltige Imprägnier-Lasur; potenzielles relatives Risiko pR.....	175

Tabelle A 27: Wasserverdünnbare Imprägnier-Lasur; potenzielles relatives Risiko pR .....	175
Tabelle A 28: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; potenzielles relatives Risiko pR.....	176
Tabelle A 29: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Kunstharzdispersion); potenzielles relatives Risiko pR .....	176
Tabelle A 30: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Silikonharz, Siloxan); potenzielles relatives Risiko pR .....	176
Tabelle A 31: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; potenzielles relatives Risiko pR.....	176
Tabelle A 32: Dispersionswandfarbe; potenzielles relatives Risiko pR .....	177
Tabelle A 33: Holzfensterlacke; potenzielles relatives Risiko pR .....	177
Tabelle A 34: Heizkörperlacke; potenzielles relatives Risiko pR.....	178
Tabelle A 35: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 10); potenzielles relatives Risiko pR .....	179
Tabelle A 36: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 40); potenzielles relatives Risiko pR .....	179
Tabelle A 37: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 70); potenzielles relatives Risiko pR .....	179
Tabelle A 38: Holzschutzöle (HSM-LV 10); potenzielles relatives Risiko pR.....	180
Tabelle A 39: Holzschutzöle (HSM-LV 20); potenzielles relatives Risiko pR.....	180
Tabelle A 40: Holzschutzöle (HSM-LV 30); potenzielles relatives Risiko pR.....	181
Tabelle A 41: Klebstoffe für Linoleumbeläge; potenzielles relatives Risiko pR .....	181
Tabelle A 42: Klebstoffe für textile Bodenbeläge; potenzielles relatives Risiko pR .....	182
Tabelle A 43: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Dispersionskleber); potenzielles relatives Risiko pR .....	182
Tabelle A 44: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Polyurethan-Basis / Epoxidharz-Basis); potenzielles relatives Risiko pR.....	183
Tabelle A 45: Klebstoffe für Steinzeugplatten (zementäre Basis); potenzielles relatives Risiko pR.....	184
Tabelle A 46: Dichtungsmittel für Glas- und Fensterbau; potenzielles relatives Risiko pR..	185
Tabelle A 47: Zement; potenzielles relatives Risiko pR.....	186
Tabelle A 48: Klassische Lacke; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	187
Tabelle A 49: High-Solid Lacke, Gefahrstoffpotenzial HSP .....	187

Tabelle A 50: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	187
Tabelle A 51: Lösemittelhaltige Dickschicht-Lasur; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	188
Tabelle A 52: Wasserverdünnbare Dickschicht-Lasur, Gefahrstoffpotenzial HSP .....	188
Tabelle A 53: Lösemittelhaltige Imprägnier-Lasur; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	188
Tabelle A 54: Wasserverdünnbare Imprägnier-Lasur; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	188
Tabelle A 55: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	189
Tabelle A 56: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Kunstharzdispersion); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	189
Tabelle A 57: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Silikonharz, Siloxan); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	189
Tabelle A 58: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	189
Tabelle A 59: Dispersionswandfarbe; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	190
Tabelle A 60: Holzfensterlacke; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	190
Tabelle A 61: Heizkörperlacke; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	190
Tabelle A 62: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 10); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	191
Tabelle A 63: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 40); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	191
Tabelle A 64: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 70); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	191
Tabelle A 65: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (HSM-LV 10); Gefahrstoffpotenzial HSP ....	191
Tabelle A 66: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (HSM-LV 20); Gefahrstoffpotenzial HSP ....	192
Tabelle A 67: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (HSM-LV 30); Gefahrstoffpotenzial HSP ....	192
Tabelle A 68: Klebstoffe für Linoleumbeläge; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	192
Tabelle A 69: Klebstoffe für textile Bodenbeläge; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	192
Tabelle A 70: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Dispersionskleber); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	193
Tabelle A 71: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Polyurethan-Basis / Epoxidharz-Basis); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	193
Tabelle A 72: Klebstoffe für Steinzeugplatten (zementäre Basis); Gefahrstoffpotenzial HSP .....	193
Tabelle A 73: Dichtungsmittel; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	194
Tabelle A 74: Zement; Gefahrstoffpotenzial HSP .....	194
Tabelle A 75: Produkte des Best-Case-Szenarios; Berechnung nach TRGS 440.....	195

Tabelle A 76: Produkte des Worst-Case-Szenarios; Berechnung nach TRGS 440 ..... 196

**Tabelle A 1: Zusammenstellung der Elemente des Referenzhauses (Quack 2000)**

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
<b>Kategorie Außenwand/Fassade</b>		
E3 1_1027	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte	30,96 m <sup>2</sup>
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	133,00 m <sup>2</sup>
E4 1_1066	Außenwand Leichtziegel d: 11,5 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	15,81 m <sup>2</sup>
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	133,00 m <sup>2</sup>
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm; Nadelschnittholz; Deckfarbe (zweifach)	15,81 m <sup>2</sup>
E4 1_1048	Gebäudetrennwand: Bimshohlblockstein d: 12,5 cm (1760 kg/m <sup>3</sup> ); Normalbeton gefüllt mit Beton	85,87 m <sup>2</sup>
<b>Kategorie Fenster/Fenstertüren</b>		
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen	25,67 m <sup>2</sup>
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen	4,32 m <sup>2</sup>
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm; Nadelschnittholz; Deckfarbe (zweifach)	30,00 m <sup>2</sup>
<b>Kategorie Innenwände</b>		
E6 1_1068	Innenwand Ziegel d: 11,5 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	118,19 m <sup>2</sup>
E6 1_1067	Innenwand Ziegel d: 24 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	333,68 m <sup>2</sup>
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm; Mineralputz; Dispersionsfarbe (zweifach)	585,49 m <sup>2</sup>
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten; Mineralputz d: 3 cm; 6 mm Keramik	28,54 m <sup>2</sup>
<b>Kategorie Decken/Böden</b>		
D2 2_41	Betonboden d: 12 cm, Normalbeton; Splitt	92,39 m <sup>2</sup>
E0 1_52	Decke Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte	178,73 m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
M3 1_1005	Zementestrich auf Betonboden d: 5,5 cm	240,28 m <sup>2</sup>
M8 1_1019	Holzwoleleichtbauplatte magnesitgebunden d: 7,5 cm	17,48 m <sup>2</sup>
M8 1_1020	Polystyrolplatte d: 6,0 cm	87,68 m <sup>2</sup>
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	54,47 m <sup>2</sup>
M5 1_1028	Innerer Deckenputz d: 1,5 cm; Mineralputz; Dispersionsfarbe (zweifach)	156,47 m <sup>2</sup>
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt; 3 mm Linoleum; 1mm Kleber	65,75 m <sup>2</sup>
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen; 5 mm Polypropylen; 1mm Kleber	58,44 m <sup>2</sup>
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten; 2 mm Mauermörtel MG2; 6 mm Steinfliesen	39,94 m <sup>2</sup>
<b>Kategorie Dächer</b>		
E1 1_1080	Dachkonstruktion Holz: Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	132,50 m <sup>2</sup>
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	112,50 m <sup>2</sup>
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg/m Zink; 0,078 kg/m Stahl feuerverzinkt	28,31 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg/m Zink; 0,459 kg/m Stahl feuerverzinkt	25,33 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegelddeckung; 0,5 kg/m <sup>2</sup> Stahl feuerverzinkt	132,50 m <sup>2</sup>

**Fortsetzung Tabelle A 1: Zusammenstellung der Elemente des Referenzhauses (Quack 2000)**

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
	<b>Kategorie Technik</b>	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25 m <sup>2</sup>	7
I0 4_237	Küchen, bis 15 m <sup>2</sup>	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m <sup>2</sup> , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50 m <sup>2</sup>	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25 m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	6
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m <sup>2</sup>	7
I2 5_276	Heizungskamin	20,10 m
I5 3_310	Warmwasser-Speicher	1
	<b>Kategorie Sonstiges</b>	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	170,09 m <sup>3</sup>
D2 1_1000	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 30x50 cm	10,26 m
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 30x55 cm	40,15 m
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 85x40 cm	15,07 m
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte	11,28 m <sup>2</sup>
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m <sup>3</sup> Normalbeton; Betonstahlmatte	2 Stück
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz; 1 kg/m <sup>2</sup> Stahl unlegiert; Deckfarbe (zweifach)	7,14 m <sup>2</sup>
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm; Hartfaserplatte d: 1 cm; 1 kg/m <sup>2</sup> Aluminium; Deckfarbe (zweifach)	28,06 m <sup>2</sup>
E0 2_67	Geschosstreppe Holz; 28,2 kg/m <sup>2</sup> Nadelschnittholz; 2 kg/m <sup>2</sup> Deckfarbe	9,42 m <sup>2</sup>
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte	2,50 m

**Tabelle A 2: Zusammenstellung der Elemente des Holzhauses (Quack 2000)**

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
<b>Kategorie Außenwand/Fassade</b>		
E3 1_1027	Außenwand: Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte	41,96 m <sup>2</sup>
E4 1_1065	Außenwand: Leichtziegel d: 30 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	29,21 m <sup>2</sup>
E4 1_1069	Außenwand: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 14 cm, 15 % Holzrahmenanteil; Mineralwolle d: 10 cm; Spanplatte d: 1,6 cm	90,36 m <sup>2</sup>
E4 1_1071	Außenwand: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 17 cm, 15 % Holzrahmenanteil; Spanplatte d: 1,6 cm	21,09 m <sup>2</sup>
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	134,47 m <sup>2</sup>
E4 1_1065	Außenwand: Leichtziegel d: 30 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	27,67 m <sup>2</sup>
E4 1_1072	Doppelhaustrennwand F 90: Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dämmung Mineralwolle d: 10 cm, 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	54,13 m <sup>2</sup>
<b>Kategorie Fenster/Fenstertüren</b>		
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet); Holzrahmen	19,33 m <sup>2</sup>
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet); Holzrahmen	4,85 m <sup>2</sup>
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm; Nadelschittholz; Deckfarbe (zweifach)	24,18 m <sup>2</sup>
<b>Kategorie Innenwände</b>		
E6 1_2000	Innenwand: Ziegel d: 24 cm, Ziegel (1200 kg/m <sup>3</sup> )	58,44 m <sup>2</sup>
E6 1_1068	Innenwand: Ziegel d: 11,5 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	22,51 m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm; Mineralputz; Dispersionsfarbe (zweifach)	210,78 m <sup>2</sup>
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten; Mineralputz d: 3 cm; 6 mm Keramik	26,61 m <sup>2</sup>
<b>Kategorie Decken/Böden</b>		
D2 2_1009	Betonboden d: 25 cm; Normalbeton; Splitt	98,78 m <sup>2</sup>
E0 1_1077	Holzbalkendecke: 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 <sup>2</sup>
E0 1_1078	Holzbalkendecke 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 <sup>2</sup>

**Fortsetzung Tabelle A 2: Zusammenstellung der Elemente des Holzhauses (Quack 2000)**

Elementindex	Elementbeschreibung	Menge
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	179,38 m <sup>2</sup>
M3 1_1090	Zementestrich d: 6,0 cm	98,78 m <sup>2</sup>
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt; 3 mm Linoleum; 1mm Kleber	50,85 m <sup>2</sup>
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen; 5 mm Polypropylen; 1mm Kleber	47,20 m <sup>2</sup>
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten; 2 mm Mauermörtel; 6 mm Steinfliesen	75,99 m <sup>2</sup>
	<b>Kategorie Dächer</b>	
E1 1_1083	Dachkonstruktion Holz: Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm	154,99 m <sup>2</sup>
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach)	134,99 m <sup>2</sup>
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg/m Zink; 0,078 kg/m Stahl feuerverzinkt	8,10 m
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg/m Zink; 0,459 kg/m Stahl feuerverzinkt	19,80 m
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg/m <sup>2</sup> Stahl feuerverzinkt	154,99 m <sup>2</sup>
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet); Holzrahmen	2,31 m <sup>2</sup>
	<b>Kategorie Technik</b>	
I0 4_236	Wohnräume, bis 25 m <sup>2</sup>	6
I0 4_237	Küchen, bis 15 m <sup>2</sup>	2
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m <sup>2</sup> , trocken	3
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50 m <sup>2</sup>	2
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25 m <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup>	1
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m <sup>2</sup>	2
I2 5_276	Heizungskamin	10,90 m
I5 3_310	Warmwasser-Speicher	1
I2 4_274	Bodenheizung Kunststoff	105,56 m <sup>2</sup>
	<b>Kategorie Sonstiges</b>	
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer	183,78 m <sup>3</sup>
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 30x55 cm	61,83 m
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 85x40 cm	15,82 m
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m <sup>3</sup> Normalbeton; Betonstahlmatte	2 Stück
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz; 1 kg/m <sup>2</sup> Stahl unlegiert; Deckfarbe (zweifach)	9,13 m <sup>2</sup>
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm; Hartfaserplatte d: 1 cm; 1 kg/m <sup>2</sup> Aluminium; Deckfarbe (zweifach)	31,79 m <sup>2</sup>
E0 2_67	Geschosstreppe Holz; 28,2 kg/m <sup>2</sup> Nadelschnittholz; 2 kg/m <sup>2</sup> Deckfarbe	8,06 m <sup>2</sup>

**Tabelle A 3: Anteil der Bewehrung (Betonstahlmatte) in den betroffenen Elementen (Quack 2000)**

Elemente	Masse Betonstahlmatte/Volumen Normalbeton
Fundamente	70 kg/m <sup>3</sup>
Kellerböden	70 kg/m <sup>3</sup>
Decken Stahlbeton	80 kg/m <sup>3</sup>
Außenwand Stahlbeton	80 kg/m <sup>3</sup>
Balkonplatte Stahlbeton	80 kg/m <sup>3</sup>
Stütze Stahlbeton	80 kg/m <sup>3</sup>
Decken Porenbeton	80 kg/m <sup>3</sup>
Dachplatten Porenbeton	80 kg/m <sup>3</sup>

**Tabelle A 4: Dachdeckung der beiden Hausvarianten (Quack 2000)**

Schicht	Masse Schicht/Fläche
Deckung (Ziegel)	50,00 kg/m <sup>2</sup>
Lattung (Nadelschnittholz 2,5 cm)	11,75 kg/m <sup>2</sup>

**Tabelle A 5: Zusammensetzung des Elements Fenster (Quack 2000)**

Material	Menge je Quadratmeter und Fenster
Holzrahmen	15,00 kg/m <sup>2</sup> Nadelschnittholz 1,33 kg/m <sup>2</sup> Deckfarbe
PVC-Rahmen	10,48 kg/m <sup>2</sup> PVC schlagfest 8,35 kg/m <sup>2</sup> Stahl unlegiert
Glas (Flachglas beschichtet und/oder unbeschichtet)	8,00 kg/m <sup>2</sup> und Scheibe
Abstandshalter (Aluminium)	0,89 kg/m <sup>2</sup> (Zweischeibenfenster) 1,78 kg/m <sup>2</sup> (Dreischeibenfenster)
Fensterkitt	0,44 kg/m <sup>2</sup> Paste/Leim/Kitt

**Tabelle A 6: Verbrauchsdaten für Farben und Lacke nach Quack (2000)**

Material	Menge je Quadratmeter und Anstrich
Deckfarbe	0,12 kg Deckfarbe / m <sup>2</sup>
Dispersionsfarbe	0,12 kg Dispersionsfarbe / m <sup>2</sup>
Trockenlack	0,20 kg Trockenlack / m <sup>2</sup>

**Tabelle A 7: Zusammensetzung der Elemente der Installation (Quack 2000)**

Index	Elementbezeichnung	PE (LD) [kg]	PVC [kg]	Stahl unlegiert [kg]	Kupfer [kg]	Sonstiges [kg]
I0 4_236	Wohnräume, bis 25 m <sup>2</sup>	5,50	1,93	0,061	2,32	0,235 kg Nadelschnittholz
I0 4_237	Küchen, bis 15 m <sup>2</sup>	2,86	3,04	0,336	1,28	0,235 kg Nadelschnittholz
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m <sup>2</sup> , trocken	1,54	0,57	0,179	0,68	0,235 kg Nadelschnittholz
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50 m <sup>2</sup>	8,36	2,86	0,903	3,44	-
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25 m <sup>2</sup>	4,84	1,83	0,536	2,45	-
I2 1_258	Hausanschluss Gas	20,00	-	-	-	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	0,50	-	4,00	0,50	0,5 kg Keramik
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m <sup>2</sup>	-	-	25,00	-	1,6 m <sup>2</sup> Trockenlack
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m <sup>2</sup>	-	-	62,50	-	4,0 m <sup>2</sup> Trockenlack
I2 4_274	Bodenheizung Kunststoff, m <sup>2</sup> bei 40 W/m <sup>2</sup>	1,16 m <sup>2</sup>	-	-	-	2,0 kg/m <sup>2</sup> Polystyrol
I2 5_276	Heizungskamin, dreischalig, Schamotte, Mineralfaser, Leichtp., Einzüger, 14x14 cm	-	-	-	-	446,40 kg/m Ziegel 1,00 kg/m Gusseisen 0,36 kg/m Mineralwolle 16,92 kg/m Nadelschnittholz 1,80 kg/m Deckfarbe 12,60 kg/m Mauermörtel MG2 0,058 kg/m Gasbeton
I5 2_308	Solarkollektor, Aufbaukollektor einfach	-	-	0,38	-	2,860 kg Aluminium 0,474 kg Mineralwolle 2,040 kg PUR Hartschaum 0,132 kg Kitt 7,500 kg Flachglas
I5 3_310	Warmwasser-Speicher, indirekt beheizt, 400 l	3,88	-	126,80	4,53	66,31 kg Gusseisen 2,60 kg Deckfarbe 1,62 kg Aluminium 2,25 kg Mineralwolle

**Tabelle A 8: Für die Erstellung der Elemente verwendete Baustoffmodule und deren Dichten (Quack 2000)**

In Elemente eingesetzter Baustoff	Einheit	Referenzierter Baustoff	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
Aushubmaterial	m <sup>3</sup>	Aushubmaterial	1800
Kies/Sand/Splitt	m <sup>3</sup>	Splitt	1800
Normalbeton	m <sup>3</sup>	Beton (ohne Armierungseisen)	2400
Betonfertigteil (Wandplatte)	t	Betonfertigteil (Wandplatte)	2400
Gipskartonplatte	kg	Gipsplatte	900
Außenputz mineralisch	kg	Zement-Maschinenputz 1	2000
Mineralputz	m <sup>3</sup>	Kalk-Zement-Maschinenputz 1	1800
Zementmörtel	kg	Zement-Maschinenputz 1	2000
Zement Unterlagsboden	kg	Zement-Maschinenputz 1	2000
Bims-Hohlblockstein	t	Bims-Hohlblockstein	1250
Mauerwerk KS	m <sup>3</sup>	Kalksandstein (DIN 106)	1600
Porenton-Mauerblock	t	Porenton-Mauerblock	900
Gasbeton (kg)	kg	Ytong	600
Ziegel	kg	Ziegel	1600
Dachziegel (kg)	kg	Ziegel	1600
Betonstahlmatte	t	Betonstahlmatte	7850
Stahl unlegiert	kg	Stahl unlegiert	7850
Stahlblech verzinkt	kg	Stahlblech verzinkt	7800
Stahl feuerverzinkt	kg	Stahlblech verzinkt	7800
Zink (kg)	kg	Zink für Verzinkung	6900
Aluminium 0% Rec.	kg	Aluminium 0% Rec.	2700
Kupfer	kg	Kupfer	8900
Glas (Flach-) beschichtet	kg	Glas (Flach-) beschichtet	2500
Glas (Flach-) unbeschichtet	kg	Glas (Flach-) unbeschichtet	2500
PE (LD)	kg	PE (LD)	940
Vlies (PE)	kg	Vlies (PE)	fehlt
PE-Dichtungsbahn	kg	PE-Dichtungsbahn	940
Polypropylen	kg	Polypropylen	900
PVC schlagfest	kg	PVC schlagfest	1380
Schnittholz brett-	kg	Schnittholz brett-	470
Schnittholz kant-	kg	Schnittholz kant-	470
Schnittholz allgemein	m <sup>3</sup>	Schnittholz kant-	470
Nadelschnittholz (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	Schnittholz brett-	470
Nadelschnittholz (Schalung)	m <sup>3</sup>	Schnittholz brett-	470
Spanplatte	kg	Spanplatte	700
Hartfaserplatte	kg	Hartfaserplatte	900
Holzwohle-Leichtbaupl. magn.	m <sup>3</sup>	Holzwohle-Leichtbaupl. magn.	400
Mineralwolle	kg	Mineralwolle	30
Mineralfaserplatten	m <sup>3</sup>	Mineralwolle	30
Mineralfaser (trittfest)	m <sup>3</sup>	Mineralwolle	145
Polystyrolplatte	m <sup>3</sup>	Polystyrolplatte	30
PUR-Hartschaum (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	PUR-Hartschaum	30
Paste/Leim/Kitt	cm <sup>3</sup>	Dispersionsspachtel	1200
Kleber Haftgrund	kg	Dispersionsspachtel	1200
Deckfarbe (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	0,12 kg Deckfarbe	1100
Trockenlack	m <sup>2</sup>	0,2 kg Deckfarbe	1100
Dispersionsfarbe (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	0,12 kg Dispersionsfarbe	1100
Zementestrich (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	Zement-Maschinenputz 1	2000
Linoleum 3 mm	m <sup>2</sup>	3 kg Fußbodenbelag-Linoleum	1000
Fußbodenfliese, Steinzeug	t	Fußbodenfliese, Steinzeug	2000
Mauermörtel MG2	t	Mauermörtel MG2	1800
Keramik	kg	Keramik	2000

**Tabelle A 9: Referenzhaus – Elemente der Kategorien Außenwand/Fassade, Fenster/Fenstertüren und Innenwände**

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	
<b>Kategorie Außenwand/Fassade</b>							
E3 1_1027	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	30,96	0,24	7,43	2400	17.833 594	80 = kg Betonstahlmatte / m <sup>3</sup> Normalbeton
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	133,00	0,30	39,90	800	31.920	
E4 1_1066	Außenwand Leichtziegel d: 11,5 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	15,81	0,115	1,82	800	1.455	
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => Außenputz mineralisch d: 2 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	133,00	0,02	2,66	2000 1100	5.320 32	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m <sup>2</sup> Wand (einfach)
E4 4_183	Holzverkleidungen d: 2,3 cm; Nadelschnittholz; Deckfarbe (zweifach) => Nadelschnittholz d: 2,3 cm => Deckfarbe (zweifach)	15,81	0,023	0,36	470 1100	171 4	0,12 = kg Deckfarbe / m <sup>2</sup> Wand (einfach)
E4 1_1048	Gebäudetrennwand: Bimshohlblostein d: 12,5 cm, 1760 kg/m <sup>3</sup> ; Normalbeton gefüllt mit Beton	85,87	0,125	10,73	1760	18.891	
<b>Kategorie Fenster/Fenstertüren</b>							
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen (Fenster) => Holzrahmen => Deckfarbe 1,33 kg/m <sup>2</sup> Fensterfläche	25,67				385 34	15,0 = kg Nadelschnittholz / m <sup>2</sup> Fenster
E5 1_189	Zweischeiben-Isolierfenster; Holzrahmen (Tür) => Holzrahmen (Tür) => Deckfarbe 1,33 kg/m <sup>2</sup> Fensterfläche	4,32				65 5,7	15,0 = kg Nadelschnittholz / m <sup>2</sup> Fenster
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm; Nadelschnittholz; Deckfarbe (zweifach) => Deckfarbe (zweifach)	30,00	0,01	0,30	470 1100	141 7	0,12 = kg Deckfarbe / m <sup>2</sup> Wand (einfach)
	Glas (Flachglas beschichtet und/oder unbeschichtet)					480	8,00 = kg Glas / m <sup>2</sup> Fenster
	Abstandshalter (Aluminium)					27	0,89 = kg Aluminium / m <sup>2</sup> Fenster
	Fensterkitt					13	0,44 = kg Paste, Leim, Kitt / m <sup>2</sup> Fenster
<b>Kategorie Innenwände</b>							
E6 1_1068	Innenwand Ziegel d: 11,5 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	118,19	0,115	13,59	800	10.873	
E6 1_1067	Innenwand Ziegel d: 24 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m <sup>3</sup> )	333,68	0,24	80,08	800	64.067	
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm; Mineralputz; Dispersionsfarbe (zweifach) => Mineralputz d: 1,5 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	585,49	0,015	8,78	1800 1100	15.808 141	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m <sup>2</sup> Wand (einfach)
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten; Mineralputz d: 3 cm; 6 mm Keramik => Mineralputz d: 3 cm => 6 mm Keramik	28,54	0,03 0,006	0,86 0,17	1800 2000	1.541 342	

Tabelle A 10: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Decken/Böden

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]
<b>Kategorie Decken/Böden</b>						
D2 2_41	Betonboden d: 12 cm; Normalbeton; Splitt	92,39	0,12	11,09	2400	26.608
E0 1_52	Decke Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	178,73	0,18	32,17	2400	77.211 2.574
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 => Spanplatte d: 1,9 cm => 11,5 cm Dämmung => 7,37 m <sup>3</sup> ; 85 % Mineralwolle => 11,5 cm Dämmung => 7,37 m <sup>3</sup> ; 15 % Balken => 2,5 cm Lattung (Nadelschnittholz) => 1,2 cm Gipskartonplatte	64,11	0,019 0,115 0,025 0,012	1,22 6,26 1,11 1,60 0,77	700 30 470 470 900	853 188 520 753 692
M3 1_1005	Zementestrich auf Betonboden d: 5,5 cm	240,28	0,06	13,22	2000	26.431
M8 1_1019	Holzwoleleichtbauplatte magnesitgebunden d: 7,5 cm	17,48	0,08	1,31	400	524
M8 1_1020	Polystyrolplatte d: 6,0 cm	87,68	0,06	5,26	30	158
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => Gipskartonplatten d: 1,2 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	54,47	0,01	0,65	900 1100	588 13
M5 1_1028	Innerer Deckenputz d: 1,5 cm; Mineralputz; Dispersionsfarbe (zweifach) => Mineralputz d: 1,5 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	156,47	0,02	2,35	1800 1100	4.225 38
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt; 3 mm Linoleum; 1 mm Kleber => 3 mm Linoleum => 1 mm Kleber	65,75	0,003 0,001	0,20 0,07	1000 1200	197 79
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen; 5 mm Polypropylen; 1 mm Kleber => 5 mm Polypropylen => 1 mm Kleber	58,44	0,005 0,001	0,29 0,06	900 1200	263 70
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten; 2 mm Mauermörtel MG2; 6 mm Steinfliesen => 2 mm Mauermörtel MG2 => 6 mm Steinfliesen	39,94	0,002 0,006	0,08 0,24	1800 2000	144 479

80 = kg Betonstahlmatte / m<sup>3</sup> Normalbeton0,12 = kg Dispersionsfarbe / m<sup>2</sup> Wand (einfach)0,12 = kg Dispersionsfarbe / m<sup>2</sup> Wand (einfach)

**Tabelle A 11: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Dächer**

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m²]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]
<b>Kategorie Dächer</b>						
E1 1_1080	Dachkonstruktion Holz: Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 14 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm => Deckung (Ziegel); 50 kg Ziegel / m² => Lattung (Nadelschnittholz); 11,75 kg Lattung / m² => 14 cm Zwischensparrendämmung => 18,55 m³; 85 % Mineralwolle => 14 cm Zwischensparrendämmung => 18,55 m³; 15 % Sparren => PE-Dichtungsbahn  => 2,5 cm Lattung (Nadelschnittholz)	132,50			50 11,75 30 470 940  470	6.625 1.557 473 1.308 27  1.557
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => Gipskartonplatten d: 1,2 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	112,50	0,012	1,35	900 1100	1.215 27
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg/m Zink; 0,078 kg/m Stahl feuerverzinkt => Regenfallrohr Titanzink => Stahl feuerverzinkt		28,31			156 2,2
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg/m Zink; 0,459 kg/m Stahl feuerverzinkt => Regenrinne Titanzink => Stahl feuerverzinkt		25,33			22 12
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg/m² Stahl feuerverzinkt	132,50				66

0,20 = kg Dichtungsbahn / m²  
(=> ca. 0,13 mm Dicke)

0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)

Tabelle A 12: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Technik

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]
<b>Kategorie Technik</b>		<b>Anzahl</b>				
I0 4_236	Wohnräume, bis 25 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer => Nadelnschnittholz	7				39 14 0,4 16 1,6
I0 4_237	Küchen, bis 15 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer => Nadelnschnittholz	2				5,7 6,1 0,7 2,6 0,5
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m <sup>2</sup> , trocken => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer => Nadelnschnittholz	3				4,6 1,7 0,5 2,0 0,7
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer	2				17 5,7 1,8 6,9
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer	1				4,8 1,8 0,5 2,5

## Fortsetzung Tabelle A 12: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Technik

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m²]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]
<b>Kategorie Technik</b>		<b>Anzahl</b>				
I2 1_258	Hausanschluss Gas => PE (LD) => Stahl feuerverzinkt => Splitt	1				20 12 900
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW => PE (LD) => Stahl unlegiert => Kupfer => Gusseisen => Deckfarbe => Aluminium => Mineralwolle	1				3,8 124 4,4 65 2,6 1,6 2,2
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m² => Stahl unlegiert => Trockenlack 1,6 m²	6			1100	150 1,9
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m² => Stahl unlegiert => Trockenlack 4 m²	7			1100	438 5,6
I2 5_276	Heizungskamin => Ziegel => Gusseisen => Mineralwolle => Nadelschnittholz => Deckfarbe => Mauer Mörtel MG2 => Gasbeton		20,10			8.973 20 7,2 340 36 253 1,2
I5 3_310	Warmwasser-Speicher => PE (LD) => Stahl unlegiert => Kupfer => Aluminium => Mineralwolle => Gusseisen => Deckfarbe	1				3,9 127 4,5 1,6 2,3 66 2,6

0,20 = kg Trockenlack / m²

0,20 = kg Trockenlack / m²

446,4 = kg Ziegel je Meter  
1,0 = kg Gusseisen je Meter  
0,36 = kg Mineralwolle je Meter  
16,92 = kg Nadelschnittholz je Meter  
1,8 = kg Deckfarbe je Meter  
12,6 = kg Mauer Mörtel MG2 je Meter  
0,058 = kg Gasbeton je Meter

Tabelle A 13: Referenzhaus – Elemente der Kategorie Sonstiges

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	
<b>Kategorie Sonstiges</b>							
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer			170,09	1800	"306.102"	Wird nicht zur Gesamtmasse gerechnet!
D2 1_1000	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 30x50 cm => Normalbeton => Betonstahlmatte	0,15	10,26	1,54	2400	3.694 108	70 = kg Betonstahlmatte / m <sup>3</sup> Normalbeton
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 30x55 cm => Normalbeton => Betonstahlmatte	0,17	40,15	6,62	2400	15.899 464	70 = kg Betonstahlmatte / m <sup>3</sup> Normalbeton
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 85x40 cm => Normalbeton => Betonstahlmatte	0,34	15,07	5,12	2400	12.297 359	70 = kg Betonstahlmatte / m <sup>3</sup> Normalbeton
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	11,28	0,18	2,03	2400	4.873 162	80 = kg Betonstahlmatte / m <sup>3</sup> Normalbeton
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m <sup>3</sup> Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	2 Stück		0,69	2400	1.656 55	80 = kg Betonstahlmatte / m <sup>3</sup> Normalbeton
E5 5_206	Außentür aus Holz d: 6 cm; Nadelschnittholz; 1 kg/m <sup>2</sup> Stahl unlegiert; Deckfarbe (zweifach) => Nadelschnittholz d: 6 cm => Stahl unlegiert => Deckfarbe (zweifach)	7,14	0,06	0,43	470 1100	201 7,1 1,7	0,12 = kg Deckfarbe / m <sup>2</sup> Wand (einfach)
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm; Hartfaserplatte d: 1 cm; 1 kg/m <sup>2</sup> Aluminium, Deckfarbe (zweifach) => Nadelschnittholz d: 1 cm => 1 cm Hartfaserplatte => Aluminium => Deckfarbe (zweifach)	28,06	0,01 0,01	0,28 0,28	470 900 1100	132 253 28,1 7	0,12 = kg Deckfarbe / m <sup>2</sup> Wand (einfach)
E0 2_67	Geschosstreppe Holz; 28,2 kg/m <sup>2</sup> Nadelschnittholz; 2 kg/m <sup>2</sup> Deckfarbe => Nadelschnittholz => Deckfarbe	9,42				266 18,8	
E2 1_1026	Stütze aus Stahlbeton 24x24 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	0,06	2,50	0,14	2400	346 12	80 = kg Betonstahlmatte / m <sup>3</sup> Normalbeton
<b>Summe Baustoffmassen:</b>						<b>378.348</b>	

**Tabelle A 14: Holzhaus – Elemente der Kategorie Außenwand/Fassade**

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m²]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	
<b>Kategorie Außenwand/Fassade</b>							
E3 1_1027	Außenwand Stahlbeton d: 24 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	41,96	0,24	10,07	2400	24.169 806	80 = kg Betonstahlmatte / m³ Normalbeton
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m³)	29,21	0,30	8,76	800	7.010	
E4 1_1069	Außenwand: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 14 cm, 15 % Holz- rahmenanteil; Mineralwolle d: 10 cm; Spanplatte d: 1,6 cm => Dispersionsfarbe (zweifach) => 1 cm Gipskartonplatte => 1,6 cm Spanplatte => 14 cm Dämmung => 12,65 m³; 85 % Mineralwolle => 14 cm Dämmung => 12,65 m³; 15 % Holzrahmen => 10 cm Mineralwolle-Dämmung => 1,6 cm Spanplatte	90,36			1100 900 700 30 470 30 700	22 813 1.012 323 892 271 1.012	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
E4 1_1071	Außenwand: Dispersionsfarbe (zweifach); Gipskartonplatte d: 1 cm; Spanplatte d: 1,6 cm; Dämmung Mineralwolle d: 17 cm, 15 % Holz- rahmenanteil; Spanplatte d: 1,6 cm => Dispersionsfarbe (zweifach) => 1 cm Gipskartonplatte => 1,6 cm Spanplatte => 17 cm Dämmung => 3,59 m³; 85 % Mineralwolle => 17 cm Dämmung => 3,59 m³; 15 % Holzrahmen => 1,6 cm Spanplatte	21,09			1100 900 700 30 470 700	5,1 190 236 91 253 236	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
E4 3_1084	Außenputz mineralisch d: 2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => Außenputz mineralisch d: 2 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	134,47	0,02	2,69	2000 1100	5.379 32	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
E4 1_1065	Außenwand Leichtziegel d: 30 cm, Porenton-Mauerblock (800 kg/m³)	27,67	0,30	8,30	800	6.641	
E4 1_1072	Doppelhaustrennwand: Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dämmung Mineral- wolle d: 10 cm, 15 % Holzrahmenanteil; Gipskartonplatte d: 3,5 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => 3,5 cm Gipskartonplatte => 10 cm Dämmung => 5,41 m³; 85 % Mineralwolle => 10 cm Dämmung => 5,41 m³; 15 % Holzrahmen => 3,5 cm Gipskartonplatte => Dispersionsfarbe (zweifach)	54,13			900 30 470 900 1100	1.705 138 382 1.705 13	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)

Tabelle A 15: Holzhaus – Elemente der Kategorie Fenster/Fenstertüren

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]	
<b>Kategorie Fenster/Fenstertüren</b>							
E5 1_2001	Zweischeiben-Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet); Holzrahmen => Holzrahmen => Deckfarbe 1,33 kg/m <sup>2</sup> Fensterfläche	19,33				290 26	15,0 = kg Nadelschnittholz / m <sup>2</sup> Fenster
E5 1_2001	Zweischeiben-Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet); Holzrahmen => Holzrahmen => Deckfarbe 1,33 kg/m <sup>2</sup> Fensterfläche	4,85				73 6,5	15,0 = kg Nadelschnittholz / m <sup>2</sup> Fenster
E5 7_213	Fensterläden aus Holz d: 1 cm; Nadelschnittholz; Deckfarbe (zweifach) => Nadelschnittholz d: 1 cm => Deckfarbe (zweifach)	24,18	0,01	0,24	470 1100	114 5,8	0,12 = kg Deckfarbe / m <sup>2</sup> Wand (einfach)
	Glas (Flachglas beschichtet und/oder unbeschichtet)					387	8,00 = kg Glas / m <sup>2</sup> Fenster und Scheibe
	Abstandshalter (Aluminium)					22	0,89 = kg Aluminium / m <sup>2</sup> Fenster (Zweischeibenfenster)
	Fensterkitt					11	0,44 = kg Paste, Leim, Kitt / m <sup>2</sup> Fenster

**Tabelle A 16: Holzhaus – Elemente der Kategorie Innenwände**

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m²]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	
E6 1_2000	Innenwand Ziegel d: 24 cm; Ziegel (1200 kg/m³)	58,44	0,24	14,03	1200	16.831	
E6 1_1068	Innenwand Ziegel d: 11,5 cm; Porenton-Mauerblock (800 kg/m³)	22,51	0,12	2,59	800	2.071	
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) => Dispersionsfarbe (zweifach) => 1,2 cm Gipskartonplatte => 19 cm Mineralfaserplatte => 4,05 m³; 85 % Mineralwolle => 19 cm Mineralfaserplatte => 4,05 m³; 15 % Holzrahmen => 1,2 cm Gipskartonplatte => Dispersionsfarbe (zweifach)	21,32					0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
			0,012	0,26	1100	5,1	
			0,19	3,44	900	230	
				0,61	30	103	
			0,012	0,26	470	286	
					900	230	
					1100	5,1	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
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) => Dispersionsfarbe (zweifach) => 1,2 cm Gipskartonplatte => 16,5 cm Mineralfaserplatte => 0,95 m³; 85 % Mineralwolle => 16,5 cm Mineralfaserplatte => 0,95 m³; 15 % Holzrahmen => 1,2 cm Gipskartonplatte => Dispersionsfarbe (zweifach)	5,74					0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
					1100	1,4	
			0,012	0,07	900	62	
			0,165	0,81	30	24	
				0,14	470	67	
			0,012	0,07	900	62	
					1100	1,4	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
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) => Dispersionsfarbe (zweifach) => 1,2 cm Gipskartonplatte => 10,5 cm Mineralfaserplatte => 8,98 m³; 85 % Mineralwolle => 10,5 cm Mineralfaserplatte => 8,98 m³; 15 % Holzrahmen => 1,2 cm Gipskartonplatte => Dispersionsfarbe (zweifach)	85,46					0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
					1100	20,5	
			0,012	1,03	900	923	
			0,105	7,63	30	229	
				1,35	470	633	
			0,012	1,03	900	923	
					1100	20,5	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
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) => Dispersionsfarbe (zweifach) => 1,2 cm Gipskartonplatte => 9,5 cm Mineralfaserplatte => 1,6 m³; 85 % Mineralwolle => 9,5 cm Mineralfaserplatte => 1,6 m³; 15 % Holzrahmen => 1,2 cm Gipskartonplatte => Dispersionsfarbe (zweifach)	16,90					0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
					1100	4,1	
			0,012	0,20	900	183	
			0,095	1,36	30	41	
				0,24	470	113	
			0,012	0,20	900	183	
					1100	4,1	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
M4 1_1029	Innerer Wandputz d: 1,5 cm; Mineralputz; Dispersionsfarbe (zweifach) => Mineralputz d: 1,5 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	210,78					0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
			0,02	3,16	1800	5.691	
					1100	51	
M4 6_370	Wandbelag mit Steingutplatten; Mineralputz d: 3 cm; 6 mm Keramik => Mineralputz d: 3 cm => 6 mm Keramik	26,61					
			0,03	0,80	1800	1.437	
			0,006	0,16	2000	319	

Tabelle A 17: Holzhaus – Elemente der Kategorie Decken/Böden

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]
<b>Kategorie Decken/Böden</b>						
D2 2_1009	Betonboden d: 25 cm; Normalbeton; Splitt	98,78	0,25	24,70	2400	59.268
E0 1_1077	Holzbalkendecke: 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) => 6,0 cm Estrich => PE-Folie  => 4,0 cm Mineralwolle => 1,9 cm Spanplatte => 20 cm Dämmung => 38,55 m <sup>3</sup> ; 85 % Mineralwolle => 20 cm Dämmung => 38,55 m <sup>3</sup> ; 15 % Balken => 2,5 cm Lattung (Nadelschnittholz) => 1 cm Gipskartonplatte => Dispersionsfarbe (zweifach)	192,74	0,06  0,04 0,019 0,20 0,025 0,01	11,56  7,71 3,66 32,77 5,78 4,82 1,93	2000 940 30 700 30 470 470 900 1100	23.129 39 231 2.563 983 2.718 2.265 1.735 46
E0 1_1078	Holzbalkendecke OG: Spanplatte d: 1,9 cm; Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Balkenanteil; Lattung d: 2,5 cm; Gipskartonplatte 1 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => 1,9 cm Spanplatte => 20 cm Dämmung => 5,85 m <sup>3</sup> ; 85 % Mineralwolle => 20 cm Dämmung => 5,85 m <sup>3</sup> ; 15 % Balken => 2,5 cm Lattung (Nadelschnittholz) => 1,0 cm Gipskartonplatte => Dispersionsfarbe (zweifach)	29,22	0,019 0,20  0,025 0,01	0,56 4,97 0,88 0,73 0,29	700 30 470 470 900 1100	389 149 412 343 263 7,0
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => Gipskartonplatten d: 1,2 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	179,38	0,01	2,15	900 1100	1.937 43
M3 1_1090	Zementestrich d: 6,0 cm	98,78	0,06	5,93	2000	11.854
M3 3_1054	Linoleumbelag geklebt; 3 mm Linoleum; 1 mm Kleber => 3 mm Linoleum => 1 mm Kleber	50,58	0,003 0,001	0,15 0,05	1000 1200	152 61
M3 3_1055	Textiler Bodenbelag Wohnen; 5 mm Polypropylen; 1 mm Kleber => 5 mm Polypropylen => 1 mm Kleber	47,20	0,005 0,001	0,24 0,05	900 1200	212 57
M3 6_1056	Bodenbelag Steinzeugplatten, 2 mm Mauermörtel, 6 mm Steinfliesen => 2 mm Mauermörtel => 6 mm Steinfliesen	75,99	0,002 0,006	0,15 0,46	1800 2000	274 912

0,20 = kg Dichtungsbahn / m<sup>2</sup>  
(=> ca. 0,13 mm Dicke)0,12 = kg Dispersionsfarbe / m<sup>2</sup> Wand (einfach)0,12 = kg Dispersionsfarbe / m<sup>2</sup> Wand (einfach)0,12 = kg Dispersionsfarbe / m<sup>2</sup> Wand (einfach)

**Tabelle A 18: Holzhaus – Elemente der Kategorie Dächer**

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m²]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]	
<b>Kategorie Dächer</b>							
E1 1_1083	Dachkonstruktion Holz: Deckung inkl. Lattung; Zwischensparrendämmung Mineralwolle d: 20 cm, davon 15 % Sparrenanteil; PE-Dichtungsbahn; Lattung d: 2,5 cm => Deckung (Ziegel); 50 kg Ziegel / m² => Lattung (Nadelschnittholz); 11,75 kg Lattung / m² => 20 cm Zwischensparrendämmung => 31,0 m³; 85 % Mineralwolle => 20 cm Zwischensparrendämmung => 31,0 m³; 15 % Sparren => PE-Dichtungsbahn  => 2,5 cm Lattung (Nadelschnittholz)	154,99			50 11,75 30 470 940	7.750 1.821 790 2.185 31	0,20 = kg Dichtungsbahn / m² (=> ca. 0,13 mm Dicke)
M5 3_1024	Gipskartonplatten d: 1,2 cm; Dispersionsfarbe (zweifach) => Gipskartonplatten d: 1,2 cm => Dispersionsfarbe (zweifach)	134,99			900 1100	1.458 32	0,12 = kg Dispersionsfarbe / m² Wand (einfach)
E1 3_600	Regenfallrohr Titanzink; 5,52 kg/m Zink; 0,078 kg/m Stahl feuerverzinkt => Regenfallrohr Zink => Stahl feuerverzinkt		8,10			45 0,6	
E1 3_601	Regenrinne Titanzink; 0,869 kg/m Zink; 0,459 kg/m Stahl feuerverzinkt => Regenrinne Zink => Stahl feuerverzinkt		19,80			17 9	
E1 8_113	Blitzschutz für Steildach mit Ziegeldeckung; 0,5 kg/m² Stahl feuerverzinkt	154,99				77	
E5 1_2001	Zweischeiben Wärmeschutzfenster (eine Scheibe beschichtet); Holzrahmen => Holzrahmen => Deckfarbe 1,33 kg/m² Fensterfläche	2,31				35 3,1	15,0 = kg Nadelschnittholz / m² Fenster
	Glas (Flachglas beschichtet und/oder unbeschichtet)					37	8,00 = kg Glas / m² Fenster und Scheibe
	Abstandshalter (Aluminium)					2,1	0,89 = kg Aluminium / m² Fenster (Zweischeibenfenster)
	Fensterkitt					1,0	0,44 = kg Paste, Leim, Kitt / m² Fenster

Tabelle A 19: Holzhaus – Elemente der Kategorie Technik

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]
<b>Kategorie Technik</b>		<b>Anzahl</b>				
I0 4_236	Wohnräume, bis 25 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer => Nadelnschnittholz	6				33 12 0,4 14 1,4
I0 4_237	Küchen, bis 15 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer => Nadelnschnittholz	2				5,7 6,1 0,7 2,6 0,5
I0 4_239	WCs, Bäder oder Duschräume, bis 5 m <sup>2</sup> , trocken => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer => Nadelnschnittholz	3				4,6 1,7 0,5 2,0 0,7
I0 4_244	Lager- oder Nebenräume, bis 50 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer	2				17 5,7 1,8 6,9
I0 4_245	Technische Installationsräume, bis 25 m <sup>2</sup> => PE (LD) => PVC => Stahl unlegiert => Kupfer	1				4,8 1,8 0,5 2,5
I2 1_258	Hausanschluss Gas => PE (LD) => Stahl feuerverzinkt => Splitt	1				20 12 900

Fortsetzung Tabelle A 19: Holzhaus – Elemente der Kategorie Technik

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m²]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m³]	Dichte [kg/m³]	Masse [kg]
<b>Kategorie Technik</b>		<b>Anzahl</b>				
I2 2_261	NT- Unit für Öl oder Gas, 40 kW => PE (LD) => Stahl unlegiert => Kupfer => Gusseisen => Deckfarbe => Aluminium => Mineralwolle	1				3,8 124 4,4 65 2,6 1,6 2,2
I2 4_270	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 10 m² => Stahl unlegiert => Trockenlack 1,6 m²	1			1100	25 0,3
I2 4_271	Radiator (Flächenheizkörper), Raum bis 25 m² => Stahl unlegiert => Trockenlack 4 m²	2			1100	125 1,6
I2 5_276	Heizungskamin => Ziegel => Gusseisen => Mineralwolle => Nadelschnittholz => Deckfarbe => Mauermörtel MG2 => Gasbeton		10,90			4.866 11 3,9 184 20 137 0,6
I5 3_310	Warmwasser-Speicher => PE (LD) => Stahl unlegiert => Kupfer => Aluminium => Mineralwolle => Gusseisen => Deckfarbe	1				3,9 127 4,5 1,6 2,3 66 2,6
I2 4_274	Bodenheizung Kunststoff, m² bei 40 W/m² => PE (LD) => Polystyrol	105,56				122,4 211,1

0,20 = kg Trockenlack / m²

0,20 = kg Trockenlack / m²

446,4 = kg Ziegel je Meter  
1,0 = kg Gusseisen je Meter  
0,36 = kg Mineralwolle je Meter  
16,92 = kg Nadelschnittholz je Meter  
1,8 = kg Deckfarbe je Meter  
12,6 = kg Mauermörtel MG2 je Meter  
0,058 = kg Gasbeton je Meter

1,16 = kg PE (LD) / m²  
2,00 = kg Polystyrol / m²

Tabelle A 20: Holzhaus – Elemente der Kategorie Sonstiges

Elementindex	Elementbeschreibung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Dicke, Länge [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Masse [kg]
<b>Kategorie Sonstiges</b>						
D0 1_29	Baugrubenaushub, Transport Deponie Unternehmer			183,78	1800	"330.804"
D2 1_1001	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 30x55 cm => Normalbeton => Betonstahlmatte	0,17	61,83	10,20	2400	24.485 714
D2 1_1003	Streifenfundamente mit Aushub; Normalbeton; Betonstahlmatte, 85x40 cm => Normalbeton => Betonstahlmatte	0,34	15,82	5,38	2400	12.909 377
E0 3_1025	Balkonplatte aus Stahlbeton d: 18 cm; Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	11,28	0,18	2,03	2400	4.873 162
E3 5_125	Lichtschacht aus Ortbeton; 0,345 m <sup>3</sup> Normalbeton; Betonstahlmatte => Normalbeton => Betonstahlmatte	2 Stück		0,69	2400	1.656 55
E5 5_206	Außentür aus Holz; Nadelschnittholz d: 6 cm; 1 kg/m <sup>2</sup> Stahl unlegiert; Deckfarbe (zweifach) => Nadelschnittholz d: 6 cm => Stahl unlegiert => Deckfarbe (zweifach)	9,13	0,06	0,55	470 1100	257 9,1 2,2
M1 6_333	Innentüre aus Holz; Nadelschnittholz d: 1 cm; Hartfaserplatte d: 1 cm; 1 kg/m <sup>2</sup> Aluminium; Deckfarbe (zweifach) => Nadelschnittholz d: 1 cm => 1 cm Hartfaserplatte => Aluminium => Deckfarbe (zweifach)	31,79	0,01 0,01	0,32 0,32	470 900 1100	149 286 32 8
E0 2_67	Geschosstreppe Holz; 28,2 kg/m <sup>2</sup> Nadelschnittholz; 2 kg/m <sup>2</sup> Deckfarbe => Nadelschnittholz => Deckfarbe	8,06				227 16,1

Summe Baustoffmassen: 264.574

Wird nicht zur Gesamtmasse gerechnet!

70 = kg Betonstahlmatte / m<sup>3</sup> Normalbeton70 = kg Betonstahlmatte / m<sup>3</sup> Normalbeton80 = kg Betonstahlmatte / m<sup>3</sup> Normalbeton80 = kg Betonstahlmatte / m<sup>3</sup> Normalbeton0,12 = kg Deckfarbe / m<sup>2</sup> Wand (einfach)0,12 = kg Deckfarbe / m<sup>2</sup> Wand (einfach)

**Tabelle A 21: Klassische Lacke; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>46</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Lawinol Kunstharzlack	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 3 Flammpunkt 21-55°C	3,5	11,3	12,8	1.750
	Xylol Isomeregemisch	2,2	7,1	8,0	7,9
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	41,5	134,3	151,4	4,2
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	4,6	14,9	16,8	0,02
		<b>51,8</b>	<b>167,6</b>	<b>189,0</b>	<b>1.762</b>
Einza Gold-Weißlack	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	4,3	13,9	15,7	0,43
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	14,9	48,2	54,4	0,07
		<b>19,2</b>	<b>62,1</b>	<b>70,1</b>	<b>0,5</b>
Einza Seidenmatt	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	28,9	93,5	105,4	2,89
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	20,1	65,1	73,3	2,01
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	5,7	18,5	20,8	0,03
		<b>54,7</b>	<b>177,1</b>	<b>199,5</b>	<b>4,9</b>
Einza Bunt	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 3 Flammpunkt 21-55°C	1,3	4,2	4,7	650
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	8,4	27,2	30,6	0,8
	1-Methoxypropylacetat-2	2,7	8,7	9,8	2,6
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	39,6	128,2	144,5	4,0
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	4,5	14,6	16,4	0,02
		<b>56,5</b>	<b>182,9</b>	<b>206,0</b>	<b>657</b>

<sup>46</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

## Fortsetzung Tabelle A 21: Klassische Lacke; potenzielles relatives Risiko pR

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>47</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Sikkens Rubbol Saturra	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	17,0	55,0	62,0	1,7
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	12,0	38,8	43,8	1,2
		<b>29,0</b>	<b>93,8</b>	<b>105,8</b>	<b>2,9</b>
Sikkens Uni-Weißlack plus	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	27,5	89,0	100,3	2,75
	Aromatische Kohlenwasserstoffe hochsiedend, KW-Gemisch Gr. 3	5,0	16,2	18,2	2.500
		<b>32,5</b>	<b>105,2</b>	<b>118,5</b>	<b>2.503</b>
Sikkens Rubbol A-Z	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	20,5	66,4	74,8	2,05
		<b>20,5</b>	<b>66,4</b>	<b>74,8</b>	<b>2,1</b>
Sikkens Color Seidenglanz MM	Monoethylenglykol	1,0	3,2	3,6	0,1
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	20,5	66,4	74,8	2,05
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	11,5	37,2	42,0	1,15
		<b>33,0</b>	<b>106,8</b>	<b>120,4</b>	<b>3,3</b>
Sikkens Color Hochglanzlack, Basis	Aliphatische Lösemittel	25,0	80,9	91,2	2,5
	Solventnaphtha	10,0	32,4	36,5	5.000
	Xylol	2,5	8,1	9,1	9,0
		<b>37,5</b>	<b>121,4</b>	<b>136,8</b>	<b>5.012</b>

<sup>47</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 22: High-Solid Lacke, potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>48</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Selection Brillant-Weißlack	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	4,7	15,2	17,1	0,47
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	3,7	12,0	13,5	0,37
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	15,3	49,5	55,8	0,077
		<b>23,7</b>	<b>76,7</b>	<b>86,4</b>	<b>0,9</b>
Einza Selection Samt-Weißlack	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	7,4	24,0	27,0	0,74
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	15,9	51,5	58,0	1,59
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	3,4	11,0	12,4	0,017
		<b>26,7</b>	<b>86,5</b>	<b>97,4</b>	<b>2,3</b>
Sikkens Rubbol Optima Semi-gloss	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	6,0	19,4	21,9	0,6
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	7,0	22,7	25,5	0,7
		<b>13,0</b>	<b>42,1</b>	<b>47,4</b>	<b>1,3</b>

**Tabelle A 23: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>48</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Aquamatt	2-Butoxyethanol	1,9	6,2	6,9	0,76
		<b>1,9</b>	<b>6,2</b>	<b>6,9</b>	<b>0,8</b>
Einza Samt-Acryl	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,4	7,8	8,8	0,12
		<b>2,4</b>	<b>7,8</b>	<b>8,8</b>	<b>0,1</b>

<sup>48</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 24: Lösemittelhaltige Dickschicht-Lasur; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>49</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Kompakt 94	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	42,5	30,9	21,9	4,25
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	15,6	11,3	8,0	1,56
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	3,7	2,7	1,9	0,019
		<b>61,8</b>	<b>44,9</b>	<b>31,8</b>	<b>5,8</b>
Sikkens Cetol Filter 7	Dichlofluorid	0,5	0,4	0,3	2,5
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	42,5	30,9	21,9	4,25
	Aromatische Kohlenwasserstoffe, hochsiedend	8,5	6,2	4,4	1,53
		<b>51,5</b>	<b>37,5</b>	<b>26,6</b>	<b>8,3</b>

**Tabelle A 25: Wasserverdünnbare Dickschicht-Lasur, potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>49</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Aqua-Kompaktlasur	2-Butoxyethanol	4,7	3,4	2,4	1,88
		<b>4,7</b>	<b>3,4</b>	<b>2,4</b>	<b>1,9</b>

<sup>49</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 26: Lösemittelhaltige Imprägnier-Lasur; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>50</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Holzlasur	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	68,6	49,9	35,3	6,9
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	2,3	1,7	1,2	0,23
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	1,0	0,7	0,5	0,005
		<b>71,9</b>	<b>52,3</b>	<b>37,0</b>	<b>7,1</b>
Sikkens Cetol HLS	Dichlofluorid	1,0	0,7	0,5	5,0
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	53,0	38,5	27,3	5,3
	Aromatische Kohlenwasserstoffe, hochsiedend	10,5	7,6	5,4	1,9
		<b>64,5</b>	<b>46,8</b>	<b>33,2</b>	<b>12,2</b>
Sikkens Cetol Novatech	Xylol Isomeregemisch	1,5	1,1	0,8	5,4
	Dichlofluorid	1,0	0,7	0,5	5,0
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	19,5	14,2	10,0	2,0
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	8,0	5,8	4,1	0,8
			<b>30,0</b>	<b>21,8</b>	<b>15,4</b>

**Tabelle A 27: Wasserverdünnbare Imprägnier-Lasur; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>50</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Aquanol	2-Butoxyethanol	5,5	4,0	2,8	2,2
		<b>5,5</b>	<b>4,0</b>	<b>2,8</b>	<b>2,2</b>
Sikkens Cetol BL Decor	Butylglykol	3,5	2,5	1,8	1,4
	Propylenglykol Technisch	5,5	4,0	2,8	0
			<b>9,0</b>	<b>6,5</b>	<b>4,6</b>

<sup>50</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 28: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>51</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Reinacryl	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,2	1,6	1,1	0,11
		<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>0,1</b>
Einza Holzcolor	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

**Tabelle A 29: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Kunstharzdispersion); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>51</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Sikkens Diwagolan Superweiß	Propylenglykol Technisch	3,5	8,8	11,0	0,0
		<b>3,5</b>	<b>8,8</b>	<b>11,0</b>	<b>0,0</b>

**Tabelle A 30: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Silikonharz, Siloxan); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>51</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Sikkens Diwaloxan Bauschutzfarbe	Monoethylenglykol	2,0	5,0	6,3	0,2
		<b>2,0</b>	<b>5,0</b>	<b>6,3</b>	<b>0,2</b>

**Tabelle A 31: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>51</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Sikkens Color Acryllack	Butylglykol	1,0	2,5	3,1	0,4
	Butyldiglykol	1,0	2,5	3,1	0,05
	Propylenglykol Technisch	7,0	17,6	21,9	0,0
		<b>9,0</b>	<b>22,6</b>	<b>28,1</b>	<b>0,5</b>

<sup>51</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 32: Dispersionswandfarbe; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>52</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Sikkens Diwadur HD LF	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
Sikkens Diwaplus	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
Sikkens Diwamatt-LF	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabelle A 33: Holzfensterlacke; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>52</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Fensterbasis	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	20,8	9,7	8,6	2,1
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	15,0	7,0	6,2	1,5
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	1,9	0,9	0,8	0,01
		<b>37,7</b>	<b>17,6</b>	<b>15,6</b>	<b>3,6</b>
Einza Fensterfinish	Xylol Isomeregemisch	3,3	1,5	1,4	11,9
	p-Menthadien-1,8 (9)	1,1	0,5	0,4	0,5
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	2,3	1,1	0,9	0,2
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	14,9	7,0	6,2	0,07
	<b>21,6</b>	<b>10,1</b>	<b>8,9</b>	<b>12,6</b>	
Einza Selection Fensterlack	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt >55°C	9,5	4,4	3,9	1,0
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	7,8	3,6	3,2	0,8
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 1 Flammpunkt 21-55°C	8,2	3,8	3,4	0,04
		<b>25,5</b>	<b>11,8</b>	<b>10,5</b>	<b>1,8</b>

<sup>52</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 34: Heizkörperlacke; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>53</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Einza Heizkörper-Flutlack	Xylol Isomerengemisch	2,1	0,16	0,04	7,5
	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	32,8	2,46	0,62	3,3
		<b>34,9</b>	<b>2,62</b>	<b>0,66</b>	<b>10,8</b>
Einza Heizkörper-Weißlack	Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 3 Flammpunkt 21-55°C	2,9	0,22	0,06	1.450
	Xylol Isomerengemisch Kohlenwasserstoffgemisch Gr. 2 Flammpunkt 21-55°C	2,1 31,9	0,16 2,39	0,04 0,61	7,6 3,2
		<b>36,9</b>	<b>2,77</b>	<b>0,71</b>	<b>1.461</b>
Einza Aquatherm	2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,2	0,17	0,04	0,1
		<b>2,2</b>	<b>0,17</b>	<b>0,04</b>	<b>0,1</b>
Sikkens Heizkörperlack	Ethylbenzol	1,5	0,11	0,03	5,6
	Xylol Isomerengemisch	4,0	0,30	0,08	14,4
	Aliphatische Kohlenwasserstoffe	29,0	2,18	0,55	2,9
	Aromatische Kohlenwasserstoffe, hochsiedend, KW-Gemisch Gr. 3	5,0	0,38	0,10	2.500
		<b>39,5</b>	<b>2,97</b>	<b>0,76</b>	<b>2.523</b>

<sup>53</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 35: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 10); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>54</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Adolit Holzbau B	Diglycol	10,0	0,89	1,86	1,0
		<b>10,0</b>	<b>0,89</b>	<b>1,86</b>	<b>1,0</b>
Adolit Holzbau B	2-Amino-ethanol	10,0	0,89	1,86	2,6
		<b>10,0</b>	<b>0,89</b>	<b>1,86</b>	<b>2,6</b>
Adolit Bor flüssig	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Adolit Bor flüssig	2-Amino-ethanol	25,0	2,22	4,66	6,5
		<b>25,0</b>	<b>2,22</b>	<b>4,66</b>	<b>6,5</b>

**Tabelle A 36: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 40); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>54</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Adolit TA 100	Kupfer(II)-hydroxidcarbonat Bis-(N-hydroxy-N-nitroso- cyclohexylamitato-O,O')kupfer	4,2	0,37	0,78	0,4
		2,5	0,22	0,47	0,3
		<b>6,7</b>	<b>0,59</b>	<b>1,25</b>	<b>0,7</b>

**Tabelle A 37: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 70); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>54</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Adolit CKO flüssig	Chromtrioxid Kupferoxid	50,0	4,44	9,32	25.000
		14,4	1,28	2,68	1,4
		<b>64,4</b>	<b>5,72</b>	<b>12,00</b>	<b>25.001</b>
Adolit CKB-P	Kupfersulfat Natriumdichromat Chromtrioxid Kupferoxid Natriumhydrogensulfat	31,0	2,75	5,78	3,1
		50,0	4,44	9,32	25.000
		10,0	0,89	1,86	5.000
		1,0	0,09	0,19	0,1
		2,5	0,22	0,47	2,5
		<b>94,5</b>	<b>8,39</b>	<b>17,62</b>	<b>30.006</b>

<sup>54</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 38: Holzschutzöle (HSM-LV 10); potenzielles relatives Risiko pR

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>55</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Aidol VR echtbraun	Kristallöl 60	78,0	6,93	14,53	7,8
	1,2,4-Trimethylbenzol	10,0	0,89	1,86	10,1
	Kristallöl 30	10,0	0,89	1,86	1,0
	Tris-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclohexylamitatoO,O')aluminium	2,0	0,18	0,37	0,1
		<b>100,0</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>	<b>19,0</b>
Aidol Carbolin	Kristallöl 60	25,0	2,22	4,66	2,5
	Kristallöl 30	25,0	2,22	4,66	2,5
	Cocosfettsäurediethanolamid mit Diethanolamin	10,0	0,89	1,86	0,5
	Isononylphenol, ethoxyliert	2,5	0,22	0,47	0,1
		<b>62,5</b>	<b>5,55</b>	<b>11,65</b>	<b>5,6</b>

Tabelle A 39: Holzschutzöle (HSM-LV 20); potenzielles relatives Risiko pR

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>55</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Aidol Grund/Bläuesperre	isoparaffinisches Kohlenwasserstoffgemisch	90,0	7,99	16,77	9,0
	Kristallöl 60	10,0	0,89	1,86	1,0
		<b>100,0</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>	<b>10,0</b>
Aidol Imprägniergrund	isoparaffinisches Kohlenwasserstoffgemisch	85,5	7,59	15,93	8,6
	1,2,4-Trimethylbenzol	10,0	0,89	1,86	10,1
	Tris-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclohexylamitatoO,O')aluminium	2,0	0,18	0,37	0,1
	Kristallöl 60	2,5	0,22	0,47	0,3
		<b>100,0</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>	<b>19,1</b>

<sup>55</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 40: Holzschutzöle (HSM-LV 30); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>56</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Aidol Imprägnierlasur	Kristallöl 60	100,0	8,88	18,63	10,0
		<b>100,0</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>	<b>10,0</b>
Aidol Fertigbau 100	Kristallöl 60	86,5	7,68	16,11	8,7
	1,2,4-Trimethylbenzol	10,0	0,89	1,86	10,1
	Tris-(N-hydroxy-N-nitroso-cyclohexylaminitatoO,O')aluminium	3,5	0,31	0,65	0,2
		<b>100,0</b>	<b>8,88</b>	<b>18,63</b>	<b>19,0</b>

**Tabelle A 41: Klebstoffe für Linoleumbeläge; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>56</sup>	Gehalt [%]		Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt	
		Komponenten	Mischung	Referenzhaus	Holzhaus		
Schönox Linobond	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
Schönox PU 900	85% entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	15% Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	100,0	15,0	11,9	9,2	500	75,0
			<b>15,0</b>	<b>11,9</b>	<b>9,2</b>		<b>75,0</b>
Schönox N 640	Spezialbenzin	50,0		39,5	30,5	25.000	
	Toluol	12,5		9,9	7,6	145	
	Ethylacetat	10,0		7,9	6,1	22,9	
	Aceton	10,0		7,9	6,1	48,0	
	Methylethylketon	10,0		7,9	6,1	210	
		<b>92,5</b>		<b>73,1</b>	<b>56,4</b>	<b>25.426</b>	

<sup>56</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 42: Klebstoffe für textile Bodenbeläge; potenzielles relatives Risiko pR

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>57</sup>	Gehalt [%]		Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	
		Komponenten	Mischung	Referenzhaus	Holzhaus	Einzelsubstanz bzw. Produkt	
Schönox Floortex	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
Schönox Tex-Objekt	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
Schönox PU 900	85% keine	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	15% Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	100,0	15,0	10,5	8,6	500	75,0
			<b>15,0</b>	<b>10,5</b>	<b>8,6</b>		<b>75,0</b>
Schönox N 640	Spezialbenzin	50,0		35,0	28,5	25.000	
	Toluol	12,5		8,8	7,1	145	
	Ethylacetat	10,0		7,0	5,7	22,9	
	Aceton	10,0		7,0	5,7	48,0	
	Methylethylketon	10,0		7,0	5,7	210	
		<b>92,5</b>		<b>64,8</b>	<b>52,7</b>	<b>25.426</b>	

Tabelle A 43: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Dispensionskleber); potenzielles relatives Risiko pR

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>57</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR
			Referenzhaus	Holzhaus	
Albon Coll Paneel- und Montagekleber	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Schönox TL	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Relö Fliesenklebstoff wasserbeständig	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Relö Fliesen- und Mehrzweckkleber	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>

<sup>57</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 44: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Polyurethan-Basis / Epoxidharz-Basis); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>58</sup>	Gehalt [%]		Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	
		Komponenten	Mischung	Referenzhaus	Holzhaus	Einzelsubstanz bzw. Produkt	
Schönox 2K-PU	83,33% entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	16,67% Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat	100,0	16,7	24,0	45,8	500	83,5
			<b>16,7</b>	<b>24,0</b>	<b>45,8</b>		<b>83,5</b>
Schönox KR	Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	25,0	20,0	28,8	54,8	500	100
	80% Benzylalkohol	2,5	2,0	2,9	5,5	10	0,2
	Diethylentriamin	10,0	2,0	2,9	5,5	740	14,8
	20% 3-Aminopropyltriethoxysilan	10,0	2,0	2,9	5,5	100	2,0
			<b>26,0</b>	<b>37,5</b>	<b>71,2</b>		<b>117</b>
Viscacid Epoxi-Fugenspachtel / Kleber	Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	25,0	15,6	22,5	42,8	500	78,0
	62,5% o-Kresylglycidylether	10,0	6,3	9,0	17,1	500	31,5
	1,2,4-Trimethylbenzol	2,5	0,9	1,4	2,6	101	0,9
	37,5% Triethylentetramin	2,5	0,9	1,4	2,6	500	4,5
			<b>23,7</b>	<b>34,3</b>	<b>65,1</b>		<b>115</b>
Relö EP-Fliesenklebstoff	Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	25,0	16,0	23,0	43,8	500	80,0
	Bisphenol-F-Epichlorhydrinharze	10,0	6,4	9,2	17,5	500	32,0
	64% Hexandioldiglycidylether	10,0	6,4	9,2	17,5	500	32,0
	Isophoron-diamin	10,0	3,6	5,2	9,9	500	18,0
	Tetraethylenpentamin	10,0	3,6	5,2	9,9	500	18,0
	2,4,6-Tri-(dimethylaminomethyl)phenol	2,5	0,9	1,3	2,5	10	0,1
	36% 1,2,4-Trimethylbenzol	2,5	0,9	1,3	2,5	101	0,9
			<b>37,8</b>	<b>54,4</b>	<b>103,6</b>		<b>181</b>

<sup>58</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

184 **Tabelle A 45: Klebstoffe für Steinzeugplatten (zementäre Basis); potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>59</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Relö Fliesenkleber	Zement	50,0	72,0	137,0	2,5
		<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>	<b>2,5</b>
Aida Elastokleber	Zement	50,0	72,0	137,0	2,5
		<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>	<b>2,5</b>
Schönox FK-1	Portlandzement	50,0	72,0	137,0	2,5
		<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>	<b>2,5</b>
Schönox MBK weiß	Portlandzement	25,0	36,0	68,5	1,3
	Titandioxid	2,5	3,6	6,9	0,3
		<b>27,5</b>	<b>39,6</b>	<b>75,4</b>	<b>1,6</b>
Relö Fließbettkleber	Zement	25,0	36,0	68,5	1,3
		<b>25,0</b>	<b>36,0</b>	<b>68,5</b>	<b>1,3</b>
Schönox SK	Portlandzement	50,0	72,0	137,0	2,5
		<b>50,0</b>	<b>72,0</b>	<b>137,0</b>	<b>2,5</b>

<sup>59</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 46: Dichtungsmittel für Glas- und Fensterbau; potenzielles relatives Risiko pR

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>60</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Bostik 1566	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Bostik 2720	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Klebe- und Dichtmasse CS	entfällt	0,0	0,0	0,0	0,0
		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Universaldichtmasse	Diglycol	2,5	0,33	0,30	0,3
	Naphtha (Erdöl), (Benzolgehalt < 0,1%)	2,5	0,33	0,30	1.250
		<b>5,0</b>	<b>0,66</b>	<b>0,60</b>	<b>1.250</b>
Bostik 2637	Xylol Isomergemisch	5,0	0,65	0,60	18,0
	2,4-Diisocyanat-toluol	0,02	0,003	0,002	0,1
		<b>5,0</b>	<b>0,653</b>	<b>0,602</b>	<b>18,1</b>
Albardin Multi-Sil	Trimethoxyvinylsilan	5,0	0,65	0,60	0,3
		<b>5,0</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>	<b>0,3</b>
Silikon SL	Methyltrimethoxysilan	2,5	0,33	0,30	0,3
		<b>2,5</b>	<b>0,33</b>	<b>0,30</b>	<b>0,3</b>
Silikon SO	Trisbutanonoximmethylsilan	10,0	1,30	1,20	50,0
		<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>	<b>50,0</b>
Silikon N	Naphtha (Erdöl), (Benzolgehalt < 0,1%)	10,0	1,30	1,20	5.000
	Trisbutanonoximmethylsilan	10,0	1,30	1,20	50,0
		<b>20,0</b>	<b>2,60</b>	<b>2,40</b>	<b>5.050</b>
Nibosil 3052 N	Butan-2-on-O,O',O"- (methylsilylidyn)trioxim	10,0	1,30	1,20	50,0
		<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>	<b>50,0</b>

<sup>60</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Fortsetzung Tabelle A 46: Dichtungsmittel für Glas- und Fensterbau; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>61</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Albardin Silicon anstrichverträglich	Butan-tris-ketoximo-ethylmethylsilan	6,0	0,78	0,72	30,0
		<b>6,0</b>	<b>0,78</b>	<b>0,72</b>	<b>30,0</b>
Albardin Silicon 100	Ethyltriacetoxysilan	5,0	0,65	0,60	5,0
		<b>5,0</b>	<b>0,65</b>	<b>0,60</b>	<b>5,0</b>
Sanitär Silikon	Ethyltriacetoxysilan	10,0	1,30	1,20	10,0
		<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>	<b>10,0</b>
Silikon SR	Ethyltriacetoxysilan	10,0	1,30	1,20	10,0
		<b>10,0</b>	<b>1,30</b>	<b>1,20</b>	<b>10,0</b>
Silikon A	Naphtha (Erdöl), (Benzolgehalt < 0,1%) Ethyltriacetoxysilan	10,0	1,30	1,20	5.000
		10,0	1,30	1,20	10,0
		<b>20,0</b>	<b>2,60</b>	<b>2,40</b>	<b>5.010</b>

**Tabelle A 47: Zement; potenzielles relatives Risiko pR**

Produktbezeichnung	Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>61</sup>	Gehalt [%]	Schadstoffmenge [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR Einzelsubstanz bzw. Produkt
			Referenzhaus	Holzhaus	
Portlandzement	Chromat	$0,1 \cdot 10^{-4}$	3,2	2,5	0,00005
		<b><math>0,1 \times 10^{-4}</math></b>	<b>3,2</b>	<b>2,5</b>	<b>0,00005</b>
Portlandzement	Chromat	$2 \cdot 10^{-4}$	63,4	49,2	0,001
		<b><math>2 \times 10^{-4}</math></b>	<b>63,4</b>	<b>49,2</b>	<b>0,001</b>
Portlandzement	Chromat	$35 \cdot 10^{-4}$	1.110,1	861,6	0,0175
		<b><math>35 \times 10^{-4}</math></b>	<b>1.110,1</b>	<b>861,6</b>	<b>0,0175</b>

<sup>61</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 48: Klassische Lacke; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>62</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Lawinol Kunstharzlack	51,8	167,6	189,0	1.762	176,2	57.036	64.278
Einza Gold-Weißlack	19,2	62,1	70,1	0,5	0,05	16,2	18,2
Einza Seidenmatt	54,7	177,1	199,5	4,9	0,49	159	179
Einza Bunt	56,5	182,9	206,0	657	65,7	21.267	23.967
Sikkens Rubbol Satura	29,0	93,8	105,8	2,9	0,29	93,9	106
Sikkens Uni-Weißlack plus	32,5	105,2	118,5	2.503	250,3	81.022	91.309
Sikkens Rubbol A-Z	20,5	66,4	74,8	2,1	0,21	68,0	76,6
Sikkens Color Seidenglanz MM	33,0	106,8	120,4	3,3	0,33	107	120
Sikkens Color Hochglanzlack, Basis	37,5	121,4	136,8	5.012	501,2	162.238	182.838

Tabelle A 49: High-Solid Lacke, Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>62</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Selection Brillant-Weißlack	23,7	76,7	86,4	0,9	0,09	29,1	32,8
Einza Selection Samt-Weißlack	26,7	86,5	97,4	2,3	0,23	74,5	83,9
Sikkens Rubbol Optima Semi-gloss	13,0	42,1	47,4	1,3	0,13	42,1	47,4

Tabelle A 50: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>62</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Aquamatt	1,9	6,2	6,9	0,8	0,08	25,9	29,2
Einza Samt-Acryl	2,4	7,8	8,8	0,1	0,01	3,2	3,6

<sup>62</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 51: Lösemittelhaltige Dickschicht-Lasur; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>63</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Kompakt 94	61,8	44,9	31,8	5,8	0,58	42,2	29,9
Sikkens Cetol Filter 7	51,5	37,5	26,6	8,3	0,83	60,3	42,7

Tabelle A 52: Wasserverdünnbare Dickschicht-Lasur, Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>63</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Aqua-Kompaktlasur	4,7	3,4	2,4	1,9	0,19	13,8	9,8

Tabelle A 53: Lösemittelhaltige Imprägnier-Lasur; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>63</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Holzlasur	71,9	52,3	37,0	7,1	0,71	51,6	36,6
Sikkens Cetol HLS	64,5	46,8	33,2	12,2	1,22	88,7	62,8
Sikkens Cetol Novatech	30,0	21,8	15,4	13,2	1,32	96,0	68,0

Tabelle A 54: Wasserverdünnbare Imprägnier-Lasur; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>63</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Aquanol	5,5	4,0	2,8	2,2	0,22	16,0	11,3
Sikkens Cetol BL Decor	9,0	6,5	4,6	1,4	0,14	10,2	7,2

<sup>63</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 55: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>64</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Reinacryl	2,2	16	1,1	0,1	0,01	0,73	0,52
Einza Holzcolor	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle A 56: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Kunstharzdispersion); Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>64</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Sikkens Diwagolan Superweiß	3,5	8,8	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle A 57: Wasserverdünnbare Fassadenfarbe (Silikonharz, Siloxan); Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>64</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Sikkens Diwaloxan Bauschutzfarbe	2,0	5,0	6,3	0,2	0,02	5,0	6,3

Tabelle A 58: Wasserverdünnbare Dispersionslacke; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>64</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Sikkens Color Acryllack	9,0	22,6	28,1	0,5	0,05	12,6	15,7

<sup>64</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 59: Dispersionswandfarbe; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>65</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Sikkens Diwadur HD LF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sikkens Diwaplus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sikkens Diwamatt-LF	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle A 60: Holzfensterlacke; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>65</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Fensterbasis	37,7	17,6	15,6	3,6	0,36	16,8	14,9
Einza Fensterfinish	21,6	10,1	8,9	12,6	1,26	58,8	52,2
Einza Selection Fensterlack	25,5	11,8	10,5	1,8	0,18	8,4	7,5

Tabelle A 61: Heizkörperlacke; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>65</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Einza Heizkörper-Flutlack	34,9	2,62	0,66	10,8	1,08	8,1	2,1
Einza Heizkörper-Weißlack	36,9	2,77	0,71	1.461	146,1	1.096	278
Einza Aquatherm	2,2	0,17	0,04	0,1	0,01	0,08	0,02
Sikkens Heizkörperlack	39,5	2,97	0,76	2.523	252,3	1.892	479

<sup>65</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 62: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 10); Gefahrstoffpotenzial HSP**

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>66</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Adolit Holzbau B	10,0	0,89	1,86	1,0	0,10	0,89	1,9
Adolit Holzbau B	10,0	0,89	1,86	2,6	0,26	2,3	4,8
Adolit Bor flüssig	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Adolit Bor flüssig	25,0	2,22	4,66	6,5	0,65	5,8	12,1

**Tabelle A 63: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 40); Gefahrstoffpotenzial HSP**

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>66</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Adolit TA 100	6,7	0,59	1,25	0,7	0,07	0,62	1,3

**Tabelle A 64: Holzschutzmittel; Flüssigsalze (HSM-W 70); Gefahrstoffpotenzial HSP**

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>66</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Adolit CKO flüssig	64,4	5,72	12,00	25.001	2.500,1	22.201	46.577
Adolit CKB-P	94,5	8,39	17,62	30.006	3.000,6	26.645	55.901

**Tabelle A 65: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (HSM-LV 10); Gefahrstoffpotenzial HSP**

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>66</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Aidol VR echtbraun	100,0	8,88	18,63	19,0	1,90	16,9	35,4
Aidol Carbolin	62,5	5,55	11,65	5,6	0,56	5,0	10,4

<sup>66</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 66: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (HSM-LV 20); Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>67</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Aidol Grund/Bläuesperre	100,0	8,88	18,63	10,0	1,00	8,9	18,6
Aidol Imprägniergrund	100,0	8,88	18,63	19,1	1,91	17,0	35,6

Tabelle A 67: Holzschutzmittel; Holzschutzöle (HSM-LV 30); Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>67</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Aidol Imprägnierlasur	100,0	8,88	18,63	10,0	1,00	8,9	18,6
Aidol Fertigbau 100	100,0	8,88	18,63	19,0	1,90	16,9	35,4

Tabelle A 68: Klebstoffe für Linoleumbeläge; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>67</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Schönox Linobond	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schönox PU 900	15,0	11,9	9,2	75,0	7,5	593	458
Schönox N 640	92,5	73,1	56,4	25.426	2.542,6	200.865	155.099

Tabelle A 69: Klebstoffe für textile Bodenbeläge; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>67</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Schönox Floortex	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schönox Tex-Objekt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schönox PU 900	15,0	10,5	8,6	75,0	7,5	525	428
Schönox N 640	92,5	64,8	52,7	25.426	2.542,6	177.982	144.928

<sup>67</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 70: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Dispersionskleber); Gefahrstoffpotenzial HSP**

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>68</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Albon Coll Paneel- und Montagekleber	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schönox TL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Relö Fliesenklebstoff wasserbeständig	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Relö Fliesen- und Mehrzweckkleber	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabelle A 71: Klebstoffe für Steinzeugplatten (Polyurethan-Basis / Epoxidharz-Basis); Gefahrstoffpotenzial HSP**

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>68</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Schönox 2K-PU	16,7	24,0	45,8	83,5	8,35	1.202	2.288
Schönox KR	26,0	37,5	71,2	117	11,7	1.685	3.206
Viscacid Epoxi- Kleber	23,8	34,3	65,1	115	11,5	1.656	3.151
Relö EP-Fliesenklebstoff	37,8	54,4	103,6	181	18,1	2.606	4.959

**Tabelle A 72: Klebstoffe für Steinzeugplatten (zementäre Basis); Gefahrstoffpotenzial HSP**

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>68</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Relö Fliesenkleber	50,0	72,0	137,0	2,5	0,25	36,0	68,5
Aida Elastokleber	50,0	72,0	137,0	2,5	0,25	36,0	68,5
Schönox FK-1	50,0	72,0	137,0	2,5	0,25	36,0	68,5
Schönox MBK weiß	27,5	39,6	75,4	1,6	0,16	23,0	43,8
Relö Fließbettkleber	25,0	36,0	68,5	1,3	0,13	18,7	35,6
Schönox SK	50,0	72,0	137,0	2,5	0,25	36,0	68,5

<sup>68</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 73: Dichtungsmittel; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>69</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Bostik 1566	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bostik 2720	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Klebe- und Dichtmasse CS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Universaldichtmasse	5,0	0,66	0,60	1.250	125,0	1.625	1.500
Bostik 2637	5,0	0,653	0,602	18,1	1,81	23,5	21,7
Albardin Multi-Sil	5,0	0,65	0,60	0,3	0,03	0,39	0,36
Silikon SL	2,5	0,33	0,30	0,3	0,03	0,39	0,36
Silikon SO	10,0	1,30	1,20	50,0	5,0	65,0	60,0
Silikon N	20,0	2,60	2,40	5.050	505	6.565	6.060
Nibosil 3052 N	10,0	1,30	1,20	50,0	5,0	65,0	60,0
Albardin Silicon anstrichverträglich	6,0	0,78	0,72	30,0	3,0	39,0	36,0
Albardin Silicon 100	5,0	0,65	0,60	5,0	0,5	6,5	6,0
Sanitär Silikon	10,0	1,30	1,20	10,0	1,0	13,0	12,0
Silikon SR	10,0	1,30	1,20	10,0	1,0	13,0	12,0
Silikon A	20,0	2,60	2,40	5.010	501	6.513	6.012

Tabelle A 74: Zement; Gefahrstoffpotenzial HSP

Produktbezeichnung	Gehalt [%]	Schadstoffmenge <sup>69</sup> [kg]		Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
		Referenzhaus	Holzhaus			Referenzhaus	Holzhaus
Portlandzement (Chromatgehalt 0,1 ppm)	$0,1 \cdot 10^{-4}$	3,2	2,5	0,00005	0,000005	0,16	0,12
Portlandzement (Chromatgehalt 2 ppm)	$2 \cdot 10^{-4}$	63,4	49,2	0,001	0,0001	3,2	2,5
Portlandzement (Chromatgehalt 35 ppm)	$35 \cdot 10^{-4}$	1.110,1	861,6	0,0175	0,00175	55,5	43,1

<sup>69</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

**Tabelle A 75: Produkte des Best-Case-Szenarios; Berechnung nach TRGS 440**

Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>70</sup> / Produkt	Gehalt [%]	R-Sätze	Dampfdruck [hPa]	W-Faktor	F-Faktor	Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
								Referenzhaus	Holzhaus
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,4	36	0,03	2	1	2 / 0,048			
<b>Einza Samt-Acryl</b>						<b>0,048</b>	<b>0,016</b>	<b>5,2</b>	<b>5,8</b>
2-(2-Butoxyethoxy)ethanol	2,2	36	0,03	2	1	2 / 0,044			
<b>Einza Aquatherm</b>						<b>0,044</b>	<b>0,015</b>	<b>0,11</b>	<b>0,028</b>
Kohlenwasserstoff-Gemisch Gr. 2	9,5	11-20/21-37/38-65	k.A.	3	1	3 / 0,285			
Kohlenwasserstoff-Gemisch Gr. 2	7,8	11-20/21-37/38-65	k.A.	3	1	3 / 0,234			
Kohlenwasserstoff-Gemisch Gr. 1	8,2	11	k.A.	2	1	2 / 0,164			
<b>Einza Selection Fensterlack</b>						<b>0,683</b>	<b>0,228</b>	<b>10,6</b>	<b>9,4</b>
Zement	25,0	36/38	k.A.	2	1	2 / 0,500			
<b>Relö Fließbettkleber</b>						<b>0,500</b>	<b>0,167</b>	<b>24,0</b>	<b>45,7</b>
Chromat	0,1·10 <sup>-4</sup>	36/38-43	k.A.	4	1	4 / 0,4·10 <sup>-6</sup>			
<b>Portlandzement (0,1 ppm Chromat)</b>						<b>0,4·10<sup>-6</sup></b>	<b>1,3·10<sup>-7</sup></b>	<b>4,2·10<sup>-3</sup></b>	<b>3,3·10<sup>-3</sup></b>

<sup>70</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Tabelle A 76: Produkte des Worst-Case-Szenarios; Berechnung nach TRGS 440

Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>71</sup> / Produkt	Gehalt [%]	R-Sätze	Dampfdruck [hPa]	W-Faktor	F-Faktor	Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
								Referenzhaus	Holzhaus
Aliphatische Lösemittel	25,0	65	k.A.	3	1	3 / 0,75			
Solventnaphtha	10,0	45-65	k.A.	10	1	10 / 1,0			
Xylol Isomerengemisch	2,5	20/21-38	9	3	1	3 / 0,075			
<b>Sikkens Color Hochglanzlack, Basis</b>						<b>1,825</b>	<b>0,608</b>	<b>196,9</b>	<b>221,9</b>
Xylol Isomerengemisch	1,5	20/21-38	9	3	1	3 / 0,045			
Dichlofluanid	1,0	20-36-43-50/53	< 10 <sup>-5</sup>	4	1	4 / 0,04			
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	19,5	65	k.A.	3	1	3 / 0,585			
Kohlenwasserstoff-Gemisch Gr. 2	8,0	11-20/21-37/38-65	k.A.	3	1	3 / 0,24			
<b>Sikkens Cetol Novatech</b>						<b>0,910</b>	<b>0,303</b>	<b>22,1</b>	<b>15,6</b>
Butylglykol	1,0	20/21/22-37	1,01	3	1	3 / 0,03			
Butyldiglykol	1,0	36	0,03	2	1	2 / 0,02			
Propylenglykol Technisch	7,0	k.A.	1,066	1	1	1 / 0,07			
<b>Sikkens Color Acryllack</b>						<b>0,120</b>	<b>0,04</b>	<b>10,0</b>	<b>12,5</b>
Xylol Isomerengemisch	3,3	20/21-38	9	3	1	3 / 0,099			
p-Menthadien 1,8	1,1	38	2,1	2	1	2 / 0,022			
Kohlenwasserstoff-Gemisch Gr. 2	2,3	11-20/21-37/38-65	k.A.	3	1	3 / 0,069			
Kohlenwasserstoff-Gemisch Gr. 1	14,9	11	k.A.	2	1	2 / 0,298			
<b>Einza Fensterfinish</b>						<b>0,488</b>	<b>0,163</b>	<b>7,6</b>	<b>6,7</b>
Ethylbenzol	1,5	20	9,32	3	1	3 / 0,045			
Xylol Isomerengemisch	4,0	20/21-38	9	3	1	3 / 0,12			
Aliphatische Kohlenwasserstoffe	29,0	65	k.A.	3	1	3 / 0,87			
Aromat. Kohlenwasserstoffe, Gr. 3	5,0	22-65	< 0,45	3	1	3 / 0,15			
<b>Sikkens Heizkörperlack</b>						<b>1,185</b>	<b>0,395</b>	<b>3,0</b>	<b>0,8</b>
Kupfersulfat	31,0	22-36/38-50/53	k.A.	3	1	3 / 0,93			
Natriumdichromat	50,0	49-46-8-21-25-26-37/38-41-43-50/53	k.A.	10	1	10 / 5,0			
Chromtrioxid	10,0	49-8-25-35-43-50/53	k.A.	10	1	10 / 1,0			
Kupferoxid	1,0	22	k.A.	3	1	3 / 0,03			
Natriumhydrogensulfat	2,5	34-37	k.A.	3	1	3 / 0,075			
<b>Adolit CKB-P</b>						<b>7,035</b>	<b>2,345</b>	<b>20,8</b>	<b>43,7</b>

<sup>71</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).

Fortsetzung Tabelle A 76: Produkte des Worst-Case-Szenarios; Berechnung nach TRGS 440

Gefährliche Inhaltsstoffe <sup>72</sup> / Produkt	Gehalt [%]	R-Sätze	Dampfdruck [hPa]	W-Faktor	F-Faktor	Potenzielles relatives Risiko pR	Charakterisierungsfaktor	Gefahrstoffpotenzial HSP [kg MEG-Äquivalente]	
								Referenzhaus	Holzhaus
Spezialbenzin	50,0	45-65	k.A.	10	1	10 / 5,0			
Toluol	12,5	11-20	29,0	3	2	6 / 0,75			
Ethylacetat	10,0	11	114,6	2	3	6 / 0,6			
Aceton	10,0	11	240	2	3	6 / 0,6			
Methylethylketon	10,0	11-36/37	105	2	3	6 / 0,6			
<b>Schönox N 640, Linoleum</b>						<b>7,55</b>	<b>2,517</b>	<b>198,8</b>	<b>153,5</b>
Spezialbenzin	50,0	45-65	k.A.	10	1	10 / 5,0			
Toluol	12,5	11-20	29,0	3	2	6 / 0,75			
Ethylacetat	10,0	11	114,6	2	3	6 / 0,6			
Aceton	10,0	11	240	2	3	6 / 0,6			
Methylethylketon	10,0	11-36/37	105	2	3	6 / 0,6			
<b>Schönox N 640, Textilbeläge</b>						<b>7,55</b>	<b>2,517</b>	<b>176,2</b>	<b>143,5</b>
Zement / Portlandzement	50,0	36/38	k.A.	2	1	2 / 1,0			
<b>Klebstoffe Steinzeugplatten (zementäre Basis)</b>						<b>1,0</b>	<b>0,333</b>	<b>48,0</b>	<b>91,3</b>
Bisphenol-A-Epichlorhydrinharze	16,0	36/38-43	k.A.	4	1	4 / 0,64			
Bisphenol-F-Epichlorhydrinharze	6,4	36/38-43-51/53	k.A.	4	1	4 / 0,256			
Hexandioldiglycidylether	6,4	36/38-43	k.A.	4	1	4 / 0,256			
Isophoron-diamin	3,6	21/22-34-43	0,02	4	1	4 / 0,144			
Tetraethylenpentamin	3,6	21/22-34-43-51/53	0,01	4	1	4 / 0,144			
2,4,6-Tri-(dimethylaminomethyl)-phenol	0,9	22-36/38	k.A.	3	1	3 / 0,027			
1,2,4-Trimethylbenzol	0,9	10-20-36/37/38	2,527	3	1	3 / 0,027			
<b>Relö EP-Fliesenklebstoff</b>						<b>1,494</b>	<b>0,498</b>	<b>71,7</b>	<b>136,5</b>
Naphtha/Erdöl, Benzolgehalt <0,1%	10,0	22-45-65	k.A.	10	1	10 / 1			
Trisbutanonoximmethylsilan	10,0	36/38-43	k.A.	4	1	4 / 0,4			
<b>Silikon N</b>						<b>1,4</b>	<b>0,467</b>	<b>6,1</b>	<b>5,6</b>
Chromat	35·10 <sup>-4</sup>	36/38-43	k.A.	4	1	4 / 1,4·10 <sup>-4</sup>			
<b>Portlandzement (35 ppm Chromat)</b>						<b>1,4·10<sup>-4</sup></b>	<b>4,67·10<sup>-5</sup></b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>

<sup>72</sup> Als Gefahrstoffe, Schadstoffe, gefährliche Inhaltsstoffe bzw. gefährliche Stoffe werden in der vorliegenden Arbeit solche Stoffe definiert, die eines der Gefährlichkeitsmerkmale nach §3 Chemikaliengesetz besitzen (siehe Seite 54, Tabelle 13).