

# **Fensterwerkstoffe im Vergleich: Lebenszykluskosten und Ökobilanz im Wohnbau**

Eine Potenzialanalyse aus wirtschaftlicher  
und ökologischer Sicht

Wien, September 2015

DIE STUDIE  
ZUM DOWNLOAD UND  
ALS ONLINE-BLÄTTERKATALOG  
UNTER

[WWW.ALUFENSTER.AT/FENSTERSTUDIE2015](http://WWW.ALUFENSTER.AT/FENSTERSTUDIE2015)



## **Fensterwerkstoffe im Vergleich:**

### **Lebenszykluskosten und Ökobilanz im Wohnbau**

Eine Potenzialanalyse aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht

Wien, September 2015

ISBN 978-3-200-04440-1

Verfasser:

**DI Maria Popp**

bauXund forschung und beratung gmbh

Ungargasse 64-66/Stg.4/2.Stock

1030 Wien

[office@bauxund.at](mailto:office@bauxund.at)

[www.bauxund.at](http://www.bauxund.at)

**DI Linus Waltenberger**

M.O.O.CON GmbH

Wipplingerstraße 12/2

1010 Wien

[office@moo-con.com](mailto:office@moo-con.com)

[www.moo-con.com](http://www.moo-con.com)

Auftraggeber:

**Aluminium-Fenster-Institut**

Johnstraße 4

1150 Wien

[office@alufenster.at](mailto:office@alufenster.at)

[www.alufenster.at](http://www.alufenster.at)

In Kooperation mit:

**Arbeitsgemeinschaft der Hersteller von  
Metall-Fenster/Türen/Tore/Fassaden**

Wiedner Hauptstraße 63

1045 Wien

[amft@fmfi.at](mailto:amft@fmfi.at)

[www.amft.at](http://www.amft.at)



## Inhaltsübersicht

1	Einleitung.....	7
1.1	Kurzfassung .....	7
1.2	Problemstellung.....	8
1.3	Stand der Technik.....	9
1.3.1	Positionspapier ALU-FENSTER.....	9
1.3.2	Weitere Studien .....	10
1.3.3	Normen und Richtlinien.....	13
1.4	Lebensdauerdiskussion.....	14
1.5	Methodik .....	15
1.5.1	LZK Tool <sup>ÖKO</sup> .....	15
1.5.2	Methodik zur Betrachtung der Auswirkungen auf die Kosten .....	16
1.5.3	Methodik zur Betrachtung der Auswirkungen auf die Umwelt.....	17
1.6	Untersuchung Referenzobjekt.....	21
1.7	Rahmenbedingungen und Szenarien.....	22
1.7.1	Szenario 1: Langfristige Betrachtung.....	23
1.7.2	Szenario 2: Kurzfristige Betrachtung .....	23
1.7.3	Szenario 3: Fachliteratur-Mittelwerte .....	23
1.7.4	Darstellung der untersuchten Szenarien.....	24
1.8	Daten.....	25
1.8.1	Datenquellen Kosten.....	25
2	Evaluierung und Ergebnisse der Szenarien.....	27
2.1	Ergebnisdiskussion Kosten.....	27
2.1.1	Szenario 1: Langfristige Betrachtung.....	27
2.1.2	Szenario 2: Kurzfristige Betrachtung .....	28
2.1.3	Szenario 3: Fachliteratur-Mittelwerte .....	29
2.1.4	Zusammenfassung Lebenszykluskosten .....	30
3	Lebenszyklusanalyse (LCA) .....	31
3.1.1	Datenquellen Ökobilanz.....	31
3.1.2	Die gewählten Daten.....	32
3.1.3	Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen bei der Erstellung der EPDs .....	33
3.1.4	Anmerkungen zur Datengrundlage der Muster-EPDs des ift Rosenheim .....	36
3.1.5	Anwendbarkeit für Österreich.....	37
3.2	Ergebnisdiskussion LCA.....	39
3.2.1	Szenario 1: Langfristige Betrachtung.....	40
3.2.2	Szenario 2: Kurzfristige Betrachtung .....	41
3.2.3	Szenario 3: Fachliteratur-Mittelwerte .....	41

3.2.4	Die Verglasung .....	42
3.2.5	Zusammenfassung Ökobilanz .....	42
3.3	Ergebnis .....	44
3.4	Glossar .....	45
3.5	Daten .....	48
3.6	Literaturverzeichnis .....	53
3.7	Abbildungsverzeichnis .....	56
3.8	Tabellenverzeichnis .....	57
3.9	Werte zu Tabellen .....	58

# 1 Einleitung

## 1.1 Kurzfassung

In der vorliegenden Potenzialanalyse werden die Auswirkungen von Aluminium-, Holz-Aluminium-, Holz-, Kunststoff- und Kunststoff-Alufenstern auf die Kosten und die Ökobilanz von Wohngebäuden evaluiert.

Dabei liegt der Fokus in der vorliegenden Arbeit aber nicht wie meist üblich auf den Investitionskosten und den bei der Herstellung der Produkte entstehenden Umweltwirkungen, sondern es werden die gesamten finanziellen und ökobilanzbezogenen Auswirkungen verschiedener Fenstermaterialien innerhalb unterschiedlicher, für Wohngebäude kalkulatorisch interessanter Anwendungszeiträume betrachtet.

Da es sich bei transparenten Fassadenelementen auch immer um integrale Teile eines Gebäudes handelt und Entscheidungen immer hinsichtlich dessen getroffen werden sollten, werden in der vorliegenden Studie alle Berechnungen in den Kontext des Gesamtgebäudes gesetzt und als solche dargestellt und bewertet.

Im Rahmen der Untersuchung zeigt sich, dass die Betrachtung über einen längeren Zeitraum zu einer gänzlich anderen Beurteilung der Kosten führt, als die reine Beurteilung der Erstinvestition. Während etwa bei den Anschaffungskosten Kunststofffenster beinahe um den halben Preis von Aluminiumfenstern erhältlich sind, zeigt sich über einen Betrachtungszeitraum von sechzig Jahren, dass sich dieses Verhältnis am Ende umkehrt und eben diese Kunststofffenster fast doppelt so hohe Kosten verursachen wie die zunächst scheinbar teureren Aluminiumfenster.

Kostenseitig haben die während der Lebensdauer vorzunehmenden Wartungsarbeiten und vor allem die insgesamt, bis zu einem notwendigen Tausch der Elemente, zu erwartende Lebensdauer einen wesentlich größeren und im Endeffekt entscheidenden Einfluss auf die Gesamtkosten.

Die Lebensdauer ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Standort- und Wartungsbedingungen bei allen Fenstertypen großen Schwankungen unterworfen und daher nicht eindeutig festzulegen. Um die Sensibilität hinsichtlich der Auswirkungen unterschiedlicher Annahmen zu wecken, wurden in dieser Arbeit drei verschiedene Lebensdauerszenarien untersucht.

Letzten Endes sind bei einer längerfristigen Bewertung jene Fenster, die sich durch geringe Wartungsansprüche und eine gute Witterungsbeständigkeit auszeichnen, sowohl bei den Kosten als auch bei den hervorgerufenen Umweltwirkungen klar im Vorteil. Je länger der Betrachtungszeitraum gewählt wird, also je länger das Gebäude in Verwendung steht, desto deutlicher wird dieser Unterschied.

In Bezug auf die Ökobilanz zeigt sich, dass der Einfluss der Fensterelemente im Vergleich zum gesamten Gebäude, aufgrund des im Wohnbau eher niedrigen Flächenanteils der transparenten Fassadenelemente, nicht allzu groß ist. Die Wahl unterschiedlicher Rahmenmaterialien bewirkt hier nur Veränderungen der Auswirkungen im Zehntelprozentbereich, während die Wahl einer besseren wärmetechnischen Qualität der Fensterelemente oder einer anderen Energiequelle zur Abdeckung der Nutzenergie mehrere Prozentpunkte verändern kann.

Dennoch zeigen sich durch die Betrachtung der Ökobilanz der Elemente über ihren gesamten Lebenszyklus, also über die Phasen der Herstellung, der Nutzung, des Rückbaus unter Einbeziehung der im Rahmen der Entsorgung rückgewonnenen Recyclinggutschriften teilweise überraschende neue Perspektiven. So stellen sich jene Fenster, deren Grundmaterialien nach einer langen Lebensdauer einem hochwertigen stofflichen Recycling zugeführt werden können, wie das bei Aluminiumfenstern der Fall ist, in diesem Licht wesentlich besser dar, als Rahmenmaterialien, die zwar bei ihrer Herstellung durch einen zunächst geringeren Energiebedarf weniger umweltwirksam erscheinen, an ihrem Lebensende aber einer thermischen Verwertung zugeführt werden müssen wie etwa Holzfenster, oder im schlechtesten Fall als Problemstoff entsorgt werden müssen.

## 1.2 Problemstellung

Rahmenmaterialien für transparente Fassadenelemente sind auf Seiten der unterschiedlichen Hersteller- und Nutzerverbände im Wohnbau ein vielfach und teilweise sehr kontroversiell diskutiertes Thema. Immer wieder geht es dabei in erster Linie um Kosten, zunehmend aber auch um umweltbezogene Aspekte. Viele der in dieser Diskussion vorgebrachten Argumente beruhen jedoch nur auf Annahmen und nicht näher überprüften, vorgefassten Meinungen. Ausgegangen wird im Regelfall nur von den im Moment der Erstinvestition entstehenden finanziellen und umweltrelevanten Auswirkungen.

Dass bei Bauvorhaben die Investitionskosten nur einen Teil der über den Lebenszyklus einer Immobilie aufkommenden Gesamtkosten ausmachen, ist von Bauträgern bis Handwerkern jedem geläufig. Das Bewusstsein, im Sinne einer nachhaltigen Errichtung von Gebäuden auch die Folgekosten zu betrachten, steigt. Gerade im geförderten Wohnbau, der im politischen Diskurs oft um das „leistbare Wohnen“ steht, stellt sich die Frage: Ist jenes Gebäude, welches ich heute günstig baue auch das Gebäude, welches sich über die nächsten Jahrzehnte im Betrieb dem Gebäudeeigentümer und seinen Nutzern günstig und bedarfsgerecht präsentiert? In diesem Sinne werden bei umsichtigen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen die Lebenszykluskosten zur Beurteilung herangezogen.

Zunehmende Aufmerksamkeit bekommt die Thematik der Lebenszykluskostenbetrachtung im Hochbau vor allem auch dadurch, dass sie sich in allen gängigen nationalen und internationalen Zertifizierungssystemen wie ÖGNI/DGNB, ÖGNB/TQB, BREEAM oder LEED findet und dadurch Bauherren auf dem Gebiet der Vollkostenbetrachtung sensibilisiert werden. Weiters gibt es auch in der Politik Bestrebungen, Lebenszykluskostenbetrachtungen in öffentlichen Vergabeverfahren als wichtiges Kriterium einzuführen.

Es ist als sehr wahrscheinlich anzusehen, dass die Baubranche in Zukunft aufgrund von Marktdruck (steigende Nachfrage) beziehungsweise politischem Interesse (Normen, Verordnungen) eine intensive Auseinandersetzung mit Gebäudefolgekosten, und somit den Lebenszykluskosten führen wird. Baustoffe und Bauteilgruppen die bereits jetzt hinsichtlich ihres ökologischen und ökonomischen Lebenszyklus betrachtet und optimiert werden, werden einen kompetitiven Vorteil haben.

Ein vieldiskutierter Aspekt im Bereich des Wohnbaues sind die transparenten Fassadenelemente. An diese gibt es neben den engen ökonomischen Vorgaben auch hohe Anforderungen mechanischer und bauphysikalischer Natur und einen hohen Anspruch an ihre Dauerhaftigkeit.

Wie gut die unterschiedlichen im Wohnbau eingesetzten Rahmenmaterialien diesen Ansprüchen gerecht werden, wo die Vor- oder Nachteile der einzelnen Materialien sind, darüber gibt es zwar eine Menge Annahmen, aber derzeit wenig konkrete Berechnungen.

Aus Investitionskostengründen tendieren viele gemeinnützige Wohnbauträger, vor allem im sozialen Wohnbau mit einem bindenden Baukostendeckel, zu Kunststofffenstern. In anderen Bereichen des Wohnbaus kommen aber auch Holz-, Holz-Aluminium-, Aluminium- und Kunststoff-Aluminiumfenster zum Einsatz. Dabei spielen für Bauherren Überlegungen zu Wirtschaftlichkeit, Ökologie, Wartungsfreundlichkeit und Dauerhaftigkeit eine Rolle.

Jodl et al. haben mit dem „Positionspapier ALU-FENSTER“ (Jodl et al., 2010) untersucht, wie sich die unterschiedlichen Fenstermaterialien im direkten Vergleich zueinander im Lebenszyklus verhalten. In der vorliegenden Arbeit soll ebendieses Verhalten in ökonomischer und ökologischer Hinsicht im Kontext des Gesamtgebäudes untersucht werden.

Zur Bewertung der ökologischen Qualität wird auch in dieser Arbeit die Ökobilanz herangezogen, da diese im Baubereich als anerkannte, wenn auch nur einen Teilausschnitt beschreibende Methode gilt.



### 1.3 Stand der Technik

Gesamtheitliche Wirtschaftlichkeits- sowie Umweltbetrachtungen haben sich in vielen Branchen, die auf Basis von Massenfertigung arbeiten, schon seit längerem durchgesetzt. Im Hochbau sind Methoden wie Lebenszykluskostenberechnung und Ökobilanzierung zwar bekannt, werden aber noch nicht standardmäßig angewandt.

Auch in der zugehörigen Industrie und bei den Lieferanten im Baubereich sind diese Methoden noch nicht weit genug ins Bewusstsein getreten, als dass sich die einzelnen Hersteller mit Hilfe diesbezüglicher Analysen differenzieren und am Markt positionieren würden. Die Forschung beschränkt sich sehr oft auf rein technische Aspekte der Materialwissenschaften und der Produktionskosten. Nur wenige Branchen legen ihr Augenmerk auch heute schon auf die lebenszyklische Performance ihrer Produkte.

Gleichzeitig muss man sich auch den Grenzen der Aussagekraft von Lebenszykluskosten- und Ökobilanzberechnungen bewusst sein und darf diese nicht überinterpretieren. Beide hängen in hohem Maße vom Vorhandensein sowie der Transparenz und der Qualität von Daten ab. Hier, und dies zeigen auch die Literaturrecherchen zur vorliegenden Studie, ist die aktuelle Situation teilweise noch unbefriedigend. Oft sind Datengrundlagen von Ökobilanzen nicht schlüssig nachvollziehbar und die für die Beurteilung des lebenszyklischen Verhaltens von Fensterwerkstoffen extrem wichtige Nutzungsdauer wird in verschiedenen Studien mit großen Unterschieden definiert.

Das Aluminium-Fenster-Institut hat bereits im Jahr 2010 das „Positionspapier ALU-FENSTER“ (Jodl et al., 2010) herausgegeben, das sich grundlegend mit der Thematik auseinandersetzt und Bauherren, Architekten und Investoren eine Entscheidungshilfe gibt.

#### 1.3.1 Positionspapier ALU-FENSTER

Im Jahr 2010 wurden im Rahmen einer Arbeit des Instituts für Bauprozessmanagement (IBPM) der TU Wien in Zusammenarbeit mit der MA 39, der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien die Lebenszykluskosten und die Ökobilanzauswirkungen der Fensterrahmenwerkstoffe Aluminium, Holz-Aluminium, Holz und Kunststoff untersucht. (Jodl et al., 2010)

Bezüglich der Kosten kamen die Autoren zum Schluss, dass Aluminiumfenster im Wohnbau, über einen Betrachtungszeitraum von 60 Jahren, die wirtschaftlichsten Ergebnisse liefern.

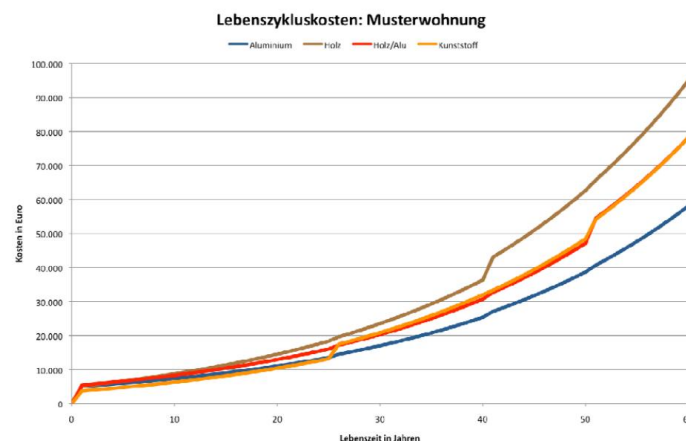


Abbildung 1: Lebenszykluskosten Musterwohnung: Vergleich der Rahmenwerkstoffe (Jodl et al., 2010)

Zur Beurteilung der Ökobilanz wurde in diesem Positionspapier der OI3-Index herangezogen.

Der OI3-Index ist ein in Österreich gängiger Ökobilanzindikator. Bei diesem werden das Treibhauspotenzial, das Versauerungspotenzial und der Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie, die zur Herstellung eines Produktes erforderlich sind, zu einem Einzahlwert, dem OI3-Index (Öko-Index 3) aggregiert.

Bei der Gegenüberstellung der OI3-Indizes von Fenstern mit unterschiedlichen Rahmenmaterialien anhand der Daten aus der baubook-Datenbank ergab sich, dass Aluminiumfenster in etwa gleich bzw. sogar etwas günstiger liegen als Holz-Aluminiumfenster und dass zu einem Holzrahmen, bedingt durch die Konzeption des Fensters, ein etwa 25-prozentiger Aufschlag vorliegt. Das Kunststofffenster schneidet mit Abstand am schlechtesten ab.

Rahmenwerkstoff	Uw	PEI n.e.	GWP 100	AP	OI3
	[W/m <sup>2</sup> K]	[MJ/m <sup>2</sup> ]	[kg/CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	[kgSO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ]	
Holzrahmen, geschäumt	0,898	966,6	28,5	0,34	46
Holzrahmen, natur	0,898	1040,3	4,4	0,39	51
Aluminium therm. getrennt	0,898	1235,0	29,8	0,43	68
Holz/Aluminium	0,898	1259,1	19,4	0,46	70
Kunststoff	0,898	2106,2	87,1	0,66	136

Tabelle 1: Zusammenstellung der OI3-Indizes von Fenstern verschiedener Rahmenwerkstoffe mit 3-Scheibenverglasung (Jodl et al., 2010)

Der Nachteil der Untersuchung der ökologischen Auswirkungen über den OI3-Index anderen Ökobilanzen gegenüber ist jener, dass einerseits nur die oben genannten drei, sehr Energie bezogenen, Umweltwirkungen betrachtet werden, und andererseits, wenn nur dieser angegeben ist, durch die Aggregation der Ergebnisse die Aussagen, in welcher Hinsicht sich ein Material besser oder schlechter als ein anderes verhält, nicht mehr ablesbar sind.

Weiters werden im OI3-Index, ebenso wie in den meisten anderen Ökobilanzbetrachtungen, nur die im Laufe der Herstellung bis zum Werkstor verursachten Auswirkungen beurteilt, während später entstehende Auswirkungen (positive und negative) gänzlich vernachlässigt werden.

In der vorliegenden Potenzialanalyse erfolgt keine Gewichtung der Umweltwirkungen, sondern es werden gemäß EN ISO 14044 (2006), nach der in vergleichenden Studien keine Gewichtung der Einzelkriterien erfolgen darf, Einzelbetrachtungen der Umweltwirkkategorien über alle Phasen im Lebenszyklus der Produkte durchgeführt.

### 1.3.2 Weitere Studien

Im Jahr 2002 haben Asif, Davidson und Muneer eine Vergleichsanalyse zu Fenstermaterialien publiziert. In Bezug auf Lebenszykluskosten haben die Autoren noch festgestellt:

*„There is no standard procedure to compare the capital cost of frames of different materials due to a number of factors including the quality and functionality of windows, brand names and marketing strategies such as, discounts and incentives.“*

*„Es gibt keinen standardisierten Prozess um die Lebenszykluskosten unterschiedlicher Fensterrahmenmaterialien zu vergleichen, da eine Vielzahl an Faktoren, wie Qualität, Funktionalität, Markennamen sowie Marketingmaßnahmen wie Nachlässe und Anreize zu berücksichtigen sind.“*  
(Asif et al., 2002)

Window (frame type)	Estimated service life			Characteristics
	Mean	Median	Inter- quartile range	
Aluminium	43.6	40	12.5	Low maintenance
PVC	24.1	22.5	15	Low maintenance, difficult to repair
Timber	39.6	35	16.3	High maintenance, easy to repair
Al-clad Timber	46.7	45	10	Low maintenance, easy to repair

Tabelle 2: Umfrageanalyse zu Nutzungsdauern von Fenstermaterialien, (Asif et al., 2002)

Die von Asif et al. angeführte Sekundärliteratur stammt überwiegend aus den 1990er Jahren. Dies weist auf die sehr dünne Datenverfügbarkeit hin.

Unter diesem Aspekt sind auch die Ergebnisse zur ökologischen Bewertung der Materialien zu sehen, welche vor über 10 Jahren natürlich noch ganz andere Grundlagen hatten und mittlerweile sowohl hinsichtlich der Produktionsprozesse als auch der Wiederverwertungsmöglichkeiten überholt sind.

Im Jahr 2005 haben Asif et al. in einer neuen Studie eine Nachhaltigkeitsanalyse von Fensterrahmenwerkstoffen veröffentlicht (Asif et al., 2005). Diese zeigt erneut die unterschiedlichen Umweltbelastungen verschiedener Fensterwerkstoffe auf.

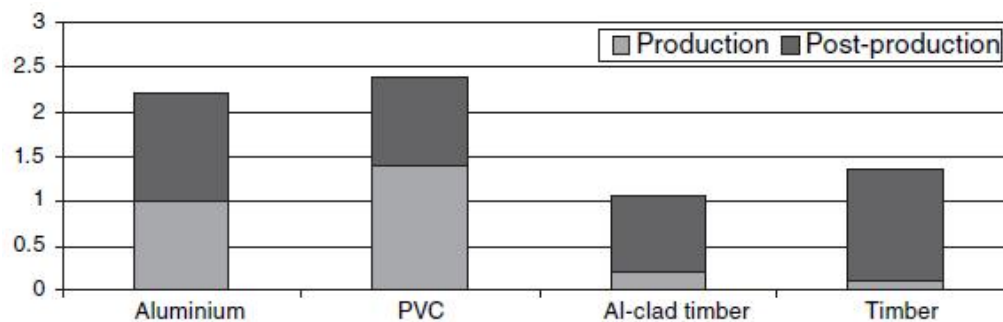


Abbildung 2: Photochemisches Ozonbildungspotenzial (POCP) für verschiedene Rahmenmaterialien [g.C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.a.Äq] (Asif et al., 2005)

*„Durability and service life of windows largely depend upon the quality of materials employed, exposed conditions and the degree of care taken.“*

*„Haltbarkeit und Nutzungsdauer von Fensterrahmen hängen zu einem großen Teil von der Qualität der eingesetzten Materialien, den Umweltbedingungen und der Wartung und Pflege ab.“ (Asif et al., 2005)*

In dieser Studie wird aber auch auf andere, in einer Lebenszyklusbetrachtung nicht abbildbare Faktoren hingewiesen. Die Lebensdauer eines Fensters hängt nämlich ganz wesentlich von der Qualität der eingesetzten Materialien, der Fertigung, dem Einbau, den Nutzungsbedingungen und der Häufigkeit und Qualität der Wartungsarbeiten ab. Diese sind sehr vom Gebäudeeigentümer und den Gebäudenutzern abhängig und können in einer Studie daher nur angenommen werden.

An der TU Darmstadt beschäftigte sich Frank Ritter ebenfalls damit, die Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen zu erforschen. Dabei ging es Ritter um die Modellierung und praxisnahe Prognose von Lebensdauern. Es stellt sich auch in den Literatur- und Umfragestudien von Ritter (Ritter, 2011) heraus, dass die Varianz der Daten zu Lebensdauern sehr hoch ist, und die in Umfragen erhobenen Lebensdauern, mit Ausnahme der Werte zum Aluminiumfenster, zum Teil deutlich unter den in der Literatur angegebenen Werten liegen.

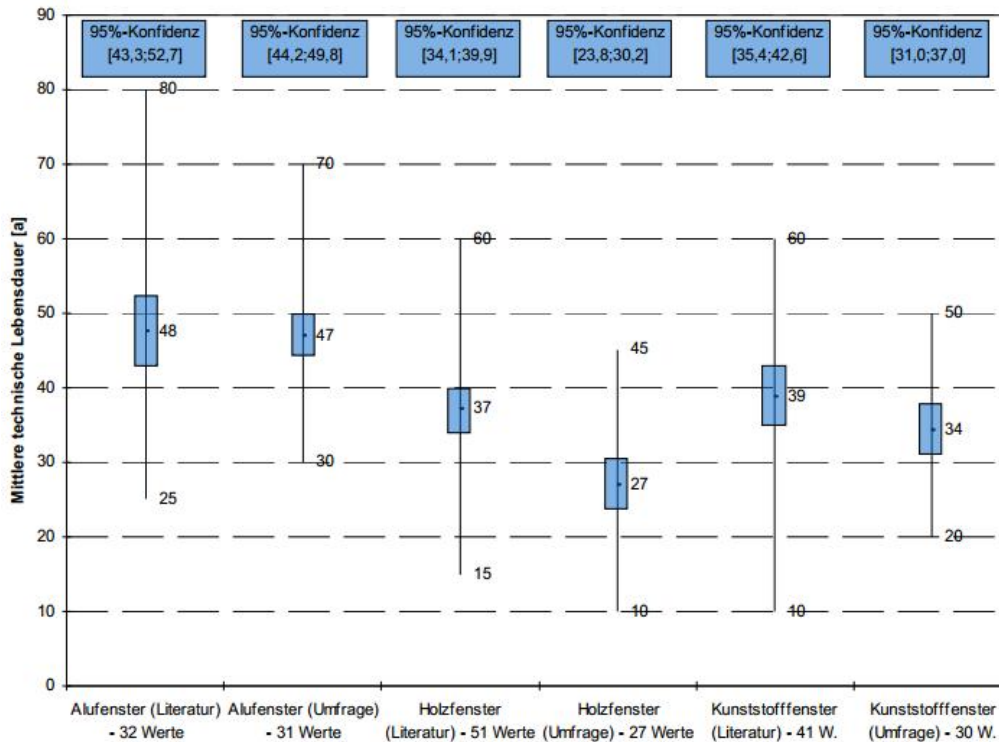


Abbildung 3: Vergleich der mittleren technischen Lebensdauer verschiedener Standardfenster laut Ritter, 2011

„Leider fehlen in der Norm sowohl definierte Referenzbedingungen als auch Angaben zu Referenzlebensdauern sowie notwendige Hilfen zur Quantifizierung der verschiedenen Einflüsse. Trotzdem wird in dieser Arbeit die Grundidee der Faktorenmethode, auf Basis von mittleren Lebensdauern eine objektspezifische Lebensdauer unter Berücksichtigung der vorhandenen Randbedingungen durch Zuschlags- und Abzugsfaktoren zu ermitteln, weiterverfolgt und als Basis des zu entwickelnden Modells verwendet.“ (Ritter, 2011)

### 1.3.3 Normen und Richtlinien

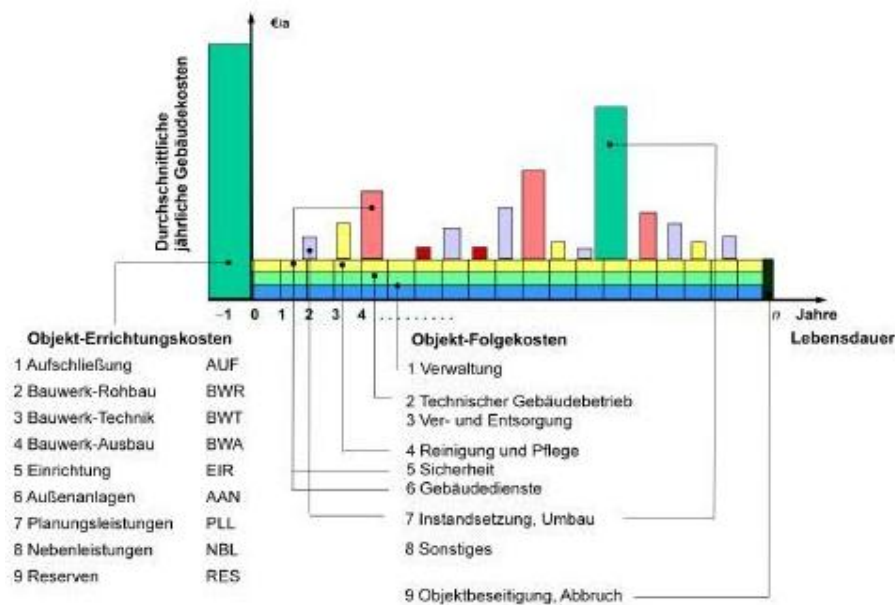


Abbildung 4: Schematische Darstellung: Definition von Lebenszykluskosten als Summe von Objekt-Errichtungskosten und Objekt-Folgekosten (ÖNORM B 1801-2, 2011)

#### Normen Lebenszykluskosten

Bei einer Lebenszykluskostenanalyse (LCCA) werden alle anfallenden Kosten für Herstellung, Gebäudebetrieb, Abbruch und Entsorgung auf einen definierten Zeithorizont bilanziert. In Österreich gibt es seit dem Jahr 2014 die ÖNORM B 1801-4 „Berechnung von Lebenszykluskosten“. Diese stellt eine standardisierte Methodik zur Berechnung von Lebenszykluskosten vor.

In Deutschland fehlt eine standardisierte Berechnungsmethodik, wenngleich die DIN 18960 „Nutzungskosten im Hochbau“ eine Definition von Lebenszykluskosten vorgibt.

#### Normen Ökobilanz

Die europäische Norm EN ISO 14040 (2009) „Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen“ klärt die Grundsätze und Rahmenbedingungen von Ökobilanzen und beschreibt diese wie folgt: Umweltaspekte und deren potenzielle Umweltwirkung von Rohstoffgewinnung, Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling und Beseitigung (ÖNORM EN ISO 14040, 2009).

Die europäische Norm EN ISO 14044 (2009) „Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen“ ist eine Zusammenfassung der bisherigen ISO-Normen 14041 bis 14043 und umfasst die folgenden Elemente:

- Definition von Ziel und Untersuchungsrahmen (Umfang), ISO 14040
- Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen
- Sachbilanz (ehem. ISO 14041)
- Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz
- Wirkungsabschätzung (ehem. ISO 14042)
- Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung
- Auswertung (ehem. ISO 14043)
- Umweltmanagement – Ökobilanz – Auswertung

Ziel dieser Revision der Normenreihe war eine Vereinfachung durch Zusammenfassung und dadurch eine verbesserte Lesbarkeit. Die Inhalte blieben weitgehend unverändert.

In der ÖNORM EN 15804 (2012) „Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte“ werden grundlegende Produktkategorieregeln (Product Category Rules, PCR) für Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPDs) für Bauprodukte und Bauleistungen aller Art festgelegt.

Diese definieren die zu deklarierenden Parameter und die Art, wie sie auf Vollständigkeit überprüft und kommuniziert werden, beschreiben, welche Stadien des Lebenszyklus eines Produktes in der EPD berücksichtigt werden und welche Prozesse in die Stadien des Lebenszyklus einzubeziehen sind. Sie definieren die Regeln für die Entwicklung von Szenarien, beinhalten die Regeln zur Berechnung der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung die einer EPD unterliegen, einschließlich der Festlegung der zu verwendenden Datenqualität. Sie beinhalten außerdem die Regeln für die Kommunikation vordefinierter Umwelt- und Gesundheitsinformationen, die für ein Bauprodukt, einen Bauprozess oder eine Bauleistung nicht von einer Ökobilanz (LCA) abgedeckt sind.

Die zur Verwendung kommenden Ökobilanzen wurden gemäß den oben genannten Normen erstellt.

#### **1.4 Lebensdauerdiskussion**

Ein weiterer wichtiger Faktor zur lebenszyklischen Beurteilung eines Produktes ist seine Lebensdauer. Je länger ein Produkt seine Funktion erfüllt und je weniger Wartung in diesem Zeitraum zur Erhaltung dieser Funktion notwendig ist, desto besser ist das Produkt zu beurteilen.

Im Rahmen einer lebenszyklischen Betrachtung werden die Aufwände, die ein Produkt über einen festgelegten Zeitraum hervorruft, summiert und dann auf die angenommene Lebensdauer umgelegt. Ist die Lebensdauer länger, können die verursachten Kosten und Umweltwirkungen auf einen größeren Zeitraum verteilt werden und fallen dementsprechend, auf die Zeiteinheit betrachtet, niedriger aus.

Die Lebensdauer von transparenten Fassadenelementen ist von vielen Faktoren abhängig und daher nicht einfach festzulegen. Außer den unterschiedlichen Rahmenmaterialien hat auch Einfluss, inwieweit das Element der Witterung (Temperaturschwankungen, Niederschlag, UV-Strahlung) ausgesetzt ist, wie gut das Element gepflegt und gewartet wird und ab welchem Zeitpunkt das Element als nicht mehr funktional angesehen wird. Oft ist die wirtschaftlich kalkulierte Lebensdauer am Ende der technischen Lebensdauer noch nicht erreicht.

Im Rahmen dieser Arbeit wird von der möglichen Lebensdauer ausgegangen. Richtiger wäre eine Betrachtung der tatsächlichen Nutzungsdauer, die etwa bei einem Tausch vor Erreichung der möglichen Lebensdauer wesentlich kürzer sein kann. Das würde bedeuten, dass die Kosten und Umweltwirkungen auf einen kürzeren Zeitraum aufgeteilt würden und den Preis und die Umweltwirkungen pro Jahr erhöhen würden. Da die tatsächliche Nutzungsdauer aber sehr individuell und nicht vorher absehbar ist, wurden die durchschnittlich möglichen Lebensdauerangaben in einer umfangreichen Literaturrecherche erhoben. Im Zuge der gegenständlichen Arbeit wird auch gezeigt, welche Auswirkungen unterschiedliche Lebensdauerannahmen auf die Berechnung der Kosten und Umweltwirkungen haben.

Die Daten bzgl. Lebensdauer und Erneuerungszyklen weisen auch in der Literatur innerhalb derselben Rahmenwerkstoffe eine hohe Varianz auf.

Erneuerung	Quelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-	Alu	50	35-54		45	60	40-60	40-60	40	60	44	54
-	Holz/Alu	50		30-50	60	50				60	47	
1	Holz					40	30-40	30-50		40-50	40	39
1	Kunststoff/Alu	50		20-40	45							
1	Kunststoff	40	30-41	20-30	45	25	40-50	40-60	35	40-50	24	38

LD... Lebensdauer in Jahren

#### Quellen:

[1] BMVBS, Deutsches Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011  
 [2] BTE, Bautechnische Experten Hessen, 2008  
 [3] HV SV, Hauptverband Sachverständiger Kärnten & Steiermark, 2008  
 [4] ÖNORM B 8110-4:2011  
 [5] Jodl et al, TU Wien, 2010

[6] Josef Reis Sachverständiger, 2009  
 [7] Swissbau Sachverständiger, 2009  
 [8] Nutzungsdauer Wohngebäude, M. Pfeiffer et al, 2010  
 [9] CRTIB, Bauplattform Luxembourg, 2008  
 [10] Asif et al, Napier University, 2005  
 [11] Ritter et al, TU Darmstadt, 2011

Tabelle 3: Lebensdauer unterschiedlicher Rahmenmaterialtypen, Ergebnisse der Literaturrecherche

Inwiefern aber etwa eine technisch mögliche Lebensdauer von 60 Jahren auch als realistische Nutzungsdauer angenommen werden kann, kann aufgrund von sich wandelnden Anforderungen an transparente Fassadenelemente nicht beurteilt werden.

Jeder Wartungs- und Erneuerungsbedarf verursacht materielle und temporäre Aufwände. Beurteilt werden in der Betrachtung der Lebenszykluskosten aber nur die finanziellen Aufwände, die unmittelbar mit der Wartung und/oder dem Tausch verbunden sind, nicht aber jene, die aus dem notwendigen organisatorischen Aufwand entstehen. Der Aufwand, den etwa die Hausverwaltung hat, um zu allen Wohneinheiten zwecks Fensterwartung Zutritt zu erhalten, die Vorbereitungsmaßnahmen und ev. erforderliche mehrmalige Anreisen und Baustelleneinrichtungen werden nicht abgebildet, spielen in der Realität aber eine wesentliche Rolle.

Es wird auch nicht berücksichtigt, dass jede Wartungsarbeit (wie etwa das Streichen der Fenster) das Risiko von unsachgemäßer, den Bestand schädigender Wirkung birgt. Auch Fenstertauscharbeiten tragen ein großes Potenzial von Mehraufwänden durch die bestehende Substanz und das bestehende bauphysikalische System schädigenden Wiedereinbau in sich. Alle daraus entstehenden Kosten sind in den Lebenszykluskosten nicht enthalten. Eine Berücksichtigung dieser Kosten würde bedeuten, dass sich sowohl ein erhöhter Wartungsaufwand als auch ein öfter durchzuführender Fenstertausch noch schlechter zu Buche schlagen würden.

## 1.5 Methodik

### 1.5.1 LZK Tool<sup>ÖKO</sup>

Die Berechnungen der Lebenszykluskosten und der Umweltwirkungen erfolgte mit dem LZK Tool<sup>ÖKO</sup>, das von den Unternehmen M.O.O.CON GmbH, e7 Energie Markt Analyse GmbH und bauXund forschung und beratung gmbh gemeinsam entwickelt wurde. Der Vorteil einer Berechnung mit diesem Tool liegt darin, dass mit geringem Eingabeaufwand sehr schnell und doch sehr individuell mehrere Varianten von Zukunftsszenarien berechnet werden können.

Möglich wird dies durch die seit dem Jahr 2009 aufgebaute Datenbank im LZK Tool<sup>ÖKO</sup>. Die kombinierten Kosten- und Umweltdaten von Rohbau, Technik und Ausbauelementen befinden sich in einer Datenbank mit circa 1.300 Planungselementen. Die Kostendaten stammen aus dem gemeinsamen Forschungsprojekt LZK Tool (Herzog & Friedl, 2010) mit Kostenangaben der Firmen Porr, Cofely und Allplan. Die Umweltdaten wurden im Rahmen des COIN-Forschungsprojekts EarlyLCA ergänzt und stammen aus der ökobau.dat, der baubook-Datenbank und zur Verfügung stehenden EPDs. Die Datenbank wird ständig durch abgerechnete Projekte und aktualisierte Datensätze gewartet.



Für die Kostendaten der unterschiedlichen Fensterkonstruktionen wurden zusätzlich Daten aus österreichischen Hochbau-Projekten eingeholt und diese durch Studienergebnisse ergänzt.

### 1.5.2 Methodik zur Betrachtung der Auswirkungen auf die Kosten

Für die Lebenszykluskostenberechnung wird im Zuge dieser Arbeit die Barwertmethode herangezogen. Dynamische Rechenverfahren sind bei Wirtschaftlichkeitsberechnung Stand der Technik und berücksichtigen Preissteigerungen (Inflation, Baukostenindex u.a.) und die Variable Zeit mit Hilfe eines Diskontzinssatzes (Berk & DeMarzo, 2007).

Abschreibungen und Finanzierungskosten werden nicht berücksichtigt (ÖNORM B 1801-4, 2014). Somit werden im Zuge einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung Zahlungsflüsse, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, auf einen Zeitpunkt auf- oder abgezinst und somit vergleichbar gemacht. Zahlungsflüsse (Cashflow) entlang des Lebenszyklus werden mit dem sogenannten Diskontzinssatz rückgerechnet. Je weiter ein Ertrag oder Kostenpunkt in der Zukunft liegt, desto niedriger ist, dem Diskontsatz entsprechend, sein Barwert. Um also die Overall-Performance einer Investition zu bewerten, wird der gesamte Cashflow mit der entsprechenden Diskontrate diskontiert, und anschließend summiert. Dies nennt man Kapitalwert oder NPV, englisch für net present value (Ellingham & Fawcett, 2006).

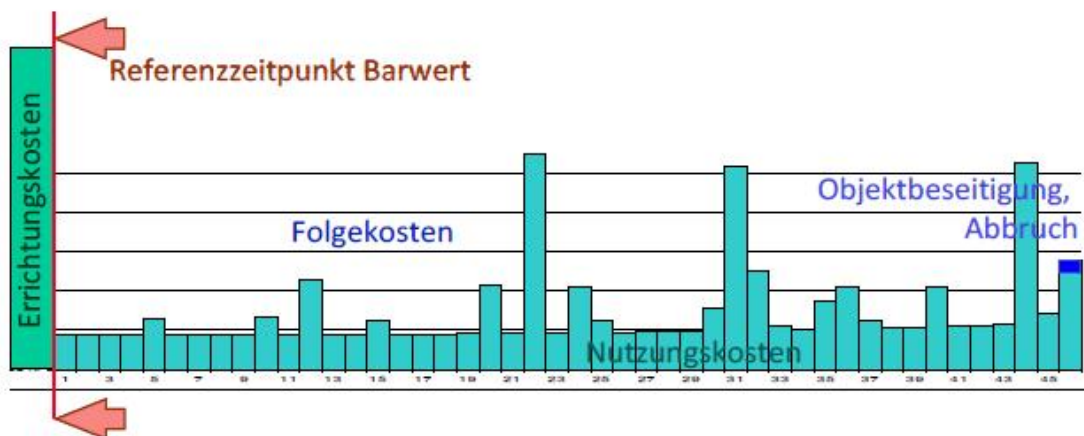


Abbildung 5: Lebenszykluskosten als Kapitalfluss (ÖNORM B 1801-4, 2014)

Wird nun die Kapitalwertmethode verwendet, um die Lebenszykluskosten bei einem Bauprojekt zu beschreiben, das sich aus Investitionskosten (I), Betriebskosten (U) und Abbruchkosten (A) mit dem Zinssatz (i) zusammensetzt, erhält man folgende Formel (Heitel et al., 2008):

$$LZK = I + \sum_{t=0}^n \frac{U_t}{(1+i)^t} + \frac{A}{(1+i)^n}$$

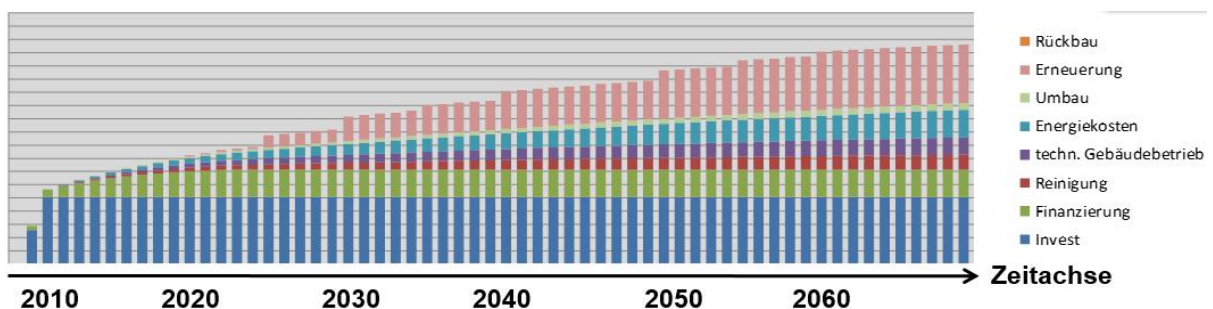


Abbildung 6: Kumulierte Barwerte über den Lebenszyklus eines Wohnbaus nach Kostenart, Schemadarstellung



## Einfluss des Diskontzinssatzes

Bei der DCF (Discounted Cash Flow) Methode wird versucht, ein vereinfachtes Modell für einen in der Realität sehr komplexen Vorgang, der sich über einen langen Zeitraum erstreckt, zu erstellen. DCF scheint trotz oder vielleicht gerade wegen seiner eleganten Vereinfachung ein hilfreiches Werkzeug bei der Evaluierung von Bauprojekten zu sein. Und gerade weil über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks sehr viele Parameter eine wichtige Rolle spielen, muss hier erwähnt werden, dass der Schlüssel zu einem brauchbaren Ergebnis folgende zwei Faktoren sind: gute Daten für den Cash Flow und die Wahl eines realistischen Diskontsatzes.

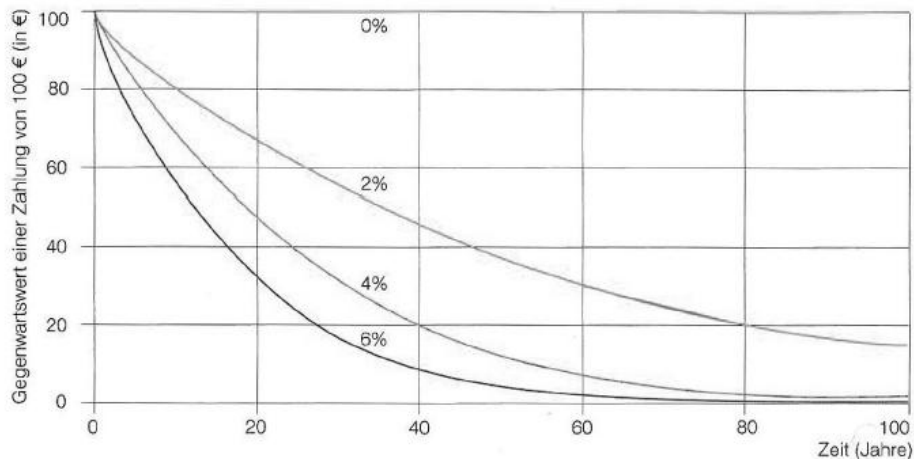


Abbildung 7: Auswirkungen der Wahl des Diskontierungszinssatzes auf den Barwert (König, Köhler & Lützkendorf, 2009)

In der vorliegenden Studie wurde ein Diskontzinssatz von 3 % gewählt. Dies ist im Vergleich zu anderen Autoren wie etwa Flögl (Flögl et al., 2009), welcher oft die Sekundärmarktrendite als Diskontzinssatz heranzieht, ein höherer Zinssatz. Im Sinne der unternehmerischen Tätigkeit mit Einbezug von Zeitpräferenz handelt es sich aber um einen durchaus gängigen Diskontzinssatz. Für die vorliegende Studie wurde er so gewählt, weil diese 3,0 % bei der Gebäudebewertung nach DGNB/ÖGNI die Standardannahme bei der Berechnung von Lebenszykluskosten ist und somit die Vergleichbarkeit zu bestehenden Beispielen steigt.

### 1.5.3 Methodik zur Betrachtung der Auswirkungen auf die Umwelt

National und international gibt es Bestrebungen, den Primärenergieverbrauch einzudämmen und die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren.

Für die Bewertung dieser Kategorien hat sich in den letzten Jahren auch am Bausektor die Arbeit mit Ökobilanzen durchgesetzt. In diesen werden alle jene Umweltwirkungen berechnet, die in einem sinnvoll festgelegten Betrachtungszeitraum durch Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes wie etwa auch einem Gebäude üblicherweise entstehen.

Daher wird auch im Rahmen der gängigen Nachhaltigkeitszertifikate die Qualität von Gebäuden und Bauelementen anhand von Ökobilanzen beurteilt. Hier werden üblicherweise die Wirkkategorien Treibhauspotenzial (GWP), Ozonbildungspotenzial (POCP), Ozonerstörungspotenzial (ODP), Versauerungspotenzial (AP), Überdüngungspotenzial (EP) und der Bedarf an erneuerbarer bzw. nicht erneuerbarer Primärenergie ( $PE_e$  und  $PE_{ne}$ ) quantifiziert und bewertet.

## Was ist eine Ökobilanz?

Eine Ökobilanz (auch bekannt als Life Cycle Assessment, LCA, deutsch Lebenszyklusanalyse) ist eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges („from cradle to grave“, „von der Wiege bis zur Bahre“) oder bis zu einem bestimmten Zeitpunkt der Verarbeitung („from cradle to factory gate“, „von der Wiege bis zum Fabrikator“), bezogen auf eine festgelegte Funktionseinheit.

Zur Analyse gehören sämtliche Umweltwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produktes, sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z.B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe). Zu den Umweltwirkungen zählt man sämtliche relevanten Entnahmen aus der Umwelt (z.B. Erze, Rohöl) sowie die Emissionen in die Umwelt (z.B. Abfälle, Kohlendioxidemissionen).

Da jedoch bereits in der Normung festgestellt wird, dass zur Erstellung von Ökobilanzen mehrere Methoden zulässig sind und Organisationen in Abhängigkeit von vorgesehenen Anwendungen und Bedürfnissen diese flexibel implementieren können, ist es nicht weiter verwunderlich, dass für ein und dasselbe Produkt je nach Berechnungsmethode Eingangsdaten und festgelegten Rahmenbedingungen unterschiedliche Ökobilanzergebnisse vorliegen können.

Die Datengrundlage für Ökobilanzen im Rahmen von ökologischen Gebäudebewertungen nach EN 15978 „Nachhaltigkeit von Bauwerken - Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden“ bilden Umweltproduktdeklarationen (Environmental Product Declarations, EPDs) für die einzelnen Bauteile/-materialien, welche wie Bausteine in einem Baukastensystem aneinandergesetzt werden.

Eine EPD beruht auf unabhängig überprüften Daten aus Ökobilanzen, aus Sachbilanzen oder Informationsmodulen, welche mit der Normenreihe ISO 14040 konform sind, und enthält ggf. weitere Angaben. Das Institut Bauen und Umwelt e.V. und das Institut für Fenstertechnik in Rosenheim sind öffentlich anerkannte Programmbetreiber in Deutschland, welche EPDs für den Bausektor erstellen und veröffentlichen.

Da die Ökobilanz den Kern der Umweltproduktdeklaration darstellt, müssen in einer EPD in jedem Fall

- die Sachbilanz (LCI = Life Cycle Inventory Analysis)
- die Wirkungsabschätzung (LCIA = Life Cycle Impact Assessment, sofern durchgeführt)
- sowie weitere Indikatoren (z.B. zu Art und Menge des produzierten Abfalls)

enthalten sein.

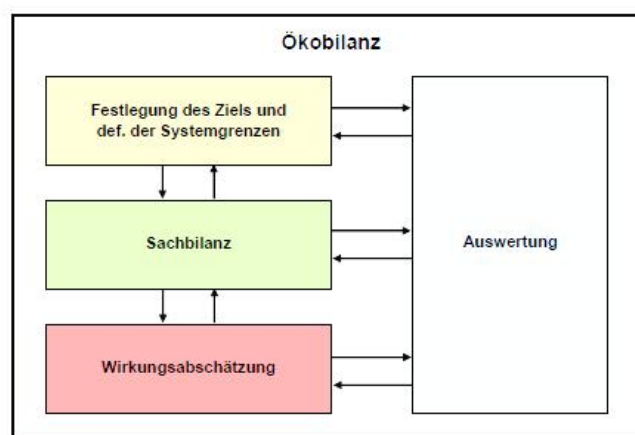


Abbildung 8: Darstellung Rahmen einer Ökobilanz nach EN ISO 14040

Die Sachbilanz enthält dabei die Angaben zum Ressourcenverbrauch, z.B. die Menge an verbrauchter Energie, Wasser und erneuerbaren Ressourcen sowie die Emissionen in Luft, Wasser und Boden.

Die Wirkungsabschätzung gibt aufbauend auf den Ergebnissen der Sachbilanz die konkreten Umweltauswirkungen an.

Diese sind in jedem Fall die Auswirkungen auf:

- den Treibhauseffekt (Global Warming Potential, GWP)
- die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht (Ozone Depletion Potential, ODP)
- die Versauerung von Wasser und Boden (Acidification Potential, AP)
- die Eutrophierung (Eutrophication Potential, EP)
- die Bildung von photochemischen Oxidantien (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)
- die Erschöpfung nicht erneuerbarer Energieressourcen (Primary Energy, PE<sub>ne</sub>)
- der Verbrauch erneuerbarer Energieressourcen (Primary Energy, PE<sub>e</sub>)

Zusätzlich können weitere Angaben zu Umweltthemen wie etwa zu Gefahren und Risiken für die menschliche Gesundheit und/oder Daten zu Verwendung, Lebensdauer, Funktion und Leistungsfähigkeit eines Produkts angegeben werden.

EPDs liefern eine systematische und standardisierte Datengrundlage, um im "Baukastensystem" aus Deklarationen einzelner Bauprodukte eine ökologische Bewertung eines Bauwerks zu erstellen.

Bei einer lebenszyklischen Betrachtung wird die gesamte Lebensdauer des Gebäudes, die Bauphase, die Nutzungsphase mit möglichen Umnutzungen und Erneuerungen sowie der Abriss und die Entsorgung (Endlagerung oder Wiederverwertung) berücksichtigt. Es kann der Beitrag der einzelnen Bauelemente zu unterschiedlichen Aspekten nachhaltiger Bewirtschaftung eines Gebäudes dargestellt werden. Nur durch diese Art der Betrachtung können Werkstoffe gesamtheitlich beurteilt und auch hinsichtlich ihrer Wiederverwertbarkeit optimiert werden.

Die Umweltwirkungen werden dann innerhalb des Lebenszyklus eines Produktes den einzelnen Phasen ihrem Aufkommen nach zugeordnet.

A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1
Rohstoffgewinnung	Transport	Herstellung	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Renovierung, Sanierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau	Transport	Recycling	Entsorgung/Endlagerung	Wiederverwendung, Wiederaufbereitung, Recyclingpotenzial
<b>Herstellungsphase</b>			<b>Nutzungsphase</b>							<b>Nachnutzungsphase</b>				<b>Recycling</b>

Abbildung 9: Lebenszyklusphasen gem. ÖNORM EN 15804

Nicht alle in einer EPD deklarierten Wirkkategorien im Baubereich sind tatsächlich von wesentlicher Bedeutung, da sie bei Gebäuden entweder nur in unbedeutenden Mengen auftreten oder durch die Wahl unterschiedlicher Materialien kaum zu beeinflussen sind. Daher konzentrieren sich die Vergleiche in der vorliegenden Studie auf die Wirkkategorien:

- Treibhauspotenzial (GWP)
- Versauerungspotenzial (von Wasser und Boden, AP)
- Potenzial zur Bildung von photochemischen Oxidantien (POCP)
- Primärenergieverbrauch (PE)

## **Grenzen der Ökobilanz**

Über die Betrachtung der Ökobilanz werden aber nur die jeweils festgelegten (üblicherweise die oben genannten), keinesfalls aber alle umweltrelevanten Themen abgedeckt.

So enthält eine Ökobilanz üblicherweise keine Angaben etwa zum Land- oder Wasserverbrauch oder zur Zerstörung von Ökosystemen.

Aber auch Angaben zur Human- und/oder Ökotoxikologie eines Produktes im Zuge seines Herstellungs-, Nutzungs- und/oder Entsorgungsprozesses oder im Zuge von Ausnahmegeschehnissen wie etwa im Brand- oder Wasserschadensfall werden über eine Ökobilanz nicht abgebildet. Unbeantwortet bleibt in der Ökobilanz auch die Frage über die Abbaubarkeit von Materialien oder die Anreicherung in der Umwelt.

Auch die Gegenüberstellung der Rahmenmaterialien in dieser Arbeit erfolgt nur hinsichtlich der oben angeführten Ökobilanzen und ist damit keine umfassende Bewertung oder Beurteilung der generellen Nachhaltigkeit der Produkte bzw. Werkstoffe.

## 1.6 Untersuchung Referenzobjekt

Um die Größenordnung der Auswirkungen der transparenten Fassadenelemente im Wohnbau sehen zu können und eine Sensibilität für ihren Einfluss auf das gesamte Gebäude entwickeln zu können, wurde ein Referenzobjekt gewählt, anhand dessen alle Untersuchungen durchgeführt wurden.

Als Referenzobjekt für die Studie wurde ein dem aktuellen Standard entsprechender, für Österreich typischer Wohnbau herangezogen. Dieses Gebäude diente als Grundlage für den Aufbau des Lebenszyklusmodells, anhand dessen die Auswirkungen von unterschiedlichen Fensterwerkstoffen im Lebenszyklus untersucht wurden.



Abbildung 10: Referenzobjekt als Grundlage für Modellbildung

Der vierstöckige Wohnbau im Energiestandard „Niedrigenergiehaus“ besitzt 28 Wohneinheiten, welche über zwei zentrale Treppenhauskerne erschlossen werden. Die Ausrichtung des länglichen Baukörpers ist nord-süd und bietet jeder Wohnung Fensterflächen mit Balkonzugang und Balkontüre.

Eckdaten Referenzobjekt:

- 2.257 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche
- 28 Wohneinheiten
- 5.030 m<sup>2</sup> Bruttogrundfläche inkl. Garage
- 25 % Fensterflächenanteil der Fassade (weniger als 0,1 % Massenanteil am Gebäude)
- 0,16 W/m<sup>2</sup>K Außenwand opak U-Wert
- <1,20 W/m<sup>2</sup>K Fenster U-Wert
- Massivbau mit Vollwärmeschutzfassade

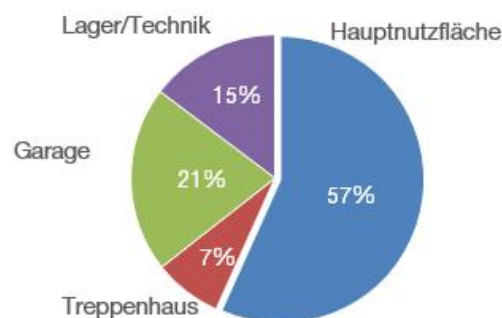


Abbildung 11: Flächenverteilung Referenzobjekt, als Hauptnutzfläche wird die Wohnfläche verstanden.

Die Gebäudedaten, die den Planungsunterlagen und der vorliegenden Energieausweisberechnung gem. OIB RL 6 für ein Wohngebäude in Niederösterreich entnommen wurden, wurden in das LZK Tool<sup>ÖKO</sup> gespeist, um in weiterer Folge ein Modell für die Lebenszykluskosten- und Ökobilanzauswertung zu erstellen. Die auf Basis der LZK-Datenbank berechneten Baukosten des LZK-Modells konnten in einem ersten Schritt mit Hilfe von Realdaten fein-kalibriert werden. Zusätzlich

wurde das Modell hinsichtlich Massen und Baukosten unter Einsatz von Benchmarkingberichten wie dem BKI Fachbuch für statistische Kostenkennwerte plausibilisiert. (BKI, 2013)

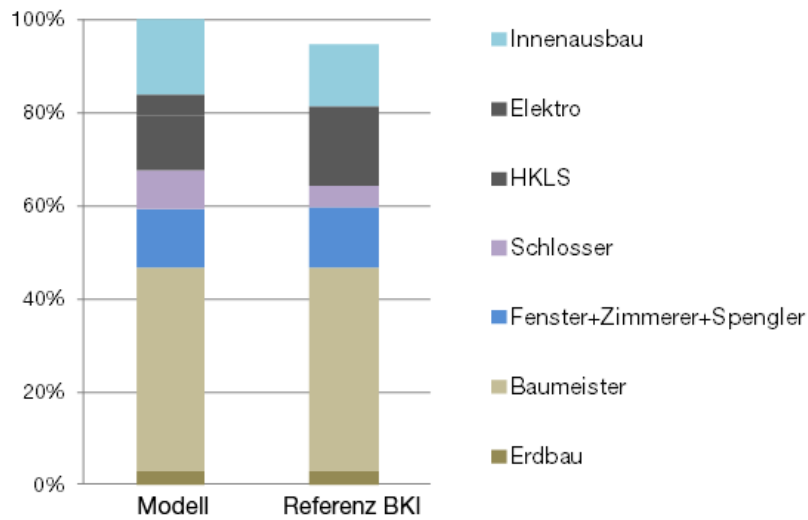


Abbildung 12: Plausibilisieren des kalibrierten LZK-Tool<sup>öko</sup> Modells mit Kennwertkatalog BKI (BKI, 2013)

## 1.7 Rahmenbedingungen und Szenarien

Wie bereits ausgeführt und auch in bisherigen Studien und Positionspapieren erläutert, ist die Wahl der Berechnungsmethodik, der Rahmenbedingungen und des Datenmaterials eine sehr sensible Thematik.

Im Zuge dieser Arbeit sollen unterschiedliche Berechnungsansätze untersucht werden, um so die jeweiligen Aussagen miteinander vergleichen zu können und ein möglichst objektives Gesamtbild zum Wirkpotenzial unterschiedlicher Rahmenmaterialien zu erhalten.

Um die Vergleichbarkeit innerhalb der drei nachfolgend beschriebenen Szenarien zu gewährleisten, werden folgende Rahmenbedingungen hinsichtlich Lebenszykluskostenberechnung und Ökobilanzierung vereinheitlicht:

- Anwendung der Kapitalwertmethode
- Festsetzen der Preissteigerungen:
 

Inflation:	2,0 %
Baukostenindex:	2,7 %
Energiekostenindex:	4,0 %
Diskontzinssatz:	3,0 %

Betrachtungszeitraum und Lebensdauern werden in den unterschiedlichen Szenarien variiert.

Die Fenstermontage wird aufgrund möglicher Unterschiede in der Ausführungsqualität (zB durch Verwendung eines Blindstocks) in der Analyse nicht berücksichtigt und ist daher auch kostenmäßig nicht erfasst.

### 1.7.1 Szenario 1: Langfristige Betrachtung

Die erste der untersuchten Varianten greift auf die im „Positionspapier ALU-FENSTER“ (Jodl et al., 2010) ermittelten Daten zurück. Hier wird von einer rechnerischen Lebensdauer von 60 Jahren für Aluminiumfenster ausgegangen, Holz- bzw. Holz-Aluminiumfenster werden in diesem Szenario nach 40 Jahren getauscht, Kunststoff- und Kunststoff-Alufenster nach jeweils 25 Jahren.

Fenster mit einer Lebensdauer länger als 25 Jahre erfahren nach 25 Jahren eine Erneuerung sämtlicher Dichtungen und nach 40 Jahren werden in diesem Szenario bei Fenstern mit längerer Lebensdauer die Griffe und Beschläge erneuert.

Der Betrachtungszeitraum wird in diesem Szenario mit 60 Jahren angesetzt.

Es werden daher innerhalb des Betrachtungszeitraums die Holz- und Holz-Aluminiumfenster einmal komplett erneuert (das bedeutet eine zweimalige Neuanschaffung und Entsorgung) die Kunststoff- und Kunststoff-Alufenster im selben Zeitraum zweimal (dreimalige Neuanschaffung und Entsorgung) während die Aluminiumfenster nur einmal eingesetzt werden müssen.

Die Wartungskosten für Aluminiumfenster wurden äquivalent zu den Wartungskosten laut „Positionspapier ALU-FENSTER“ (Jodl et al., 2010) festgesetzt. Die Wartungskosten der restlichen Fensterkonstruktionen sind Tabelle 4 zu entnehmen.

### 1.7.2 Szenario 2: Kurzfristige Betrachtung

Das zweite untersuchte Szenario stellt die Lebenszykluspotenziale der Rahmenmaterialien über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren gegenüber. Dabei gilt darüber hinaus die Annahme, dass kein Fenster innerhalb des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren erneuert wird.

Dieses Szenario beschreibt eine mangelhafte Instandhaltungsstrategie, welche im Wohnbau auch zu beobachten ist: dabei werden neben regelmäßigen Wartungen keine weiteren Instandsetzungsmaßnahmen bei Fenstern getätigt. Selbst bei technischer Notwendigkeit werden Erneuerungszyklen hinausgezögert. Das Nicht-Instandhalten bzw. das Nicht-Beachten entsprechender Vorgaben kann im Fall von Schäden auch rechtliche Folgen für den Besitzer oder Betreiber haben.

Teilerneuerungen werden in diesem Szenario, auf Grund des Ansatzes einer mangelhaften Instandhaltungsstrategie, nicht betrachtet.

### 1.7.3 Szenario 3: Fachliteratur-Mittelwerte

In der dritten Variante wurde von den Verfassern der Studie in einer umfangreichen Literaturrecherche versucht, eine als wahrscheinlich anzunehmende Lebensdauer für jedes der verschiedenen Rahmenmaterialien zu identifizieren.

Wie Abbildung 13 zeigt, liegen die Angaben zu den einzelnen Materialien teilweise weit auseinander. Dennoch lassen sich in der Grafik Tendenzen ablesen.

So gibt es zu manchen Werkstoffen wie etwa Aluminium viele Angaben, die sich darüber hinaus auch alle innerhalb einer relativ schmalen Bandbreite bewegen. Zum Kunststoff-Aluminiumfenster hingegen gibt es beispielsweise, vermutlich aufgrund der erst kurzzeitigen Verfügbarkeit, nur wenige Angaben, die zudem noch nicht wirklich gesichert sein können, während beim Kunststofffenster wiederum die starke Divergenz der Angaben je nach Quelle auffällt.



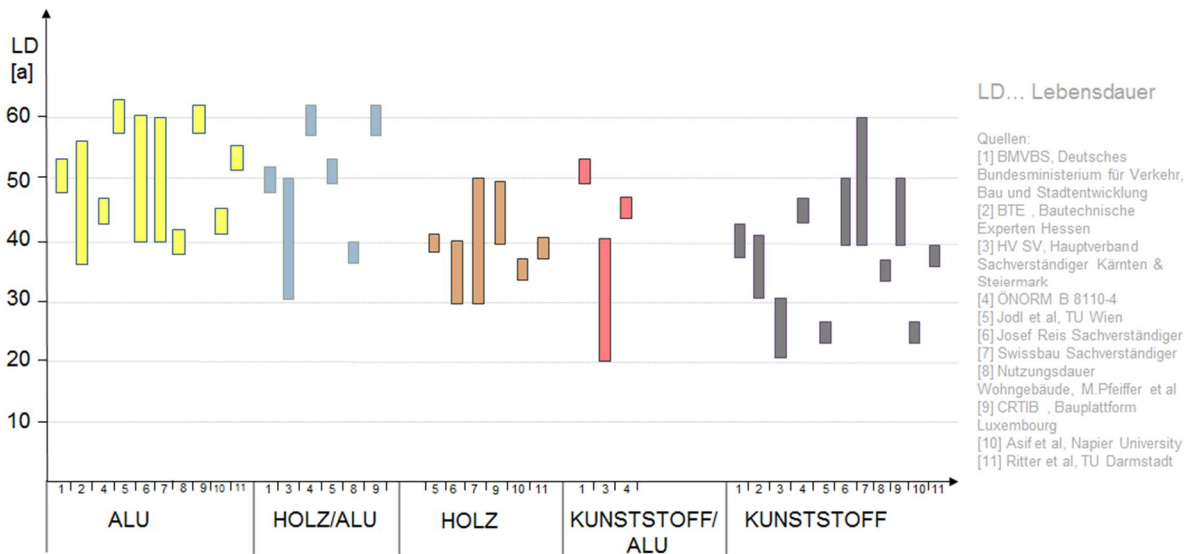


Abbildung 13: Übersicht Lebensdauerangaben entsprechend unterschiedlicher Literaturquellen

Für die weitere Berechnung wurden von allen Rahmenmaterialien alle Literaturangaben herangezogen und daraus ein Mittelwert gebildet.

Der Betrachtungszeitraum wurde in diesem Szenario mit 50 Jahren festgesetzt, da dies ein für Lebenszyklusbetrachtungen üblicher Zeitrahmen ist.

Das bedeutet, dass in diesem Szenario Aluminium- und Holz-Aluminiumfenster keinen und Holz-, Kunststoff- und Kunststoff-Aluminiumfenster einen Fenstertausch erforderlich machen.

#### 1.7.4 Darstellung der untersuchten Szenarien

In Tabelle 4 sind die oben beschriebenen Szenarien gegenüber gestellt:

Langfristige Betrachtung		Kurzfristige Betrachtung		Fachliteratur-Mittelwerte	
Betrachtungszeitraum:	60 Jahre	Betrachtungszeitraum:	30 Jahre	Betrachtungszeitraum:	50 Jahre
Lebensdauer Alu:	60 Jahre	Erneuerungszyklus		Erneuerungszyklus lt. Mittelwerte Fachliteratur	
Lebensdauer Holz/Alu:	40 Jahre	Alle Fenster ohne Erneuerungszyklus		Alu:	keine Erneuerung
Lebensdauer Holz :	40 Jahre	(Annahme: kein Austausch der Fenster innerhalb der 30 Jahre)		Holz/Alu:	keine Erneuerung
Lebensdauer Kunststoff/Alu:	25 Jahre			Holz:	ein Erneuerungszyklus
Lebensdauer Kunststoff:	25 Jahre			Kunststoff/Alu:	ein Erneuerungszyklus
Teilerneuerungen:		nicht berücksichtigt		Kunststoff:	ein Erneuerungszyklus
Dichtungen:	nach 25 Jahren			Dichtungen:	25 Jahre
Griffe und Beschläge:	nach 40 Jahren			Griffe und Beschläge:	40 Jahre
Wartung (jährlich):					
Aluminium:	0,25% Anschaffungskosten	Aluminium:	0,25% Anschaffungskosten	Aluminium:	0,25% Anschaffungskosten
Holz/Alu:	1,0% Anschaffungskosten	Holz/Alu:	2,0fach von Alu	Holz/Alu:	1,0% Anschaffungskosten
Holz:	2,5% Anschaffungskosten	Holz:	4,0fach von Alu	Holz:	2,5% Anschaffungskosten
Kunststoff/Alu:	2,0% Anschaffungskosten	Kunststoff/Alu:	1,5fach von Alu	Kunststoff/Alu:	2,0% Anschaffungskosten
Kunststoff:	2,5% Anschaffungskosten	Kunststoff:	1,5fach von Alu	Kunststoff:	2,5% Anschaffungskosten

Die Wartungskosten variieren in absoluten Zahlen, da die prozentualen Wartungskosten auf unterschiedliche Basis von Anschaffungskosten verweisen. Betrachtungszeitraum: zeitliche Dauer der Lebenszykluskostenbetrachtung in Anbetracht der Gebäudenutzungsdauer (vgl. ÖNORM B 1801-4)

Tabelle 4: Gegenüberstellung der drei untersuchten Szenarien



## 1.8 Daten

### 1.8.1 Datenquellen Kosten

Um das Wirkpotenzial der Fenstermaterialien auf das Gesamtgebäude zu untersuchen, wurde das reale Referenzgebäude im LZK Tool<sup>ÖKO</sup> nachmodelliert. Das Modell wurde anschließend mit den Realdaten kalibriert und mit Kennwertpools plausibilisiert (BKI, 2013).

#### Investitionskosten

Für die Abschätzung der Investitionskosten wurden folgende Quellen herangezogen:

- „Positionspapier ALU-FENSTER“, Ausschreibung von Fensterkonstruktionen, Jodl et al., 2010 (Anhang B, Seite 113ff.)
- Verband Fenster u. Fassade (VFF) – TU München, Hauser & Lüking, durchschnittliche Marktpreise für Fenster, 2011
- Kreuzer Fischer & Partner, Markttrends bei Holz-, Aluminium- und Kunststofffenster, 2005
- Alufenster24.com, Preisliste Alufenster, 2013 (Zugriff Nov.2013)
- Immobilien01.de, Preisvergleich Standardfenster, 2013 (Zugriff Nov.2013)
- Abgerechnete, österreichische Projekte M.O.O.CON, 2013
- Erfahrungswerte technischer Ausschuss AMFT / AFI, 2013

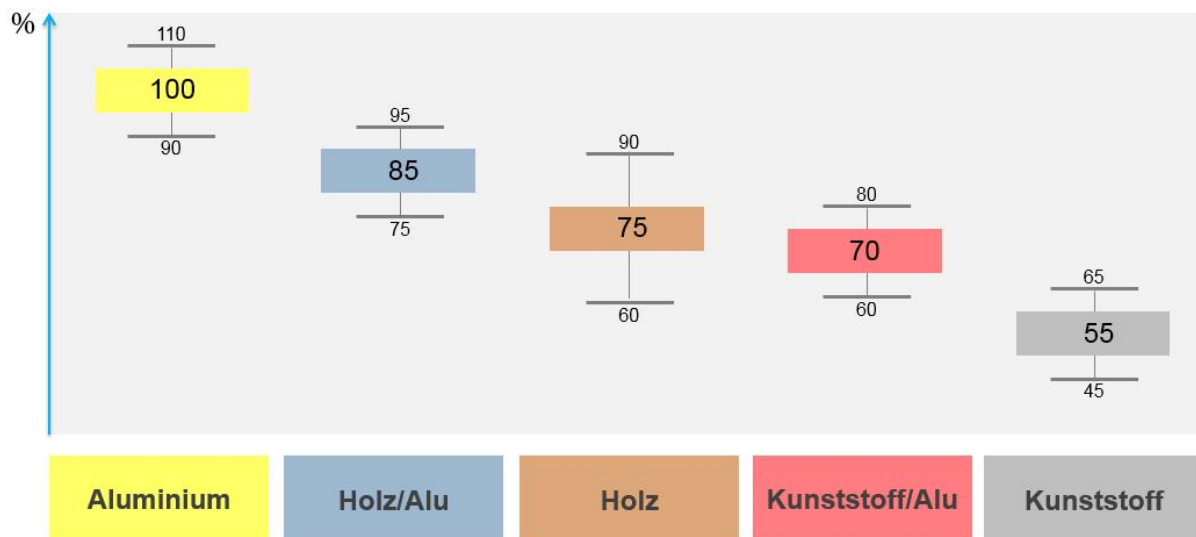


Abbildung 14: Relation<sup>1</sup> der Anschaffungskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen

Da Kostendaten immer sehr abhängig von Hersteller, Abfragezeitpunkt, Konjunktur, Region, Menge und etlichen weiteren Faktoren sind, wurden Kostenintervalle erhoben. Somit werden Schwankungsbreiten am Markt berücksichtigt und die Sensitivität der Datenlage in die Berechnung aufgenommen.

In Abbildung 14 wird ersichtlich, dass Schwankungsbreiten hinsichtlich der Anschaffungskosten von Fensterkonstruktionen teilweise sehr groß sind.

#### Folgekosten

Für die Folgekostendaten von Fenstern (Wartung, Instandsetzung, Erneuerung) wurde ebenfalls auf die oben zitierten Quellen zugegriffen. Vor allem das „Positionspapier ALU-FENSTER“ (Jodl et

<sup>1</sup> Es sind Bandbreiten angegeben um durchschnittliche Markt- und Produktvarianz zu berücksichtigen, als Ausgangswert wurde das Aluminiumfenster mit 100% festgesetzt.

al.,2010) hat hier eine detaillierte Aufstellung hinsichtlich Beschlägen, Griffen, Dichtungen und Anstrichen vollzogen.

### **Daten für Erneuerungen**

Erneuerungen werden immer am Ende der Lebensdauer eines Bauteiles angesetzt und mit den indexierten Anschaffungskosten kalkuliert.

## 2 Evaluierung und Ergebnisse der Szenarien

### 2.1 Ergebnisdiskussion Kosten

#### 2.1.1 Szenario 1: Langfristige Betrachtung

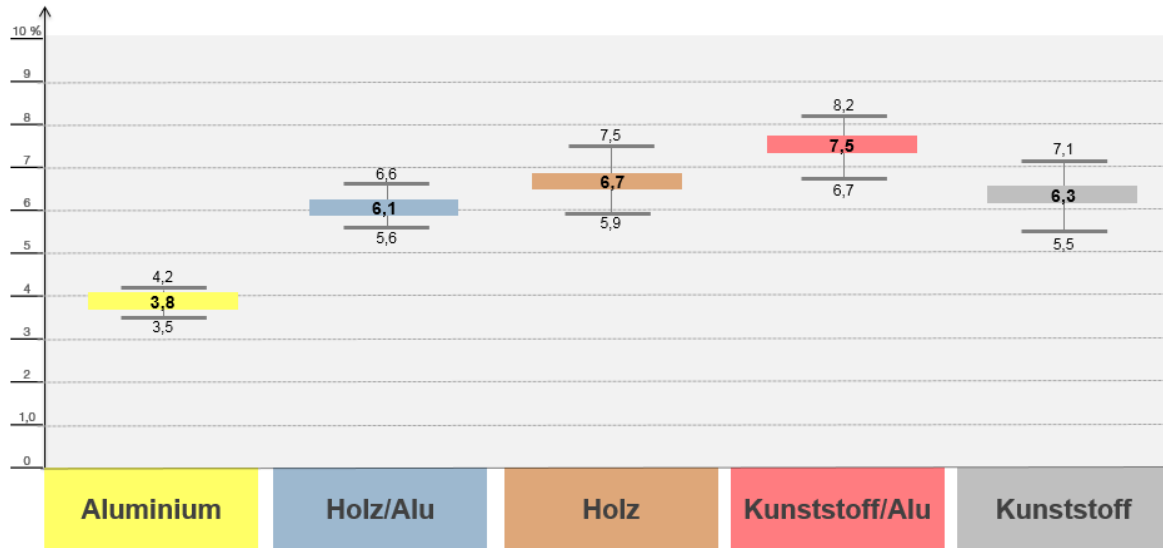


Abbildung 15: Relation der Lebenszykluskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen nach Szenario 1

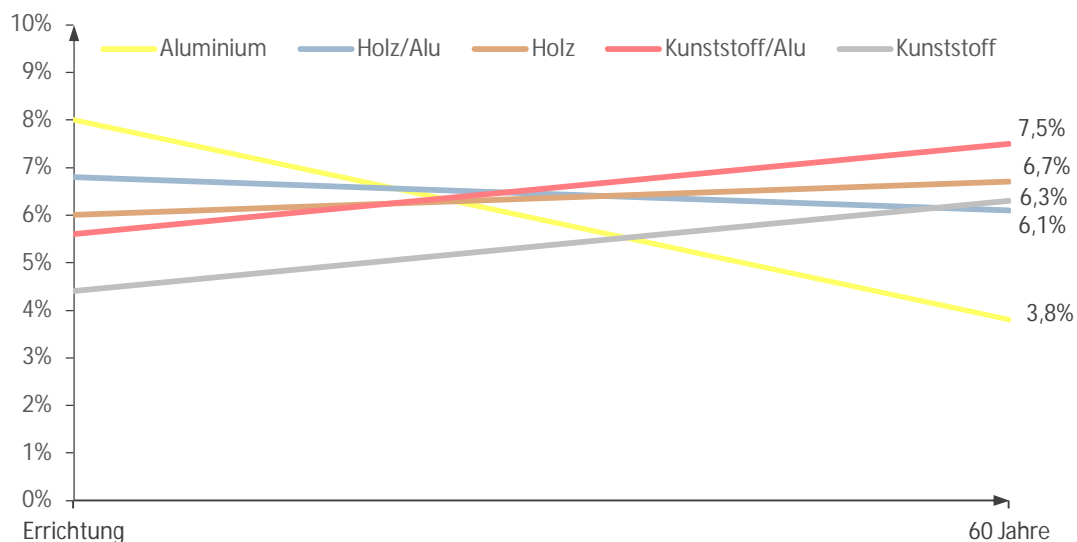


Abbildung 16: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend langfristiger Betrachtung über 60 Jahre.

Über den gesamten Betrachtungszeitraum von 60 Jahren sind in diesem Szenario die Aluminiumfenster am günstigsten zu bewerten, da diese nur einer einmaligen Investition bedürfen. Bei allen anderen Fenstertypen vervielfachen sich ihre Erstinvestitionskosten entsprechend den jeweils nötigen Erneuerungszyklen. Daher liegen die Lebenszykluskosten aller anderen Fensterwerkstoffe deutlich höher.

Die Performance der anderen Fenstermaterialien hinsichtlich Lebenszykluskosten variiert, eine so starke Minderung wie beim Aluminiumfenster gibt es, wie in Abbildung 16 ersichtlich ist, aber bei keinem anderen Rahmenmaterial.

## 2.1.2 Szenario 2: Kurzfristige Betrachtung

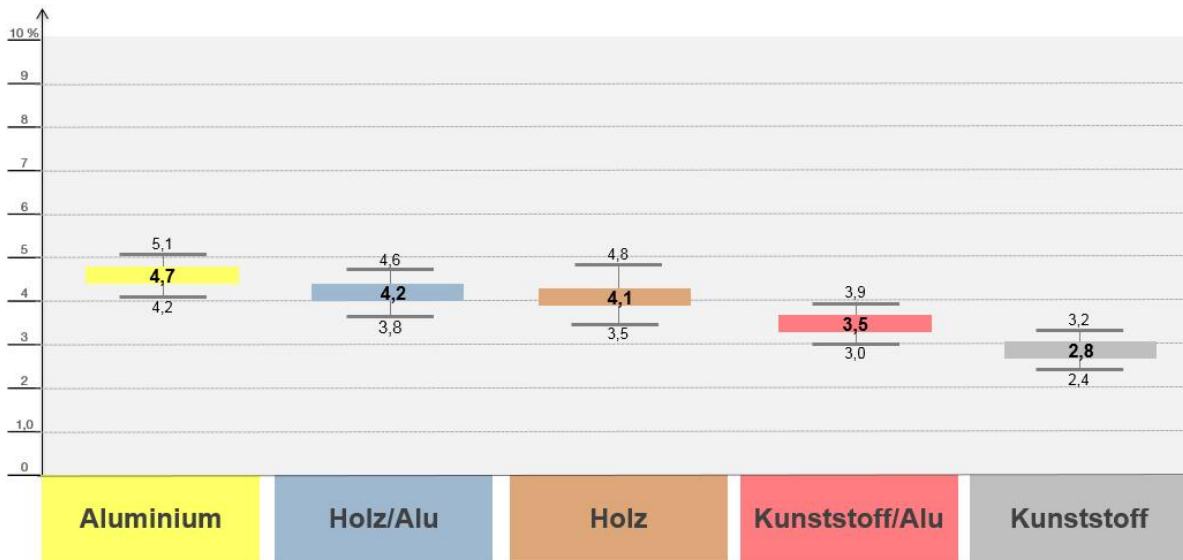


Abbildung 17: Relation der Lebenszykluskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen nach Szenario 2

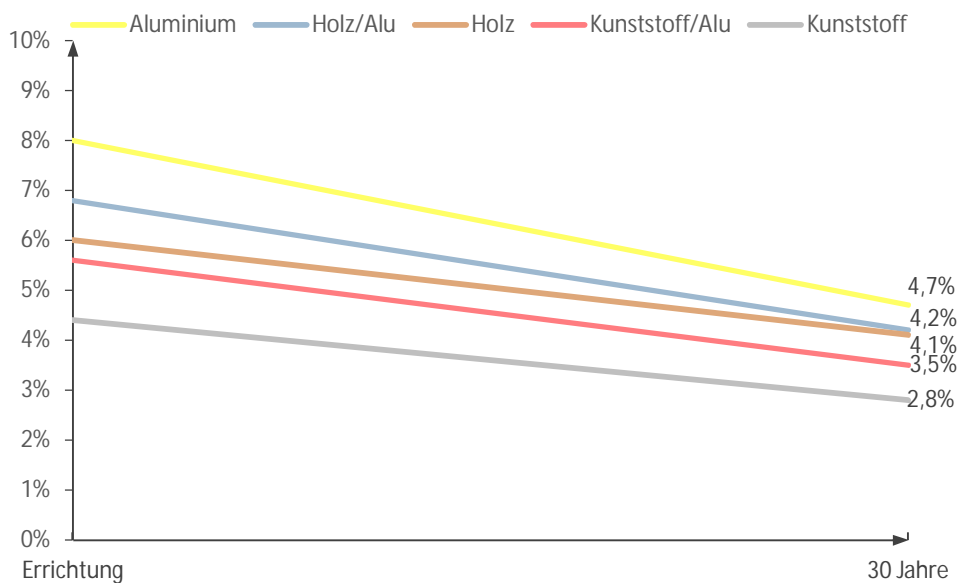


Abbildung 18: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend kurzfristiger Betrachtung über 30 Jahre.

Im vorliegenden Szenario 2 wird die Nutzungsdauer für alle Fensterwerkstoffe einheitlich mit 30 Jahren definiert. Daher schneidet das Kunststofffenster am günstigsten ab. Die Höhe der Erstinvestition bleibt in diesem Fall der ausschlaggebende Parameter.

### 2.1.3 Szenario 3: Fachliteratur-Mittelwerte

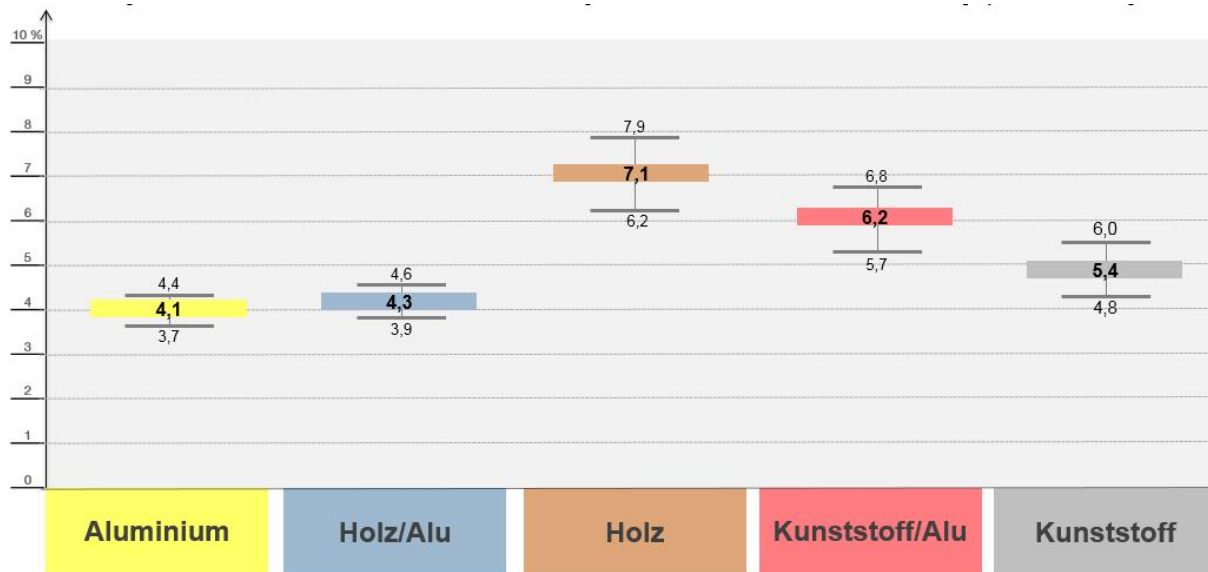


Abbildung 19: Relation der Lebenszykluskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen nach Szenario 3

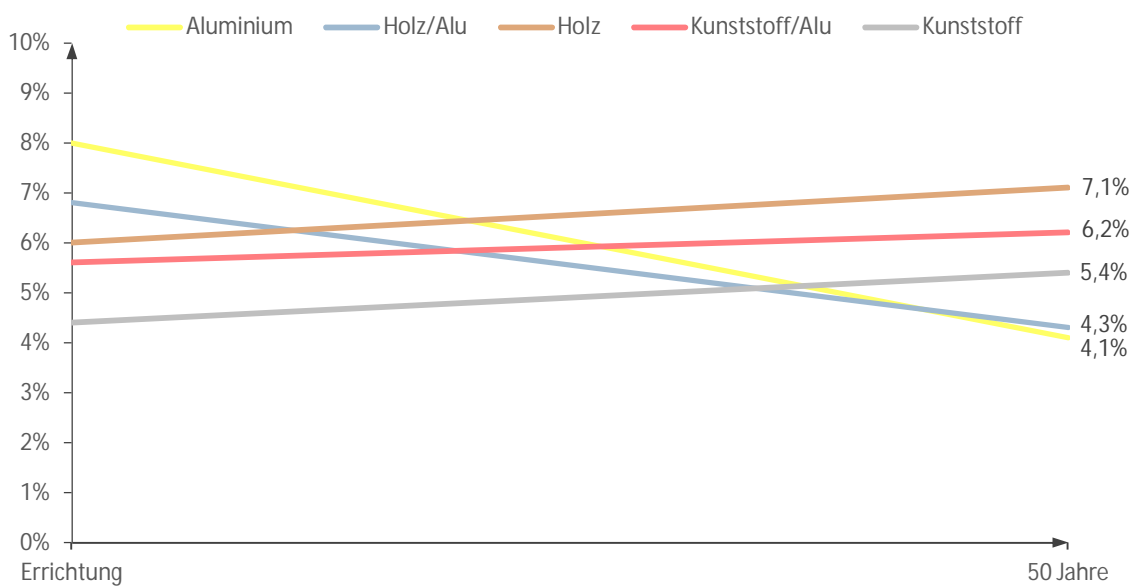


Abbildung 20: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend Fachliteratur Mittelwerte über 50 Jahre.

Bei diesem Szenario müssen Aluminium- und Holz-Aluminiumfenster innerhalb des Betrachtungszeitraums nicht getauscht werden. Daher sind ihre Lebenszykluskosten nach 50 Jahren deutlich geringer als die der anderen drei Werkstoffe.

#### 2.1.4 Zusammenfassung Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskosten variieren abhängig von der Berechnungsmethodik, durchgängig zeigt sich aber, dass Aluminiumfenster am Ende der gewählten Betrachtungszeiträume einen geringeren Anteil an den Lebenszykluskosten aufweisen, als an den Baukosten zum Zeitpunkt der Errichtung.

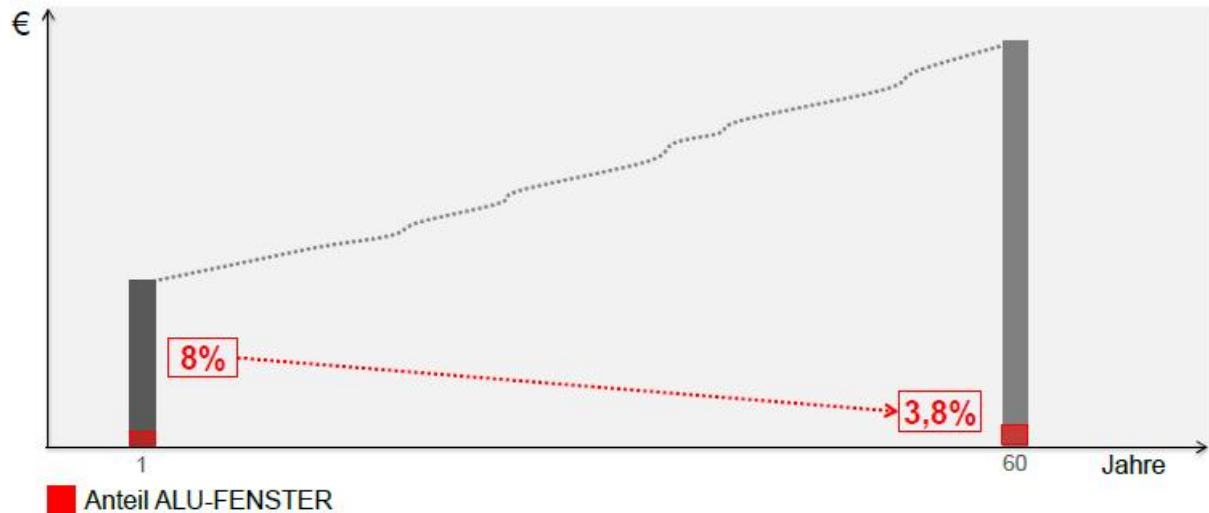


Abbildung 21: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend Szenario 1 am Beispiel Aluminiumfenster

In Abbildung 20 wird diese Kernerkenntnis der Analyse offensichtlich: Auch wenn Fenster im Wohnbau einen wesentlichen Anteil der Baukosten ausmachen, so sinkt bei gewissen Fenstermaterialien deren Einfluss auf die Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes im Laufe der Nutzungsdauer deutlich<sup>2</sup>. Speziell Aluminiumfenster und Holz-Aluminiumfenster weisen in allen drei Szenarien sinkenden Einfluss auf die Gesamtlebenszykluskosten aus. Der Einfluss von betriebsbezogenen Folgekosten, sowie von Kosten aus Erneuerungen anderer Gewerke auf die Gesamtlebenszykluskosten ist wesentlich höher, sodass selbst nach einem Erneuerungszyklus aller Fenster das Verhältnis der Lebenszykluskosten Fenster zu Lebenszykluskosten Gesamtgebäude sinkt.

Dabei ist wenig überraschend, dass Fensterrahmenmaterialien mit einer höheren Lebensdauer und geringerem Wartungsaufwand niedrigere Lebenszykluskosten aufweisen. Etwaige höhere Erstinvestitionskosten werden für die lebenszyklische Performance unwesentlicher. Fensterrahmenmaterialien mit höheren technischen Lebensdauern können trotz höherer Erstinvestitionskosten eine wirtschaftlichere Lebenszykluskostenperformance vorweisen.

<sup>2</sup> Die Kurve zeigt die akkumulierten Barwerte aus Kosten für Errichtung, Betrieb und Erneuerung. Dabei verhalten sich die Lebenszykluskosten der Aluminiumfenster im Verhältnis zu den Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes als einzige stark regressiv; d.h. obwohl die kumulierten Lebenszykluskosten der Fenster über die Jahre zunehmen (Wartung, Instandsetzung, Erneuerung etc.), steigen die Lebenszykluskosten des betriebenen Gebäudes stärker, sodass Aluminiumfenster nach 60 Jahren nur mehr rund 3,8 % der Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes betragen.

### 3 Lebenszyklusanalyse (LCA)

#### 3.1.1 Datenquellen Ökobilanz

Da für die Berechnung der Ökobilanzen verschiedene Eingangsdatensätze zu den jeweiligen Umweltverbräuchen in durchaus unterschiedlicher Qualität zur Verfügung stehen, ist es zunächst wichtig, aus den vorhandenen Daten geeignete und plausible Daten auszuwählen.

Durch unterschiedliche Umweltverbrauchsdaten (z.B. aus unterschiedlichen Datenbanken) und verschieden angesetzte Abgrenzungen können für ein und dasselbe Produkt nämlich durchaus unterschiedliche Aussagen zu den „Grauen Energien“ vorliegen.

So stehen auch zur Berechnung von Fenstern und Fensterrahmen mehrere, nur schwer vergleichbare Datensätze zur Verfügung.

Beispielhaft angeführt und vergleichend dargestellt werden hier die für den österreichischen Raum relevanten Datensätze:

- aus den Muster-EPDs des ift Rosenheim (Institut für Fenstertechnik e.V., Deutschland), welche im Rahmen der Forschungsarbeit „Entwicklung von Umweltproduktdeklarationen für transparente Bauelemente - Fenster und Glas - für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden“ (v. Houwald et al., 2011) basierend auf Daten der GaBi Software produktgruppenspezifisch erhoben und berechnet wurden.
- aus der baubook-Datenbank, die auf Eingangsdaten der ecoinvent-Datenbank basieren,
- aus der ökobau.dat, der Datenbank des IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V., Deutschland), die auf den Basisdaten der GaBi-Software (Software für „Ganzheitliche Bilanzierung“) aufbauen und welche den Ökobilanzberechnungen der ÖGNI und des DGNB zugrunde liegen,

Eine Vergleichbarkeit der Datensätze ist, wie in untenstehender Tabelle ersichtlich, in mehrfacher Hinsicht nicht gegeben.

Datenquelle	Datentyp	Produkte	Prozessabschnitte	Glasanteil	ergänzende Elemente	Einheit Datensatz
ift Rosenheim	Produktgruppen-EPD	Aluminiumfenster	Herstellung	ausgewiesener Glasanteil	ausgewiesen und	kg
		Kunststofffenster	End of Life	mit 3-fach Verglasung	beschrieben	
		Holzfenster	Recycling			
		Holz-Alufenster				
ecosoft (IBO)	generische Daten	Aluminiumfenster	Herstellung	mit 2-fach Verglasung	unbekannt	m <sup>2</sup>
		Kunststofffenster		Glasanteil nur abschätzbar		
		Holzfenster				
		Holz-Alufenster				
ökobau.dat	generische Daten	Aluminiumfenster	Herstellung	muss ergänzt werden	muss ergänzt werden	m
		Kunststofffenster	Entsorgungswege tw.			
		Holzfenster	vorgegeben			
		Holz-Alufenster				

Tabelle 5: Unterschiedliche Datensätze zur Beurteilung von Fensterrahmenmaterialien

Wie man in Tabelle 6 sehen kann, ist es so, dass EPDs unterschiedlicher Herkunft sich auf durchaus unterschiedliche funktionale Einheiten beziehen. So gibt es EPDs, die nur die Auswirkungen des Rahmens darstellen, oder die des Rahmens mit Verglasung, mit einer konkreten Beschreibung des Verglasungsmaterials, oder aber solche, die das ganze Fensterelement beschreiben, ohne genauere Festlegung, welche Art von Verglasung angenommen wurde. Je nachdem beziehen sich die ermittelten Umweltwirkungen dann auch auf unterschiedliche deklarierte Einheiten, wie kg, m oder m<sup>2</sup>.

Zusätzlich wurden die Datensätze aus unterschiedlichen Eingangsdatenquellen (Grundmaterialien, Strommix) berechnet. So liegen der Berechnung der baubook-Datensätze die Daten der ecoinvent zugrunde, während sich die Datensätze der ökobau.dat und des ift Rosenheim auf eine Berechnung mit Daten des von der PE International entwickelten Softwaresystems zur „Ganzheitlichen Bilanzierung“ (GaBi) stützen. Weiters werden bei den EPDs unterschiedlicher Herkunft auch die verschiedenen Lebenszyklusabschnitte in unterschiedlicher Art und Weise betrachtet.

Eine vergleichende Berechnung der durch einen Quadratmeter Aluminiumfenster (vollständiges Element) durch seine Herstellung und Entsorgung hervorgerufene Treibhauswirkung mit den Datensätzen unterschiedlicher Herkunft ergab folgende Abweichungen:

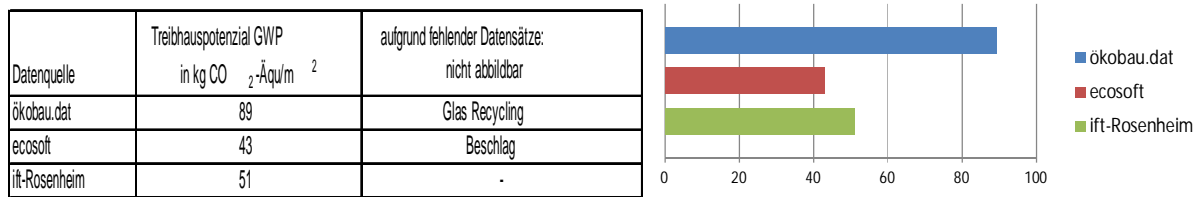


Abbildung 22: Rechenwert Treibhauspotenzial GWP für 1 m<sup>2</sup> Aluminiumfenster lt. jeweiliger Datenbank

### 3.1.2 Die gewählten Daten

Aufgrund der Notwendigkeit von Konsistenz und Vollständigkeit des verwendeten Datensatzes beruhen alle folgenden Berechnungen auf den EPDs des ift Rosenheim.

Diese wurden im Rahmen der Forschungsarbeit „EPDs für transparente Bauelemente“ (v. Houwald et al., 2011) erarbeitet und umfangreich beschrieben.

In den Kapiteln 3.1.2 und 3.1.3 werden die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit, auf denen die für diese Arbeit verwendeten EPDs resultieren, zusammengefasst dargestellt.

In der Forschungsarbeit „EPDs für transparente Bauelemente“ (v. Houwald et al., 2011) wurden zusammen mit den betroffenen deutschen Verbänden (Bundesverband Flachglas e.V., Fachverband Schloss- und Beschlagsindustrie e.V., Qualitätsverband Kunststoffherzeugnisse e.V.) für die Produkte Fenster und Türen, für die es bis dahin keine quantitativen Aussagen über die Lebenszyklusabschnitte „Baustadium“, „Nutzungsstadium“, „Nachnutzungsstadium“ und „Recyclingpotenzial“ gab, Muster-EPDs erarbeitet.

Die Szenarien wurden durch Branchenumfragen und durch umfangreiche Recherchearbeiten ermittelt. Die für die Ökobilanzierung notwendigen Industriedaten wurden dabei sowohl direkt in produzierenden Unternehmen ermittelt, als auch bei den am Projekt beteiligten Verbänden und deren Mitgliedsunternehmen angefragt. Außerdem wurde auf bestehende (Markt-)Studien aus Forschung und Industrie zurückgegriffen.

Dadurch konnte erstmals der gesamte Lebenszyklus der Produkte dargestellt und auch die Phasen „Nutzung“ und „End of Life“, zumindest aufgrund der vorliegenden Datenlage im Raum Deutschland, auf Basis von als wahrscheinlich anzunehmenden Szenarien bewertet und verglichen werden.

Die im Rahmen dieser Arbeit für die Branche erstellten Muster-EPDs beziehen sich auf handelsübliche Fenster, wie sie im Wohn- und Bürobau aktuell zum Einsatz kommen. Die Berechnung der Ökobilanz der Elemente erfolgte anhand der in der EN 14351-1 definierten Standardgröße für Fenster mit einer Größe von 1,23m x 1,48m. Die errechneten Werte werden auf 1m<sup>2</sup> Fensterfläche umgelegt dargestellt.

Mittels der erfassten Daten wurden durch die PE International Ökobilanzen berechnet, auf Basis derer folgende Muster-EPDs für die Branche erarbeitet werden konnten:

- Muster-EPD Holzfenster (v. Houwald et al., 2011)
- Muster-EPD Metallfenster (v. Houwald et al., 2011)
- Muster-EPD Kunststofffenster (v. Houwald et al., 2011)
- Muster-EPD Flachglas, Einscheibensicherheitsglas und Verbundsicherheitsglas (v. Houwald et al., 2011)
- Muster-EPD 2- und 3-Scheibenisoliervglas (v. Houwald et al., 2011)



Das in der vorliegenden Studie ebenfalls zum Vergleich herangezogene Muster-EPD zum Holz-Aluminiumfenster stammt nicht unmittelbar aus dieser Arbeit, wurde aber zeitgleich mit den anderen von denselben Personen nach denselben Vorgaben berechnet und herausgegeben.

Da es sich bei diesen EPDs um Datensätze handelt, die einen produktgruppenspezifischen Mittelwert abbilden, können damit sehr gut Aussagen über das durchschnittliche Verhalten einer Produktgruppe wie etwa Aluminiumfenster oder Kunststofffenster generell getroffen werden.

Das produktgruppenspezifische EPD hat den Vorteil eine Produktgruppe derzeitigem Wissenstand entsprechend anderen Vergleichsproduktgruppen gegenüberzustellen. Die darin getroffenen Aussagen treffen aber nicht unbedingt auf die jeweiligen Einzelprodukte der Produktgruppe zu. So wird etwa ein Aluminiumfenster aus Herstellung A mit energieoptimiertem Herstellungsprozess unter Einsatz von Recyclingaluminium mit langer Verwendungsdauer und optimalem Rückbau und Recyclingablauf in der Realität um ein Vielfaches bessere Werte aufweisen als ein Aluminiumfenster aus reinem Primäraluminium und nicht energieoptimierter Herstellung B, das nach kurzer Verwendungsdauer ungeeignet entsorgt und keiner Wiederverwertung zugeführt wird.

Die Vorteile von einzelnen Produkten, die durch die Sorgfalt von Herstellern erzielt werden können, können über Produktgruppen-EPDs Produkten aus der eigenen Produktgruppe gegenüber nicht dargestellt werden. Möchte ein Hersteller sich sichtbar vom Wettbewerb abheben bzw. ein detailliertes Bild der Umweltbelastungen seiner Produktionsprozesse geben, kann dies nur über ein individuelles EPD geschehen.

Da es vom ift Rosenheim kein EPD für Kunststoff-Aluminiumfenster gibt, wurde davon abgesehen, es in die Ökobilanzbetrachtungen der vorliegenden Potenzialanalyse miteinzubeziehen, da die Abweichungen, die sich aus einer anderen Datenherkunft ergeben z.T. größer als die Abweichungen zwischen unterschiedlichen Materialien sein könnten und daher eine Verzerrung der Ergebnisse wahrscheinlich wäre.

### 3.1.3 Bewertung der einzelnen Lebenszyklusphasen bei der Erstellung der EPDs

Für die **Herstellungsphase A** (siehe Abbildung 9: Lebenszyklusphasen gem. ÖNORM EN 15804) wurden alle in dieser Phase entstehenden „Grauen Energien“, alle Energie- und Materialflüsse miteinbezogen, die für die Herstellung und Aufbringung der Grundmaterialien durchschnittlich erforderlich sind, weiters alle üblicherweise erforderlichen Transporte, alle Hilfsmittel und Energien zur Erzeugung des fertigen Produktes und ein durchschnittlich angenommener Transport bis zur Baustelle.

Keinerlei Berücksichtigung finden bei diesen Annahmen aber, ob die Materialien in nachhaltiger Weise entnommen werden oder nicht, ob sie aus heimischer Aufbringung stammen oder ob sie unnötig weite Transportwege hinter sich haben.

Für die Phase „Herstellung“ wurden die Fenstertypen in die einzelnen erforderlichen Materialanteile aufgeteilt und diesen die materialspezifischen Umweltwirkungen aus den jeweiligen Basisdatenbanken zugewiesen.

Die in dieser Arbeit betrachteten Fenstertypen setzten sich aus folgenden Materialien zusammen:

Material	Aluminium	Holz-Aluminium	Holz	Kunststoff
Holz		29,6%	40,9%	
PVC-Extrusionsprofil				20,9%
Aluminium	24,4%	6,2%	0,8%	
Isolierstege Polyamid	3,4%			
Silikondichtung		1,7%	0,4%	0,9%
Lack		1,6%	1,6%	
Stahlblech verzinkt				19,6%
Beschlag	3,4%	3,8%	3,5%	3,7%
EPDM	3,3%	1,8%	1,4%	0,9%
Isolierglasverbund	64,9%	57,0%	52,2%	55,9%

Tabelle 6: Materialzusammensetzung der unterschiedlichen Fenstertypen in Prozent lt. EPDs des ift Rosenheim

Bei den Metallfenstern ergaben Sensitivitätsprüfungen hinsichtlich unterschiedlicher Metalle (Aluminium, Baubronze), unterschiedlicher Isolierstegmaterialien und Oberflächenbehandlungen (Pulverbeschichten, Eloxieren) keine signifikanten Veränderungen. Das Muster-EPD für Metallfenster geht von einem pulverbeschichteten Aluminiumfenster aus.

Bei Holzfenstern wurden weder eine Behandlung gegen holzerstörende Pilze und Insekten, noch die Verwendung von modifizierten Hölzern bei der Modellierung der Herstellungsphase berücksichtigt.

Zur Abbildung der Herstellungsphase beim Kunststofffenster wurde ein Fenster aus thermoplastischem Kunststoff auf PVC-Basis (Hohlprofile aus extrudiertem Material im Ein- und Mehrkammersystem) herangezogen. Der hohe Stahlanteil ergibt sich aus einem in den Kunststoffrahmen eingearbeiteten Metallgrundrahmen, da der Kunststoffrahmen für sich auf Dauer keine ausreichende Verwindungssteifigkeit gewährleisten kann.

Die **Nutzungsphase B** (siehe Abbildung 9: Lebenszyklusphasen gem. ÖNORM EN 15804) aus den EPDs des ift Rosenheim wird im Rahmen der vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt, da diese Phase bei allen Fenstertypen außer in den Modulen B 2-5, die den Bereich Instandsetzung und Reparatur betreffen, nahezu gleich ist. Diese Bereiche werden in der vorliegenden Studie durch einen Austausch der Elemente am Ende der jeweiligen Lebensdauer, welche aber unterschiedlich variiert wird, abgebildet.

Die Energieverluste durch die Fensterelemente, die in der Nutzungsphase B anfallen, und in den EPDs im Modul B 1 abgebildet werden, sind im Rahmen der jeweiligen EPD der mit Abstand höchste Beitrag zu den entstehenden Umweltwirkungen. Da aber alle Fenster dieselben bauphysikalischen Kennwerte haben, und daher von denselben Energieverlusten ausgegangen werden kann, sind diese in den folgenden Berechnungen in der Gebäudegesamtbilanz und nicht auf Ebene der Fensterelemente dargestellt.

Die **Nachnutzungsphase C** (siehe Abbildung 9: Lebenszyklusphasen gem. ÖNORM EN 15804) bildet jene Umweltwirkungen ab, welche nach der Nutzungsphase entstehen. Hier wird die Demontage, der Abtransport, die Bauteiltrennung, die Wiederaufbereitung oder Deponierung bewertet. In dieser Phase unterscheiden sich die unterschiedlichen Fensterwerkstoffe vor allem hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Sammelstrukturen und Entsorgungswege. In der Studie des ift Rosenheim wurde für die Definition der Szenarien ein durchschnittlich üblicher Recyclinganteil der Fensterarten erhoben. Aufgrund der Wiederverwertbarkeit der Materialien liegt der Sammelanteil bei Kunststoff- und Aluminiumfenstern höher als bei Holzfenstern.

Bei Holzfenstern ist eine thermische Verwertung in Verbrennungsanlagen üblich, da Althölzer von Fenstern mit u.a. verschiedensten Lacken bzw. Lasuren beschichtet sind. Die Entfernung der Oberflächenbeschichtung und eine sortenreine Trennung der Materialien sind mit einem hohen technischen und energetischen Aufwand verbunden und werden deshalb in der Praxis nicht realisiert.

Bei Holzfenstern wird immer von der höchst zu erwartenden Belastung der Althölzer ausgegangen, da es nicht möglich ist, spezifische Belastungen von Holzfensterfragmenten auf einfache Art und Weise zu bestimmen. Deshalb werden diese nach der Altholzverordnung mit der höchsten Stufe A IV deklariert.

Althölzer nach Klasse A IV können für die Herstellung von Synthesegas oder zur Herstellung von Aktivkohle nach Altholz Verordnung Anh. I stofflich verwertet werden.

Kunststofffenster hingegen werden in zentralen Sammelstellen gesammelt und rezykliert. Die Fensterprofile werden meist ohne Glas (geringeres Gewicht) bei den Sammelstellen angeliefert. Die kompletten Profile werden in verschiedenen Verfahrensschritten erst geschreddert und dann nach Materialzusammensetzung fraktioniert (z.B. durch Magnetabscheider, Windsichter). Die Kunststoffe (PVC, EPDM, TPE) werden als Granulat erneut zur Produktherstellung weiterverwendet. Metalle werden dem Metallschrott hinzugeführt.

Aluminiumfenster werden ebenfalls zentralen Sammelstellen zugeführt. Die Rahmen werden geschreddert und sortenrein getrennt. Der auf diese Art gewonnene Metallschrott wird erneut der Schmelze zugeführt. Aluminium und Stahl können beliebig oft wiederverwertet werden.

Aufgrund des hohen Materialwertes von Aluminium wird beim Rückbau ein sehr hoher Sammelanteil von 99 % erreicht, diese Rückbauquote von Aluminiumfenstern wurde in einer Studie der TU Delft erfasst.

Die Rückbauquote von Kunststofffenstern wurde durch Angaben der beteiligten Recyclingunternehmen und durch eine Studie der Ermittlung von Abfallmengenszenarios belegt. Sie liegt mit 95 % etwas niedriger als die der Aluminiumfenster und gleichauf mit der angenommenen Rückbauquote für Holzfenster, welche auf den Annahmen des VFF (Verband Fenster und Fassade) beruht.

Die unterschiedlich hohen Rückbauquoten kommen vor allem dadurch zustande, weil eine Materialtrennung bzw. Fraktionierung bei Aluminiumfenstern wesentlich leichter durchzuführen ist und die gewonnenen Materialien einen deutlich höheren Marktwert besitzen, als etwa bei Holzfenstern.

Der wesentliche Unterschied zwischen den verschiedenen Fensterwerkstoffen liegt demzufolge beim **Recyclingpotenzial D** (siehe Abbildung 9: Lebenszyklusphasen gem. ÖNORM EN 15804). Diese Phase bezieht sich auf die stoffliche, energetische und/oder thermische Verwertung. Sie bildet die möglichen Gutschriften, die zu negativen bzw. verringerten Umweltlasten führen können, ab.

Beim Aluminiumfenster wird für die Berechnung der EPD davon ausgegangen, dass von den 99 % rückgebauten Fenstern eine Recyclingausbeute von 98 % bei Aluminium und Isolierstegen und von 90 % bei Glas, Dichtungen und Beschlägen erreicht wird.

Weiters wird angenommen, dass das gewonnene Alu-Rezyklat (abzüglich des in der Herstellung eingesetzten Rezyklats) zu 100 % Alu-Fenstercompound ersetzt; Stahl-Schrott ersetzt Stahl; Glas wird zu etwa 90 % rückgewonnen. Die bei der Verbrennung der restlichen Materialien in der Verbrennungsanlage gewonnene thermische Energie substituiert thermische Energie aus Erdgas, gewonnener Strom wird als Gutschrift für konventionellen Strom angenommen.

Beim Kunststofffenster wird in der Forschungsarbeit aufgrund von Angaben der beiden Herstellerverbände Qualitätsverband Kunststoffherzeugnisse e.V. (QKE) und dem europäischen Verband der Profilhersteller (EPPA) für die Modellierung der Gutschriften davon ausgegangen, dass 95 % der Fenster rückgebaut, gesammelt und einer Wiederverwertung zugeführt werden. Das im Recyclingprozess rückgewonnene PVC-Granulat kann, nach Angaben der Verbände, bei der Herstellung zu 100 % PVC-Fenstercompound ersetzen und geht so in die Berechnung ein.

Holzfenster werden laut Datenerhebung des ift Rosenheim zu etwa 95 % rückgebaut. Von diesen 95 % werden 90 % einer je nach Material unterschiedlichen Wiederverwertung zugeführt: Mit Gutschriften aus der Verbrennung, die als Entsorgungsweg für den Holzrahmen angenommen wird, wird so umgegangen, dass bei der Verbrennung erzeugter Strom als Gutschrift eingesetzt wird und dieser konventionellen Strom ersetzt. Bei der Verbrennung gewonnene thermische Energie substituiert thermische Energie aus Erdgas.

Das Muster-EPD für Holzfenster gilt nicht für Fenster aus modifizierten Hölzern, Fenster aus Hölzern, die aus Raubbau stammen oder Fenster mit in den Rahmenprofilen integrierten Dämmstoffen (Einschiebling bzw. ausgeschäumt oder Schaumeinlagen in der Zone der thermischen Trennung).

Die in den EPDs des ift Rosenheim veröffentlichten Daten beruhen auf Erhebungen im Raum Deutschland und wurden teilweise bei den Herstellern direkt und teilweise bei den industriellen Hersteller- und Entsorgungsverbänden erhoben. Die erhaltenen Daten wurden in Form von EPDs gemäß der ISO 14025 und der prEN15804 dem Markt zur Verfügung gestellt.

Diese EPDs zeichnen sich gegenüber anderen EPDs vor allem durch ihre vollständige Abbildung des gesamten Lebenszyklus aus. Gerade bei Fensterelementen, die einen großen Anteil an hochwertig

rezyklierbarem Material haben, wird sichtbar, wie wichtig eine geeignete Entsorgung und Wiederverwertung für die Gesamtökobilanz eines Bauteils ist.

Werden nun also alle Phasen eines durchgehenden Produktlebenszyklus der Fensterelemente aggregiert, so erhält man für die beiden Wirkkategorien Primärenergieverbrauch und Treibhauspotenzial beispielhaft dargestellt folgende Rechenwerte für 1m<sup>2</sup> Fensterfläche für Fenster mit jeweils unterschiedlichen Rahmenmaterialien:

### Primärenergieverbrauch

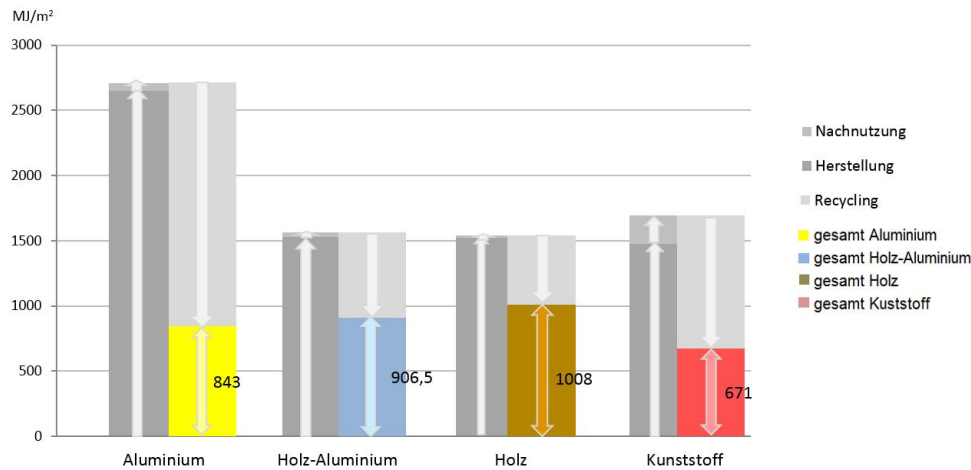


Abbildung 23: Darstellung von Verbräuchen und Gutschriften an Primärenergie innerhalb des Lebenszyklus der Fensterrahmen

### Treibhauspotenzial

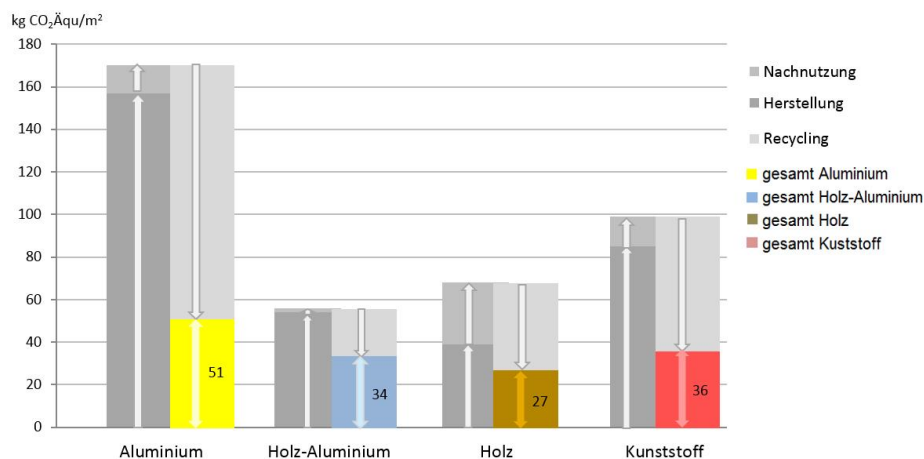


Abbildung 24: Darstellung von Verbräuchen und Gutschriften an Treibhauspotenzial innerhalb des Lebenszyklus der Fensterrahmen

Aus diesen beiden Darstellungen wird sichtbar, dass sich durch die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus inklusive der Phase Recyclingpotenzial D (farbig dargestellt) ein völlig anderes Bild zur Beurteilung der Umweltwirksamkeit der unterschiedlichen Materialien ergibt als nur in der Betrachtung der Herstellungsphase (dunkelgrau).

#### 3.1.4 Anmerkungen zur Datengrundlage der Muster-EPDs des ift Rosenheim

Die Ergebnisse der EPDs des ift Rosenheim wurden aufgrund ihrer Aktualität, ihrer Vollständigkeit und ihrer guten Dokumentation gewählt. Umweltwirkungsdaten zu den unterschiedlichen Rahmenmaterialien, insbesondere Holz- und Holz-Alu-Fenster im Vergleich zu PVC- und Alu-Fenster, liegen aber durchaus auch mit anderen Größenordnungen und Verhältnissen der unterschiedlichen Materialien zueinander vor.

So verhält sich etwa der Primärenergieverbrauch bei der Herstellung von Aluminium- : Holz- Aluminium- : Holz- : Kunststoffenfenstern bei den Primärenergiedaten von Standardfenstern mit 2fach-Verglasung in der ecosoft-Datenbank im Verhältnis 1,7 : 1,2 : 1 : 1,8, das Verhältnis des Treibhauspotenzials bei etwa 9 : 2 : 1 : 7.

Lt. einer älteren Studie der EMPA (Richter et al., 1996) liegt das Treibhauspotenzial der Fensterrahmenmaterialien Aluminium : Holz : PVC hingegen bei etwa 10 : -1 : 4.

Windsperger hat im Jahr 2000 in einer vergleichenden ökologischen Betrachtung von Fenstern eines österreichischen Fensterherstellers ein Verhältnis des Treibhauspotenzials für Aluminium : Holz : PVC von etwa 11 : 1 : 6 festgestellt (Windsperger A., 2000)

Damit zeigen die drei o. a. Studien ein etwa 5- bis 10-fach geringeres Treibhauspotenzial für die Fensterrahmenmaterialien Holz bzw Holz-Alu gegenüber PVC, bei den ift Rosenheim Daten liegt dieses Verhältnis nur beim 2-fachen. Dieser Unterschied beeinflusst nachvollziehbarerweise alle Schlussfolgerungen.

Bei der Gegenüberstellung der Daten aus den Muster-EPDs des ift Rosenheim fällt vor allem der im Vergleich zu den anderen Quellen sehr hoch liegende Primärenergiebedarf von Holzfenstern auf. Dieser liegt lt. den vorliegenden EPDs bereits bei der Herstellung in etwa derselben Größenordnung wie der des Kunststofffensters und der des Holz-Aluminiumfensters, was als eher unwahrscheinlich erscheint.

Auf Rückfrage bei den Studienerstellern wurde als mögliche Erklärung dieses Umstandes angegeben, dass die Angaben zum Herstellungsenergiebedarf bei den Produkten industrieller Herstellung von den jeweiligen Herstellerverbänden wie dem Qualitätsverband Kunststoffherzeugnisse e.V. (QKE), dem europäischen Verband der Profilversteller (European PVC Window Profile and Related Building Products Association (EPPA) und der European Aluminium Association (EAA) zur Verfügung gestellt wurden, während die Daten der Holzfenster auf ganz andere Weise ermittelt wurden. Diese stammen vorwiegend direkt aus den Angaben einiger klein- und mittelständischer deutscher Erzeuger. Dies würde einerseits eine möglicherweise höhere Optimierung im Energieverbrauch bei großindustrieller Fertigung erklären, andererseits aber auch die Möglichkeit einer optimalen Darstellung der durch die Verbände erhobenen Daten (Wortner P., 2014).

Weiters kann es eventuell dadurch zu Ungereimtheiten kommen, dass die Berechnungen der unterschiedlichen Muster-EPDs mit unterschiedlichen Versionen der GaBi-Bilanzierungssoftware erstellt wurden, dies gilt insbesondere für das EPD für Holz-Aluminiumfenster, welches nicht im Rahmen der Studie sondern erst kurz danach erstellt wurde. Da keiner der an der Studie beteiligten Mitarbeiter mehr am ift Rosenheim tätig ist, konnten dazu keine genaueren Auskünfte erteilt werden.

Es wurde seitens der Studienersteller ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Muster-EPDs nicht zum Vergleich untereinander gedacht sind, sondern nur dazu, die unterschiedlichen Fenstertypologien in passender Weise im Rahmen von Gebäudeökobilanzen darzustellen (Wortner P., 2014). Zwischen den einzelnen EPDs auftretende Ungereimtheiten wurden im Zuge der Studiererstellung nicht untersucht.

### **3.1.5 Anwendbarkeit für Österreich**

Die wichtigste Einflussgröße neben den in der Herstellung anfallenden Umweltwirkungen ist, wie aus Abbildung 23 und Abbildung 24 zu erkennen ist, die Recyclinggutschrift. Um zu überprüfen, ob die in den Muster-EPDs angenommene Größenordnung so auch für den österreichischen Markt anwendbar ist, wurden die Recyclingabläufe in Österreich nachrecherchiert.

Für das Recycling von Aluminiumprofilen wurden die Produkte, die die Gemeinschaftsmarke ALU-FENSTER führen, untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die für die Erstellung der EPDs für den deutschen Markt erhobenen Daten zum Recycling in Österreich ebenfalls anwendbar sind.

Auch hier führen der hohe Wert des Aluminiums und die gute Trennbarkeit des am Bau verwendeten Materials zu einer nahezu hundertprozentigen Sammel- und Rückführquote. Das rückgewonnene Material wird vollständig wiederaufbereitet und kann dann je nach Qualität wieder zur Herstellung von Aluminiumprofilen herangezogen werden.

In Österreich verfügbare Aluminiumprofile, die die Gemeinschaftsmarke ALU-FENSTER tragen, haben in Abhängigkeit von am Markt nach Preis und Qualität verfügbarem Aluminiumrezyklat einen Anteil von bis zu 80 % Sekundäraluminium, wobei der Sekundäranteil aufgrund der qualitativ gestiegenen Schrottsortierung, welche immer „reinere Schrotte“ auf den Markt zu bringen vermag, in den letzten Jahren gestiegen ist.

Bei den Kunststofffenstern erscheint eine angenommene Sammelquote von 95 % hingegen als unwahrscheinlich. Diese Zahl kann für den österreichischen Raum in dieser Höhe aus den vorliegenden Quellen jedenfalls nicht nachvollzogen werden.

Aktuelle Daten, wie viele Tonnen Kunststofffenster in Österreich insgesamt ausgebaut werden und damit als Abfall anfallen, sind derzeit nicht verfügbar. Auch der ÖAKF (Österreichische Arbeitskreis Kunststofffenster) veröffentlicht dazu keine aktuellen Quoten. Es werden dort nur Zahlen über die Tonnen gesammelter Kunststofffenster gemacht.

Die letzten vom Österreichischen Arbeitskreis Kunststofffenster (ÖAKF) veröffentlichten Zahlen stammen aus dem Jahr 2005 und betreffen das Jahr 2004. Damals wurde die Recyclingquote mit 16 % angegeben (ÖAKF, 2005). Das bedeutet, dass damals fünf von sechs Altfenstern oder 84 % nicht stofflich verwertet wurden.

Seit 2005 ist zwar die Menge der gesammelten Kunststofffenster deutlich gestiegen, gleichzeitig wurde 2005 auch eine starke Zunahme des erwarteten anfallenden Abfalls an Kunststofffenster prognostiziert, da die großen Mengen an Kunststofffenster, die in den späten 80er Jahren verwendet wurden, nun ans Ende ihrer Nutzungszeit gekommen sind.

Damit könnte die Recyclingquote heute über den 16 % von 2004 liegen; mangels Datenverfügbarkeit ist eine Recyclingquote derzeit nicht berechenbar.

Die der Berechnung der Muster-EPDs für Deutschland zugrunde liegende und rechnerisch verwendete Kunststofffenster-Recyclingquote von 95 % ist jedoch unplausibel hoch.

Durch die Verwendung dieser nicht nachvollziehbaren, sehr hohen materiellen Recyclingquoten für Kunststofffenster in der Ökobilanz werden diese für österreichische Verhältnisse unrealistisch gut dargestellt.

Keinerlei Angaben gibt es auch dazu, wieviel von dem recycelten Kunststoff auch tatsächlich in neuen Kunststoffprofilen verwendet werden kann. Die rein weiße Sichtseite von Kunststofffenstern kann aus den farblich veränderten Recyclingmaterialien nicht hergestellt werden, eine Anwendung von Recycling-PVC ist also nur für die innenliegenden Stege und Verbindungsteile möglich.

Abseits von der Darstellung der Ökobilanz, welche ja nur eine Auswahl an Umweltwirkungen darstellt, wäre eine hohe Recyclingquote im Bereich von Kunststofffenstern im Sinne der Nachhaltigkeit auch nicht zwingend positiv zu bewerten, denn das Recycling von Kunststofffenstern hat noch eine weitere ökologisch relevante, aber nicht in der Ökobilanz ablesbare Begleitwirkung: Bis zur Cadmium-Verbotsverordnung (Cadmiumverordnung BGBl. 855/1993) war in Österreich jahrzehntelang der Einsatz des giftigen Schwermetalls Cadmium als Stabilisator in Kunststofffensterprofilen erlaubt, seit damals ist es - ausgenommen Recycling-Kunststoff(!) - verboten.

Ab den 80er Jahren wurden auch Bleiverbindungen als PVC-Stabilisatoren verwendet. Der Einsatz von Bleistabilisatoren ist bis heute gesetzlich zulässig, diese werden aber nach Angaben der österreichischen Kunststofffensterhersteller seit zumindest 10 Jahren nicht mehr in neuem, nicht recycelten Kunststoff für Fenster verwendet. Für importierte Kunststofffenster ist eine Verwendung von Bleistabilisatoren aufgrund fehlender gesetzlicher Bestimmungen aber zulässig.

Durch das Altfensterrecycling werden die schädlichen Schwermetalle Cadmium und Blei jedoch wieder in Umlauf gebracht und kontaminieren das sonst schwermetallfreie Kunststofffenster. Damit führt das Kunststoff-Recycling zu einer massiven Verteilung von Schwermetallen. Um das zu verhindern, müssten Kunststofffenster aus dieser Zeit einer Sondermüllentsorgung zugeführt werden.

Diese Auswirkungen sind über die Ökobilanz nicht darstellbar, sollten bei einer gesamtheitlichen ökologischen Bewertung aber unbedingt berücksichtigt werden.

### 3.2 Ergebnisdiskussion LCA

Um einen Eindruck zu bekommen, wie groß der Einfluss der transparenten Fassadenelemente hinsichtlich Ökobilanz bei Wohngebäuden tatsächlich ist, wurde im ersten Schritt die Ökobilanz des Referenzgebäudes insgesamt berechnet.

Berücksichtigt werden dabei die für den Betrieb des Gebäudes erforderliche Energie (Heizung und Beleuchtung), die Herstellung aller Materialien und deren Rückbau und Entsorgung. Die Nutzungsphase der Materialien wird dargestellt, indem jenen Bauteilen und Materialien, die innerhalb des Betrachtungszeitraums ein- oder mehrmals erneuert werden müssen, dementsprechend weitere Herstellungs- und Entsorgungszyklen zugerechnet werden.

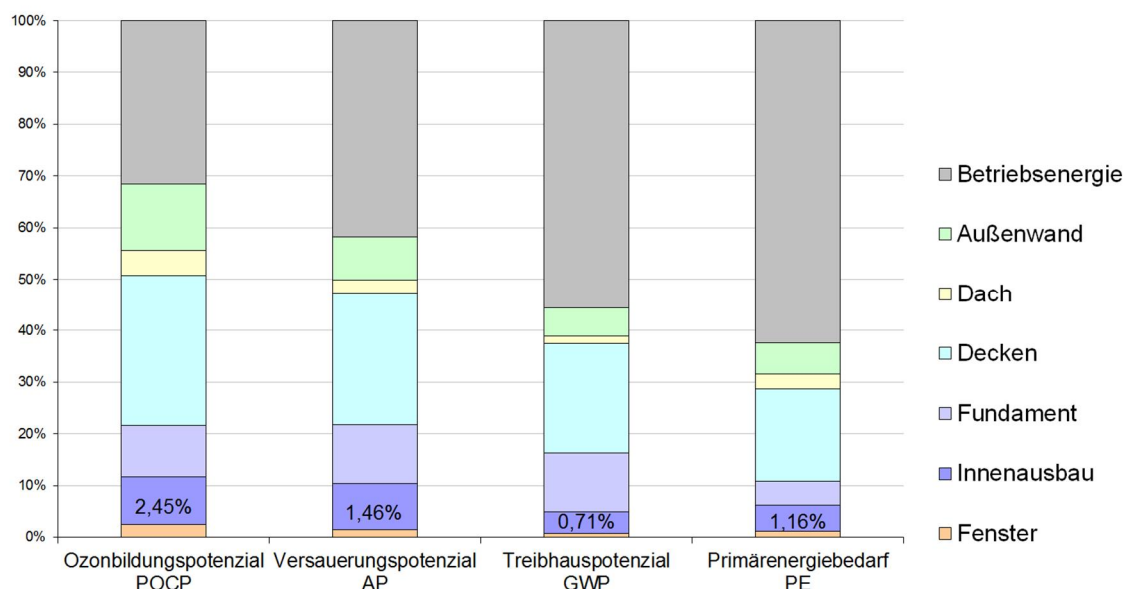


Abbildung 25: Darstellung der prozentuellen Verteilung der durch das Referenzgebäude hervorgerufenen Umweltwirkungen

Abbildung 25 zeigt, wie sich die gesamt durch ein Gebäude hervorgerufenen Umweltwirkungen Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial, Ozonbildungspotenzial und Primärenergiebedarf, die von einem prototypischen Wohngebäude über einen Zeitraum von 60 Jahren hervorgerufen werden, in ihrer Herkunft auf die verschiedenen Bauteile verteilen. Dabei wurde zur Darstellung der Auswirkungen der Fenster ein Mittelwert aus den vier untersuchten Rahmenmaterialtypen herangezogen.

Die Umweltwirkungen, die durch die erforderliche Betriebsenergie aus Heizen und Beleuchten im Betrachtungszeitraum hervorgerufen werden, sind grau dargestellt. Ihre Einflussgröße bewegt sich bei derzeitigem Energiestandard je nach Wirkkategorie in einer Größenordnung von ein bis zwei Drittel der Gesamtauswirkungen.

Farbig dargestellt sind die „Grauen Energien“ aus Herstellung und Entsorgung der Bauteile (Materialien). Die Abnutzung der Bauteile innerhalb des Betrachtungszeitraums wird durch einen



kompletten Tausch (Berechnung einer zusätzlichen Herstellung und Entsorgung) am Ende ihrer Lebensdauer abgebildet.

Der prozentuelle Anteil der durch die Fenster (Rahmen und Verglasung) hervorgerufenen Umweltwirkungen ist zwar mit 0,7 - 2,5 %, abhängig von der Wirkkategorie, im Verhältnis zu ihrem Masseanteil am Gesamtgebäude von nur etwa 0,25 % an der gesamten Gebäudemasse relativ hoch, aber insgesamt dennoch nicht als bestimmende Einflussgröße zu werten.

Von größerem Einfluss hinsichtlich Ökobilanz sind unabhängig vom Rahmenmaterial die bauphysikalische Qualität des Elementes und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Energiebedarf (grau) des Gebäudes.

Im Wohnbau, wo der Anteil an transparenten Fassadenelementen üblicherweise zwischen 20 und 30 % liegt, kann durch die Wahl unterschiedlicher Rahmenmaterialien insgesamt nur ein geringer Einfluss auf die Gesamtbilanz genommen werden (siehe Abbildung 25).

Um die Vor- und Nachteile der einzelnen Materialien beurteilen zu können, werden sie in den folgenden Darstellungen detailliert und nach Material differenziert abgebildet.

Analog zur Untersuchung der Auswirkungen der unterschiedlichen Lebensdauern auf die Kosten werden auch bei der Untersuchung der Ökobilanz die drei unterschiedlichen Lebensdauerszenarien dargestellt und miteinander verglichen.

Gezeigt wird jeweils, wieviel Prozent der vom Gebäude insgesamt hervorgerufenen Gesamtemissions- bzw. -verbrauchsmenge die unterschiedlichen Fenstertypen verantworten.

Alle Bewertungen basieren auf Daten des ift Rosenheim, deren Aussagekraft und Anwendbarkeit auf Österreich in den Kapiteln 3.1.4. und 3.1.5 ausführlich diskutiert wurden.

### 3.2.1 Szenario 1: Langfristige Betrachtung

Als erste Variante werden die Ökobilanzergebnisse nach der Lebensdauerannahme, welche im „Positionspapier ALU-FENSTER“ (Jodl et al., 2010) getroffen wurde, untersucht.

Das bedeutet, dass auf einen Betrachtungszeitraum von 60 Jahren Kunststofffenster zweimal, Holz- und Holz-Aluminiumfenster einmal und Aluminiumfenster gar nicht getauscht werden.

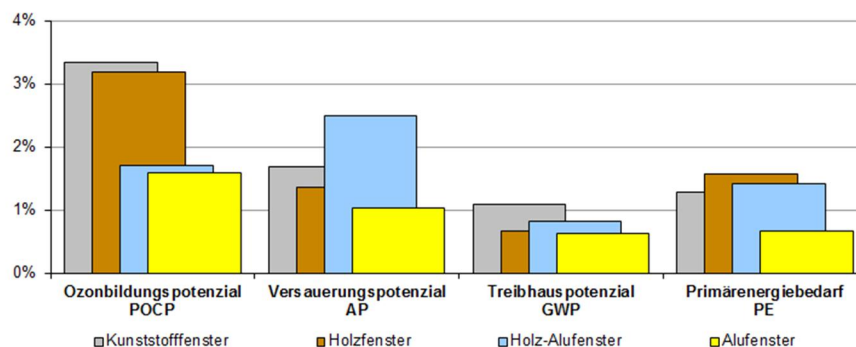


Abbildung 26: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 1

In der Grafik wird sichtbar, dass man in der Ökobilanz, bei der es sich ja um eine Untersuchung mehrerer Wirkkategorien handelt, nicht generell von einem besten oder schlechtesten Material sprechen kann.

Je nach Wirkkategorie haben die Materialien unterschiedlich zu reihende Auswirkungen. Während das Kunststofffenster etwa beim Ozonebildungspotenzial und beim Treibhauspotenzial die höchsten Emissionen zeigt, wird es beim Primärenergiebedarf bei Berechnung mit den zugrundeliegenden Daten des ift Rosenheim (v. Houwald et al., 2011) vom Holz- und Holz-Aluminiumfenster übertroffen.



Nur das Aluminiumfenster zeigt, unter der gewählten Annahme im Betrachtungszeitraum keinen Tausch zu erfahren, in allen Kategorien durchgehend die geringsten Auswirkungen auf die Umwelt. Dies ist eine Folge der, der Häufigkeit des Fenstertauschs entsprechenden, Vervielfachung der Wirkungen aus Herstellung und Entsorgung bei den anderen Fenstertypen.

Überraschend ist auch zu sehen, dass in den Kategorien Treibhauspotenzial und Primärenergieverbrauch das Holzfenster entgegen der landläufigen Meinung nicht besser abschneidet als das Aluminiumfenster. Das wäre bei einer ausschließlichen Betrachtung der Herstellungsphase anders.

### 3.2.2 Szenario 2: Kurzfristige Betrachtung

Um die Auswirkungen der einzelnen Rahmenmaterialien unabhängig von ihrer Lebensdauer beurteilen zu können, wird im nächsten Untersuchungsschritt eine Annahme gewählt, in der davon ausgegangen wird, dass alle Fenster, gleich welchen Materials, nach 30 Jahren einen Tausch erfahren.

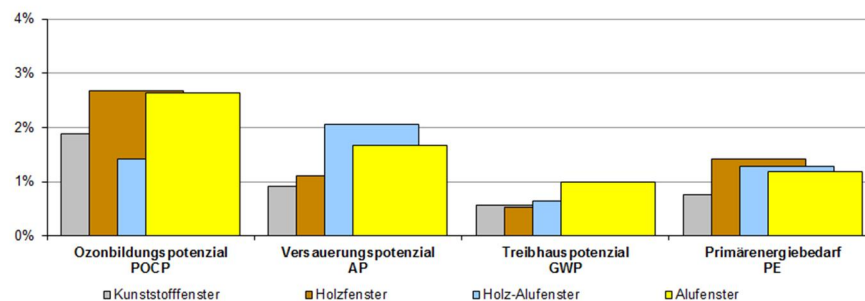


Abbildung 27: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 2

In dieser Annahme mit gleich langer Nutzungsdauer aller Fensterwerkstoffe geht der große Vorteil, den das Aluminiumfenster durch seine Langlebigkeit hat, verloren.

Wie in der vorigen Annahme ist aber auch hier kein durchgängig bestes oder schlechtestes Material festzumachen. Rahmenmaterialien die in der einen Kategorie am besten abschneiden, schneiden in einer anderen Kategorie am schlechtesten ab. Die Unterschiede zwischen den Materialien sind jedoch gering.

### 3.2.3 Szenario 3: Fachliteratur-Mittelwerte

Bei dem von den Studienautoren angenommenen Szenario, das von der aus allen Quellen gemittelten Lebensdauer ausgeht, werden in einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren die Aluminium- und die Holz-Aluminiumfenster gar nicht, die Holz- und die Kunststofffenster je einmal getauscht.

Die Auswirkungen auf die Umwelt stellen sich in der Ökobilanz wie folgt dar:

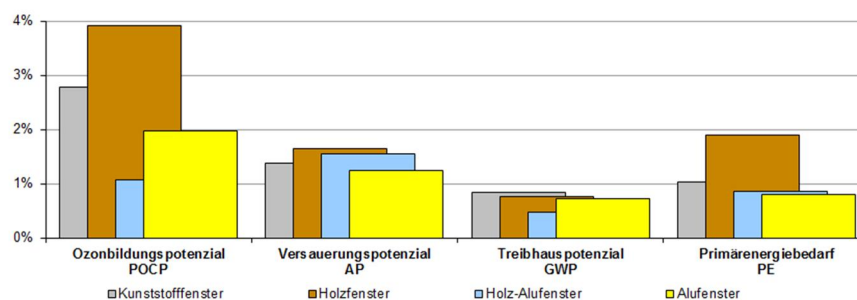


Abbildung 28: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 3

Wie auch bei den anderen beiden Szenarien kann kein durchgehend bestes oder schlechtestes Material identifiziert werden; auch hier haben unterschiedliche Materialien in den unterschiedlichen Wirkkategorien Vor- oder Nachteile. Grundsätzlich jedoch sind Holz-Aluminium- und Aluminiumfenster (mit einer Ausnahme) besser bewertet als Kunststoff- und Holz-Fenster.

Auffällig ist in diesem Fall wiederum der überraschend hohe Primärenergiebedarf des Holzrahmens gegenüber dem der anderen Rahmenmaterialien. Dies ergibt sich daraus, dass der über den Lebenszyklus generierte Primärenergiebedarf beim Holzfenster lt. den Erhebungen des ift Rosenheim (v. Houwald et al., 2011) in der Herstellungsphase an sich schon höher ist, als man annehmen würde, und dieser dann durch den zusätzlichen Fenstertausch noch verdoppelt wird.

### 3.2.4 Die Verglasung

In allen bisherigen Berechnungen wurden jeweils die gesamten Fensterelemente, inklusive der Verglasung, betrachtet. In der folgenden Darstellung sollen aber auch die Auswirkungen des Rahmenmaterials alleine, reduziert um die Auswirkungen der Verglasung gezeigt werden.

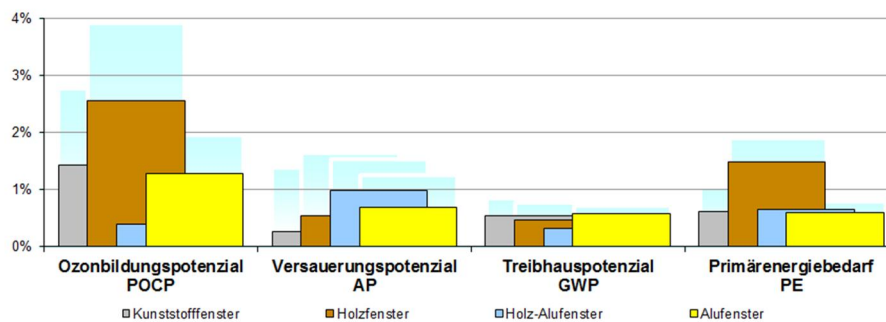


Abbildung 29: Anteil der Umweltwirkungen der Fensterrahmen (ohne Verglasung) am Gesamtgebäude nach Szenario 3

### 3.2.5 Zusammenfassung Ökobilanz

Der Beitrag der Umweltwirkungen, welche allein durch das Fensterrahmenmaterial hervorgerufen werden, ist, an der Gesamtgebäudebilanz gemessen, im Vergleich zu seinem Gewichtsanteil zwar als relativ hoch, in Summe aber, insbesondere im Wohnbau oder bei anderen Bautypen mit geringem Fensterflächenanteil, als nicht ausschlaggebend zu betrachten. Dies trifft auf alle Materialtypen gleichmäßig zu. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Rahmenmaterialien sind als gering einzuschätzen.

So beträgt etwa die größte durch unterschiedliche Rahmenmaterialien hervorgerufene Differenz, also das größtmögliche Verbesserungspotenzial, in allen drei untersuchten Szenarien hinsichtlich Treibhauspotenzial nicht mehr als 0,6 % der Gesamtgebäudewirkung. Dies entspricht etwa 7,2 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Wohneinheit und Jahr.

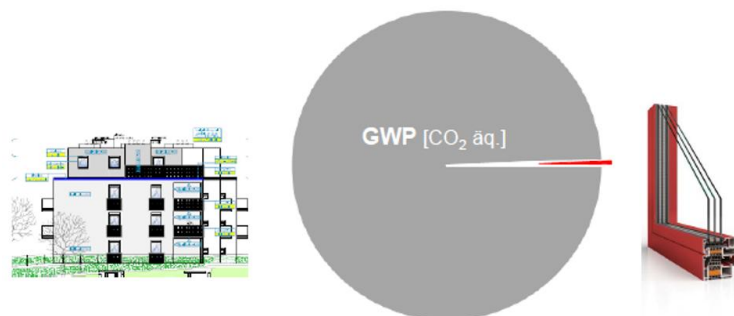


Abbildung 30: Die Fenstermaterialentscheidung wirkt sich mit maximal 0,6 % CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (GWP) in Relation zur Gesamtgebäudebilanz über den Lebenszyklus aus

Aus der Untersuchung der Ökobilanz in den unterschiedlichen Szenarien auf Basis der EPDs des ift Rosenheim (v. Houwald et al., 2011) kann, wie aus den Ergebnissen der Abschnitte 3.2.1 bis 3.2.3 deutlich wird, keine eindeutige Empfehlung für oder gegen ein Rahmenmaterial abgeleitet werden. Die Aussagekraft der EPD-Daten des ift Rosenheim ist in den Kapiteln 3.1.4 und 3.1.5. ausführlich diskutiert und von signifikanter Relevanz.

Abgesehen davon, dass in einer Ökobilanz immer mehrere Umweltwirkkategorien beurteilt werden und ein und dasselbe Material in der einen Kategorie besser und in einer anderen Kategorie schlechter zu bewerten sein kann als die Vergleichsmaterialien, kommt es vor allem auch durch die unterschiedlichen Annahmen des Betrachtungszeitraums und der Nutzungsdauer der verschiedenen Materialien zu Vor- oder Nachteilen in der Ökobilanz. Je länger der Betrachtungszeitraum ist, desto günstiger stellen sich langlebige, wartungsarme Rahmenmaterialien dar.

Bei der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus der Rahmenmaterialien werden die energetischen Nachteile, die das Aluminiumfenster in der Herstellungsphase hat, bereits durch den weitgehend geschlossenen Recyclingkreislauf annähernd ausgeglichen. Wird dann auch noch die durchschnittlich längere Lebensdauer des Aluminiumfensters miteinbezogen, gehen die umweltbezogenen Vorteile der anderen Fensterrahmentypen verloren und das Aluminiumfenster, das am wenigsten oft erneuert werden muss, stellt sich auch als die ökologisch sinnvollste Variante dar.

In jedem Fall gilt, dass je länger ein Material funktionserfüllend verwendet werden kann und je besser das Material dann wieder in den Stoffkreislauf eingebunden werden kann, bzw. auch tatsächlich wird, desto geringer sind seine Auswirkungen auf die Umwelt.

### 3.3 Ergebnis

Im Kontext einer umfassenden lebenszyklischen Gebäudeanalyse sind im Wohnbau aufgrund der hohen Auswirkungen des jahrzehntelangen Gebäudebetriebs und des geringen Fensterflächenanteils bei Lebenszykluskosten- und Ökobilanz-Potenzial nur geringe Unterschiede im Vergleich zwischen den unterschiedlichen Fensterrahmenmaterialien feststellbar.

Die Lebenszykluskosten variieren abhängig von der Berechnungsmethodik, zeigen aber eine Tendenz: Aluminiumfenster weisen am Ende der gewählten Betrachtungszeiträume einen geringeren Anteil an den Lebenszykluskosten auf, als an den Baukosten zum Zeitpunkt der Errichtung. Fenster mit Holz-Aluminiumrahmen weisen ähnliche Trendlinien auf, jedoch nicht in dem gleichen Ausmaß wie Aluminiumfenster. Die anderen untersuchten Rahmenmaterialien weisen entsprechend der jeweiligen Berechnungsmethodik sehr unterschiedliche Ergebnisse auf, wobei es, abgesehen von der kurzfristigen Betrachtung, vermehrt zu Erhöhungen hinsichtlich ihres Anteils an den Lebenszykluskosten kommt. Bei der kurzfristigen Betrachtung weisen alle untersuchten Rahmenmaterialien eine Verringerung des Lebenszykluskostenpotenzials auf; dies ist auf die einheitliche Nutzungsdauer aller Fenstersysteme in diesem Szenario zurückzuführen.

Dies wird vor allem dann sichtbar, wenn die Betrachtungszeiträume entsprechend lange gewählt werden und die Nutzungsdauer auch der technischen Lebensdauer entspricht. Wenn Fenster vor Erreichen der technischen Lebensdauer erneuert werden, werden Rahmenwerkstoffe mit geringen Erstinvestitionskosten wirtschaftlich; ist jedoch eine längerfristige Betrachtung mit entsprechender Ausnutzung von höheren Lebensdauern gefragt, so haben langlebige, wartungsarme Fenster, zum Beispiel aus Aluminium wirtschaftliche Vorteile.

Bei der Ökobilanz<sup>3</sup> zeigt sich, dass gerade im Wohnbau, mit einem durchschnittlich geringen Fensterflächenanteil von 20-30 %, der Einfluss des Rahmenmaterials von Fenstern auf die Gesamtgebäudebilanz von untergeordneter Bedeutung ist, da hier der mit Abstand größte Einflussfaktor die durch den Betrieb des Gebäudes hervorgerufenen Umweltwirkungen sind.

Eine wesentlich größere Rolle spielt daher die bauphysikalische Qualität der Fensterelemente und der damit verbundene Einfluss auf den Energieverbrauch infolge Heizen, Lüften und gegebenenfalls Kühlen.

Insbesondere unter Berücksichtigung des Recyclingpotenzials betragen die Unterschiede zwischen den einzelnen Rahmenmaterialien in Abhängigkeit von der Wirkkategorie etwa 0,4 bis max. 2 %. Dabei kann kein Material in den vier untersuchten Wirkkategorien Ozonbildungspotenzial, Versauerungspotenzial, Treibhauspotenzial und Primärenergiebedarf durchgehend als das Beste oder das Schlechteste festgehalten werden.

Was sich aber eindeutig zeigt ist, dass eine höhere Qualität, die damit verbundene längere Nutzungsdauer und vor allem ein hochwertiges Recycling und die größtmögliche Reintegration der rückgebauten Fensterelemente in den Stoffkreislauf in allen untersuchten Umweltwirkkategorien deutlich sichtbare Verbesserungen bringen.

---

<sup>3</sup> Die Gegenüberstellung der Rahmenmaterialien in dieser Arbeit erfolgt nur hinsichtlich angegebener Wirkkategorien und ist damit keine umfassende ökologische Bewertung oder Beurteilung der generellen Nachhaltigkeit der Produkte.

### 3.4 Glossar

#### **Barwert**

Der Barwert (Gegenwartswert, aus dem Englischen: present value) ist der Wert, den zukünftige Zahlungen in der Gegenwart besitzen. Er wird durch Abzinsung der zukünftigen Zahlungen und anschließendes Summieren ermittelt.

#### **Betrachtungszeitraum**

Gibt die zeitliche Bilanzgrenze einer Lebenszykluskostenberechnung in Jahren an. Für die kumulierten Lebenszykluskosten werden die Investitions-, Folge- und Erneuerungskosten über die Jahre des Betrachtungszeitraumes addiert und diskontiert. Mit Wahl des Betrachtungszeitraumes steuert die Analyse auch die Berücksichtigung etwaiger Erneuerungszyklen.

#### **BKI**

- A) **Baukostenindex:** Die Baukostenindizes beobachten die Entwicklung der Kosten, die den Bauunternehmern bei der Ausführung von Bauleistungen durch Veränderung der Kostengrundlagen (Material und Arbeit) entstehen (Statistik Austria).
- B) **Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern** ist die zentrale Service-Einrichtung für über 100.000 ArchitektInnen in Deutschland. Die BKI-Baukostendatenbank umfasst derzeit über 2.400 abgerechnete Projekte zu Neubauten, Altbauten und Freianlagen. Diese sind die Grundlage für das BKI-Fachinformationsprogramm im Bereich der Kostenplanung ([www.baukosten.de](http://www.baukosten.de)).

#### **Photochemisches Ozonbildungspotenzial, POCP (Photochemical Ozone Creation Potential)**

Unter Einwirkung von Sonnenstrahlung entstehen aus Stickoxid und Kohlenwasserstoffemissionen unter komplexen chemischen Reaktionen aggressive Reaktionsprodukte, wobei das wichtigste Reaktionsprodukt Ozon ist. Stickoxide allein bewirken keine hohe Ozonkonzentration. Allerdings bilden sie gemeinsam mit Kohlenwasserstoffen, die bei unvollständiger Verbrennung, beim Umgang mit Ottokraftstoffen (Lagerung, Umschlag, Tanken etc.) oder beim Umgang mit Lösungsmitteln auftreten, Ozon mit erhöhter Konzentration.

Photochemische Ozonbildung in der Troposphäre, auch als Sommersmog bezeichnet, steht im Verdacht, zu Vegetations- und Materialschäden zu führen. Höhere Konzentrationen von Ozon sind humantoxisch.

Hohe Ozonkonzentrationen treten bei starker Sonneneinstrahlung, geringer Luftfeuchtigkeit, geringem Luftaustausch sowie hohen Kohlenwasserstoffkonzentrationen auf. Da das Vorhandensein von CO (meist vom Verkehr) das gebildete Ozon zu CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> reduziert, kommt es in unmittelbarer Nähe der Emissionsquellen oft nicht zu den höchsten Ozon-Konzentrationen. Diese treten eher in Reinluftgebieten (z.B. Wäldern) auf, in welchen die UV-Strahlung der Sonne nicht durch eine Staubschicht reduziert wird und kaum CO vorhanden ist. Das Photooxidantienpotenzial (POCP) wird in der Ökobilanz als Ethen Äquivalent (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-Äq.) angegeben.

#### **BREEAM**

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology), wurde 1990 vom Building Research Establishment (BRE) in Großbritannien veröffentlicht und ist eines der ältesten Zertifizierungssysteme zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden.

Ziel ist unter Besitzern, Benutzern, Planern und Betreibern das Bewusstsein für die Vorteile eines nachhaltigen Zugangs zu wecken.

#### **DGNB**

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., ist eine Non-Profit- und Nichtregierungsorganisation, deren Aufgabe es ist, Wege und Lösungen für nachhaltiges Planen, Bauen und Nutzen von Bauwerken zu entwickeln und zu fördern. Im Zentrum ihrer Arbeit stehen der Auf- und Ausbau eines Zertifizierungssystems für nachhaltige Bauten sowie die Vergabe eines Zertifikats in den Qualitätsstufen Gold, Silber und Bronze. Die Gesellschaft wurde 2007 von 40 Organisationen aus der Bau- und Immobilienwirtschaft gegründet.

### **Diskontzinssatz**

Bei einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung (wie LZ) wird, aus dem Finanzbereich bekannt, die Kapitalwertmethode angewandt, bei der die Variable Zeit mit Hilfe eines Diskontsatzes (Discount rate) in die Berechnung eingebracht wird. Dies führt zu einem auf ein beliebiges Jahr gerechneten Barwert (Net Present Value) des Objektes/Anlage.

### **Lebensdauer**

Hiermit ist meist die technische Lebensdauer (engl. service life) gemeint und beschreibt in Jahren [a] die entsprechend Materialeigenschaften und Verarbeitungsqualitäten erreichbare, technische Lebensdauer für ein Bauteil/Anlage/Gewerk.

### **LEED**

Die Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) (übersetzt etwa: Führerschaft in energie- und umweltgerechter Planung) ist ein System zur Klassifizierung für ökologisches Bauen, das 1998 vom U.S. Green Building Council entwickelt wurde. Es definiert eine Reihe von Standards für umweltfreundliches, ressourcenschonendes und nachhaltiges Bauen.

### **LZK**

Lebenszykluskosten: Summe an Investitions- und Folgekosten die innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraum auftreten. Lebenszykluskostenanalyse (Life Cycle Cost Analysis: LCCA)

### **Nutzungsdauer**

Die Nutzungsdauer kann von der technische Lebensdauer abweichen und beschreibt in Jahren [a] die Zeitspanne, die ein Bauteil/Anlage/Gewerk genutzt wird bzw. in Betrieb sein kann.

### **Objektlebenszyklus**

Zeitabschnitt, der alle Phasen der Lebensdauer eines Objekts umfasst und sich in die Phasen Objektplanung und -errichtung, Objektnutzung, und Abbruch und Objektbeseitigung gliedert (ÖNORM B 1801-2, 2011).

### **ÖGNB**

Die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB) versteht sich als Dachorganisation für all jene Unternehmen, Institutionen und auch Einzelpersonen in Österreich, die an einer Höherqualifizierung der österreichischen Bauwirtschaft im Sinne des Nachhaltigen Bauens interessiert sind. Das von der ÖGNB verwendete Gebäudezertifikat ist das TQB, wobei TQB für Total Quality Building steht. Die Entwicklung von TQB wurde 1998 gestartet und ist wie zahlreiche andere Gebäudebewertungssysteme auf die internationale Initiative „Green Building Challenge“ zurückzuführen. TQB dokumentiert die Qualität eines Gebäudes von der Planung über den Bau bis zur Nutzung im TQ-Gebäudezertifikat.

### **ÖGNI**

Die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) ist eine Nichtregierungs- und Non-Profit-Organisation zur Förderung des nachhaltiges Planens, Bauens und Nutzens von Bauwerken in Österreich.

Im Zentrum der Vereinsarbeit steht die Zertifizierung von Gebäuden mit einem Gütesiegel in Bezug auf Nachhaltigkeit in den Qualitätsstufen Gold, Silber und Bronze sowie die Etablierung von CSR-Standards.

Der Verein schloss im Juni 2009 auf der Fachmesse Consense 2009 in Stuttgart mit der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e. V. (DGNB) einen Kooperationsvertrag ab. Dabei wurde insbesondere vereinbart, dass die ÖGNI das in Deutschland verbreitete Gebäudezertifizierungssystem der DGNB für Österreich übernehmen und anpassen kann.

### **OI3-Index**

Der OI3-Index stellt einen aggregierten Kennwert der Ökokennzahlen Bedarf an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen (PEI<sub>ne</sub>), Treibhauspotential (GWP) und Versauerungspotential (AP) dar. Den Ökokennzahlen für 1m<sup>2</sup> einer Baukonstruktion wird ein OI3-Index zugeordnet, der typischerweise einen Wertebereich von 0 - 100 Punkte umfasst. Je höher der OI3-Index für 1m<sup>2</sup> eines Bauteils, desto höher sind die "ökologische Kosten" für die Herstellung dieses Bauteils.

### **Primärenergiebedarf erneuerbar/nicht erneuerbar PE<sub>e</sub>/PE<sub>ne</sub>**

Der Primärenergieeinsatz ist das Quantum an direkt aus der Hydrosphäre, Atmosphäre oder Geosphäre entnommenen Energie oder bezeichnet Energieträger, die noch keiner anthropogenen Umwandlung unterworfen wurden. Er ergibt sich aus dem Endenergieverbrauch und den Verlusten, die bei der Erzeugung der Endenergie aus der Primärenergie auftreten.

Der Primärenergieverbrauch kann durch unterschiedliche Arten an Energiequellen gedeckt werden. Als aggregierte Werte werden üblicherweise folgende Primärenergien ausgewiesen:

Der Summenwert „Primärenergieeinsatz nicht erneuerbar (PE<sub>ne</sub>)“ angegeben in MJ charakterisiert im Wesentlichen den Einsatz der Energieträger Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran. Erdgas und Erdöl werden sowohl zur Energieerzeugung, als auch stofflich als Bestandteil z.B. von Kunststoffen eingesetzt. Kohle wird im Wesentlichen zur Energieerzeugung genutzt. Uran wird ausschließlich zur Stromgewinnung in Kernkraftwerken eingesetzt.

Der Summenwert „Primärenergieeinsatz erneuerbar (PE<sub>e</sub>)“ angegeben in MJ wird in der Regel separat ausgewiesen und umfasst Wind- und Wasserkraft, Solarenergie und Biomasse.

In der vorliegenden Arbeit wird der aggregierte Wert PE<sub>ges</sub>, der sich aus den Werten aus PE<sub>ne</sub> und PE<sub>e</sub> zusammensetzt, angegeben.

### **Treibhauspotenzial, GWP (Global Warming Potential)**

Der Wirkungsmechanismus des Treibhauseffektes kann im kleineren Maßstab, wie der Name schon sagt, in Gewächs- oder Treibhäusern beobachtet werden. Dieser Effekt findet auch im globalen Maßstab statt. Die eintreffende kurzwellige Sonnenstrahlung trifft auf die Erdoberfläche, wird dort teilweise absorbiert (was zu einer direkten Erwärmung führt) und teilweise als Infrarotstrahlung reflektiert. Der reflektierte Anteil wird in der Troposphäre durch sogenannte Treibhausgase absorbiert und richtungsunabhängig wieder abgestrahlt, sodass die Strahlung teilweise wieder zur Erde zurückgestrahlt wird.

Zusätzlich zum natürlichen Treibhauseffekt ist aufgrund menschlicher Aktivitäten ein anthropogener Anteil am Treibhauseffekt zu verzeichnen. Zu den anthropogen freigesetzten Treibhausgasen gehören beispielsweise Kohlendioxid, Methan und synthetische Fluorgase wie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), FCKWs und HFKWs.

Das Treibhauspotenzial wird als Kohlendioxid - Äquivalent (CO<sub>2</sub>-Äq.) angegeben. Dies bedeutet, dass alle Emissionen bezüglich ihres potenziellen Treibhauseffekts zu CO<sub>2</sub> ins Verhältnis gesetzt werden. Da die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre in die Berechnung mit einfließt, muss der für die Abschätzung betrachtete Zeithorizont immer mit angegeben werden. Üblich ist ein Bezug auf 100 Jahre.

### **Versauerungspotenzial, AP (Acidification Potential)**

Die Versauerung von Böden und Gewässern entsteht überwiegend durch die Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren. Daraus resultiert eine Verringerung des pH-Werts von Regenwasser und Nebel von 5,6 auf 4 und darunter. Relevante Beiträge hierzu liefern Schwefeldioxid und Stickoxide mit ihren Säuren (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und HNO<sub>3</sub>).

Schäden entstehen an Ökosystemen, wobei vor allem das Waldsterben und die Versauerung der Gewässer zu nennen sind. Es kommt dabei zu einer direkten Schädigung oder indirekten Schädigung (Nährstoffauswaschung aus den Böden, verstärkte Löslichkeit von Metallen im Boden).

Aber auch bei Bauwerken und Baustoffen nehmen die Schäden zu. Beispiele hierzu sind Metalle und Natursteine, die verstärkter Korrosion oder Zersetzung ausgesetzt sind.

Die Fähigkeit bestimmter Stoffe, H<sup>+</sup>-Ionen zu bilden und abzugeben wird als Versauerungspotenzial bezeichnet und in Schwefeldioxid-Äquivalenten (SO<sub>2</sub>-Äq.) angegeben. Bei der Bewertung der Versauerung ist zu berücksichtigen, dass es sich zwar um ein globales Problem handelt, die Effekte regional jedoch unterschiedlich ausfallen können.

### 3.5 Daten

	Aluminium	Holz/Alu	Kunststoff/Alu	Kunststoff	Holz
Szenario 1 Langfristig	3,8	6,1	7,5	6,3	6,7
Szenario 2 Kurzfristig	4,7	4,2	3,5	2,8	4,1
Szenario 3 Fachliteratur	4,1	4,3	6,2	5,4	7,1

*Ergebnisse: Anteil [%] an Lebenszykluskosten einzelner Fensterrahmenmaterialien entsprechend Szenario und Rahmenmaterial*

#### Grunddaten für fiktiven Wohnbau – Referenzobjekt für Modellrechnung:

NGF	2.854	m <sup>2</sup>
Wohnnutzfläche	2.257	m <sup>2</sup>
Gebäudehüllfläche	4.699	m <sup>2</sup>
beheiztes Bruttovolumen	8.900	m <sup>3</sup>
BGF gesamt inkl. Garage	5.030	m <sup>2</sup>
BGF ohne Garage	3.240	m <sup>2</sup>
Fensterfläche	635	m <sup>2</sup>
Stück öffnbare Fenster	145	Stk.
Wohneinheiten	28	Stk.
Stellplätze TG	38	Stk.



**Szenario 1: Barwerte Lebenszykluskosten Gesamtgebäude für Szenario langfristige Betrachtung**
**Langfristige Betrachtung**

Jahre	Aluminium	Holz/Alu	Holz	Kunststoff/ Alu	Kunststoff
1	4.245.000	4.197.750	4.166.250	4.150.500	4.103.250
2	4.334.842	4.289.445	4.261.112	4.243.894	4.196.567
3	4.424.490	4.380.929	4.355.731	4.337.060	4.289.657
4	4.513.952	4.472.209	4.450.116	4.430.007	4.382.527
5	4.603.238	4.563.294	4.544.276	4.522.742	4.475.187
6	4.692.354	4.654.193	4.638.221	4.615.275	4.567.646
7	4.781.311	4.744.915	4.731.958	4.707.615	4.659.913
8	4.870.116	4.835.468	4.825.497	4.799.770	4.751.995
9	4.958.777	4.925.861	4.918.847	4.891.750	4.843.902
10	5.052.159	5.020.957	5.016.873	4.988.418	4.940.499
11	5.140.559	5.111.055	5.109.870	5.080.071	5.032.082
12	5.228.840	5.201.017	5.202.705	5.171.575	5.123.516
13	5.317.011	5.290.853	5.295.385	5.262.937	5.214.808
14	5.405.081	5.380.571	5.387.920	5.354.167	5.305.969
15	5.500.715	5.477.838	5.487.975	5.452.930	5.404.664
16	5.588.606	5.567.346	5.580.245	5.543.920	5.495.587
17	5.676.420	5.656.761	5.672.396	5.634.803	5.586.403
18	5.873.337	5.855.264	5.873.607	5.834.759	5.786.293
19	5.961.023	5.944.520	5.965.546	5.925.454	5.876.923
20	6.053.373	6.038.425	6.062.107	6.020.785	5.972.189
21	6.140.963	6.127.555	6.153.868	6.111.326	6.062.666
22	6.228.517	6.216.634	6.245.552	6.201.804	6.153.080
23	6.316.045	6.305.672	6.337.169	6.292.225	6.243.439
24	6.403.553	6.394.675	6.428.728	6.382.600	6.333.751
25	6.606.052	6.598.655	6.635.237	6.778.334	6.685.496
26	6.693.547	6.687.617	6.726.704	6.868.640	6.775.741
27	6.781.048	6.776.570	6.818.139	6.958.925	6.865.966
28	6.868.563	6.865.524	6.909.549	7.049.197	6.956.178
29	6.956.101	6.954.485	7.000.944	7.139.464	7.046.386
30	7.061.077	7.060.872	7.109.740	7.247.144	7.154.006
31	7.148.684	7.149.876	7.201.130	7.337.428	7.244.232
32	7.236.338	7.238.913	7.292.530	7.427.733	7.334.480
33	7.324.048	7.327.992	7.383.950	7.518.068	7.424.757
34	7.411.821	7.417.122	7.475.396	7.608.440	7.515.074
35	7.712.842	7.719.487	7.780.056	7.912.037	7.818.614
36	7.904.355	7.912.329	7.975.171	8.106.099	8.012.621
37	7.992.368	8.001.660	8.066.752	8.196.637	8.103.104
38	8.080.478	8.091.074	8.158.395	8.287.247	8.193.660
39	8.168.693	8.180.581	8.250.109	8.377.939	8.284.297
40	8.403.780	8.413.584	8.676.469	8.593.052	8.499.358
41	8.492.230	8.503.300	8.768.350	8.683.931	8.590.183
42	8.580.810	8.593.135	8.860.328	8.774.915	8.681.116
43	8.669.528	8.683.096	8.952.411	8.866.015	8.772.164
44	8.758.393	8.773.191	9.044.608	8.957.238	8.863.335
45	8.854.429	8.870.445	9.143.944	9.055.609	8.961.656
46	8.943.612	8.960.835	9.236.395	9.147.105	9.053.101
47	9.032.967	9.051.385	9.328.986	9.238.750	9.144.697
48	9.122.502	9.142.104	9.421.726	9.330.553	9.236.451
49	9.212.226	9.232.999	9.514.623	9.422.523	9.328.372
50	9.409.060	9.648.839	9.701.031	9.798.588	9.663.551
51	9.499.187	9.740.114	9.794.269	9.890.917	9.755.832
52	9.589.527	9.831.592	9.887.692	9.983.439	9.848.306
53	9.680.090	9.923.282	9.981.307	10.076.161	9.940.981
54	9.869.172	10.113.481	10.173.412	10.267.383	10.132.157
55	9.960.206	10.205.619	10.267.438	10.360.535	10.225.262
56	10.051.487	10.297.995	10.361.683	10.453.914	10.318.595
57	10.143.025	10.390.617	10.456.157	10.547.529	10.412.166
58	10.234.828	10.483.493	10.550.867	10.641.389	10.505.981
59	10.326.905	10.576.633	10.645.823	10.735.504	10.600.051
60	10.423.462	10.674.243	10.745.230	10.834.078	10.698.582

(Barwerte in EUR für 2014)

## Szenario 2: Barwerte Lebenszykluskosten Gesamtgebäude für Szenario kurzfristige Betrachtung

### Kurzfristige Betrachtung

Jahre	Aluminium	Holz/Alu	Holz	Kunststoff/ Alu	Kunststoff
1	4.245.000	4.197.750	4.166.250	4.150.500	4.103.250
2	4.334.595	4.287.871	4.257.422	4.240.358	4.193.108
3	4.423.999	4.377.795	4.348.386	4.330.022	4.282.772
4	4.513.219	4.467.530	4.439.153	4.419.500	4.372.250
5	4.602.265	4.557.086	4.529.730	4.508.801	4.461.551
6	4.691.144	4.646.471	4.620.125	4.597.933	4.550.683
7	4.779.866	4.735.693	4.710.348	4.686.904	4.639.654
8	4.868.438	4.824.761	4.800.407	4.775.724	4.728.474
9	4.956.868	4.913.682	4.890.310	4.864.400	4.817.150
10	5.050.023	5.007.323	4.984.923	4.957.798	4.910.548
11	5.138.196	5.095.978	5.074.540	5.046.212	4.998.962
12	5.226.254	5.184.512	5.164.028	5.134.508	5.087.258
13	5.314.203	5.272.933	5.253.393	5.222.693	5.175.443
14	5.402.053	5.361.251	5.342.646	5.310.777	5.263.527
15	5.497.470	5.457.130	5.439.451	5.406.425	5.359.175
16	5.585.145	5.545.264	5.528.502	5.494.330	5.447.080
17	5.672.747	5.633.319	5.617.465	5.582.158	5.534.908
18	5.869.452	5.830.475	5.815.519	5.779.089	5.731.839
19	5.956.929	5.918.396	5.904.331	5.866.788	5.819.538
20	6.049.072	6.010.981	5.997.797	5.959.151	5.911.901
21	6.136.457	6.098.802	6.086.492	6.046.755	5.999.505
22	6.223.809	6.186.586	6.175.140	6.134.322	6.087.072
23	6.311.135	6.274.340	6.263.751	6.221.863	6.174.613
24	6.398.444	6.362.074	6.352.333	6.309.384	6.262.134
25	6.586.150	6.550.199	6.541.298	6.497.299	6.450.049
26	6.673.450	6.637.915	6.629.845	6.584.807	6.537.557
27	6.760.757	6.725.634	6.718.388	6.672.321	6.625.071
28	6.848.081	6.813.366	6.806.935	6.759.849	6.712.599
29	6.935.429	6.901.118	6.895.495	6.847.398	6.800.148
30	7.040.218	7.006.306	7.001.483	6.952.387	6.905.137

(Barwerte in EUR für 2014)

**Szenario 3: Barwerte Lebenszykluskosten Gesamtgebäude für Szenario Fachliteratur Mittelwerte**
**Fachliteratur Mittelwerte**

Jahre	Aluminium	Holz/Alu	Holz	Kunststoff/ Alu	Kunststoff
1	4.245.000	4.197.750	4.166.250	4.150.500	4.103.250
2	4.334.842	4.289.445	4.261.112	4.243.894	4.196.567
3	4.424.490	4.380.929	4.355.731	4.337.060	4.289.657
4	4.513.952	4.472.209	4.450.116	4.430.007	4.382.527
5	4.603.238	4.563.294	4.544.276	4.522.742	4.475.187
6	4.692.354	4.654.193	4.638.221	4.615.275	4.567.646
7	4.781.311	4.744.915	4.731.958	4.707.615	4.659.913
8	4.870.116	4.835.468	4.825.497	4.799.770	4.751.995
9	4.958.777	4.925.861	4.918.847	4.891.750	4.843.902
10	5.052.159	5.020.957	5.016.873	4.988.418	4.940.499
11	5.140.559	5.111.055	5.109.870	5.080.071	5.032.082
12	5.228.840	5.201.017	5.202.705	5.171.575	5.123.516
13	5.317.011	5.290.853	5.295.385	5.262.937	5.214.808
14	5.405.081	5.380.571	5.387.920	5.354.167	5.305.969
15	5.500.715	5.477.838	5.487.975	5.452.930	5.404.664
16	5.588.606	5.567.346	5.580.245	5.543.920	5.495.587
17	5.676.420	5.656.761	5.672.396	5.634.803	5.586.403
18	5.873.337	5.855.264	5.873.607	5.834.759	5.786.293
19	5.961.023	5.944.520	5.965.546	5.925.454	5.876.923
20	6.053.373	6.038.425	6.062.107	6.020.785	5.972.189
21	6.140.963	6.127.555	6.153.868	6.111.326	6.062.666
22	6.228.517	6.216.634	6.245.552	6.201.804	6.153.080
23	6.316.045	6.305.672	6.337.169	6.292.225	6.243.439
24	6.403.553	6.394.675	6.428.728	6.382.600	6.333.751
25	6.606.052	6.598.655	6.635.237	6.587.937	6.539.026
26	6.693.547	6.687.617	6.726.704	6.678.243	6.629.271
27	6.781.048	6.776.570	6.818.139	6.768.528	6.719.496
28	6.868.563	6.865.524	6.909.549	6.858.800	6.809.708
29	6.956.101	6.954.485	7.000.944	6.949.067	6.899.916
30	7.061.077	7.060.872	7.109.740	7.056.747	7.007.536
31	7.148.684	7.149.876	7.201.130	7.147.031	7.097.762
32	7.236.338	7.238.913	7.292.530	7.237.336	7.188.010
33	7.324.048	7.327.992	7.383.950	7.327.670	7.278.287
34	7.411.821	7.417.122	7.475.396	7.418.043	7.368.604
35	7.712.842	7.719.487	7.780.056	7.721.640	7.828.580
36	7.904.355	7.912.329	7.975.171	7.915.702	8.022.586
37	7.992.368	8.001.660	8.066.752	8.006.240	8.113.070
38	8.080.478	8.091.074	8.158.395	8.096.850	8.203.626
39	8.168.693	8.180.581	8.250.109	8.187.541	8.294.263
40	8.403.780	8.413.584	8.676.469	8.598.872	8.509.323
41	8.492.230	8.503.300	8.768.350	8.689.751	8.600.149
42	8.580.810	8.593.135	8.860.328	8.780.735	8.691.081
43	8.669.528	8.683.096	8.952.411	8.871.835	8.782.129
44	8.758.393	8.773.191	9.044.608	8.963.058	8.873.301
45	8.854.429	8.870.445	9.143.944	9.061.429	8.971.621
46	8.943.612	8.960.835	9.236.395	9.152.925	9.063.067
47	9.032.967	9.051.385	9.328.986	9.244.570	9.154.663
48	9.122.502	9.142.104	9.421.726	9.336.374	9.246.416
49	9.212.226	9.232.999	9.514.623	9.428.343	9.338.337
50	9.395.491	9.417.424	9.701.031	9.613.832	9.523.778

*(Barwerte in EUR für 2014)*

Ökobilanzdaten nach Lebenszyklusphasen gem. prEN 15804

Quelle: Muster-EPDs des ift-Rosenheim ([www.ift-rosenheim.de/environmental-product-declaration](http://www.ift-rosenheim.de/environmental-product-declaration))

		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D1	Summe
Ökobilanzdaten nach Lebenszyklusphasen gem. prEN 15804		Rohstoffgewinnung	Transport	Herstellung	Transport	Einbau/Installation	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Renovierung, Sanierung	Energieverbrauch im Betrieb	Wasserverbrauch im Betrieb	Rückbau	Transport	Recycling	Entsorgung/Endlagerung	Recyclingpotenzial	Herstellung A+ Nachnutzung C+ Recyclingpot. D
		Herstellungsphase					Nutzungsphase							Nachnutzungsphase			Recyclingpotenzial	Summe der Wirkungen	
<b>Aluminiumfenster</b>																			
GWP	kg CO <sub>2</sub> Äqv.			157											13			-119	51 kg CO <sub>2</sub> Äqv.
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.			0,482											0,001			-0,0172	0,032 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.
AP	kg SO <sub>2</sub> Äqv.			0,73											0,012			-0,573	0,169 kg SO <sub>2</sub> Äqv.
PE <sub>ne</sub>	MJ			2253											58			-1510	801 MJ
PE <sub>e</sub>	MJ			397											1			-356	42 MJ
PE <sub>ges</sub>	MJ			2650											59			-1866	843 MJ
<b>Holz-Metallfenster</b>																			
GWP	kg CO <sub>2</sub> Äqv.			54											1,76			-22,15	33,61 kg CO <sub>2</sub> Äqv.
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.			0,03											-0,000165			-0,01	0,0198 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.
AP	kg SO <sub>2</sub> Äqv.			0,45											0,00855			-0,25	0,2086 kg SO <sub>2</sub> Äqv.
PE <sub>ne</sub>	MJ			1209,1											30,91			-562,97	677,04 MJ
PE <sub>e</sub>	MJ			317,55											4,31			-92,41	229,45 MJ
PE <sub>ges</sub>	MJ			1526,65											35,22			-655,38	906,49 MJ
<b>Holzfenster</b>																			
GWP	kg CO <sub>2</sub> Äqv.			39											29			-41	27 kg CO <sub>2</sub> Äqv.
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.			0,0305											0,0006			0,0014	0,0325 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.
AP	kg SO <sub>2</sub> Äqv.			0,26											0,007			-0,155	0,112 kg SO <sub>2</sub> Äqv.
PE <sub>ne</sub>	MJ			1089											16			-514	591 MJ
PE <sub>e</sub>	MJ			436											0			-19	417 MJ
PE <sub>ges</sub>	MJ			1525											16			-533	1008 MJ
<b>Kunststofffenster</b>																			
GWP	kg CO <sub>2</sub> Äqv.			85											14			-63	36 kg CO <sub>2</sub> Äqv.
POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.			0,0334											0,0038			-0,0122	0,025 kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Äqv.
AP	kg SO <sub>2</sub> Äqv.			0,332											0,018			-0,267	0,083 kg SO <sub>2</sub> Äqv.
PE <sub>ne</sub>	MJ			1393											200			-1000	593 MJ
PE <sub>e</sub>	MJ			85											13			-20	78 MJ
PE <sub>ges</sub>	MJ			1478											213			-1020	671 MJ

wird in der vorliegenden Studie auf anderem Weg abgebildet (s. S. 32)

### 3.6 Literaturverzeichnis

Agethen, Frahm, Renz, Thees (2008)  
Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte  
BTE – Bund Technischer Experten e.V.  
[www.expertebte.de](http://www.expertebte.de)

Asif, M., Davidson, A. & Muneer, T. (2002)  
Life cycle of window materials – A comparative assessment  
Retrieved from [www.cibse.org/pdfs/Masif.pdf](http://www.cibse.org/pdfs/Masif.pdf)

Asif, Muneer, & Kubie (2005)  
Sustainability analysis of window frames  
Building Engineering Research and Technology, 2005; 26; p.71-87; DOI: 10.1191/0143624405bt118tn

Baubook  
Webplattform Ökologische Bauprodukte  
[www.baubook.at](http://www.baubook.at)

Berk, J., & DeMarzo, P. (2007)  
Corporate Finance  
Stanford: Pearson

BGBl.855/1993, (1993)  
855. Verordnung: Cadmiumverordnung  
[www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?Abfrage=BgblPdf&Dokumentnummer=1993\\_855\\_0](http://www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?Abfrage=BgblPdf&Dokumentnummer=1993_855_0)

Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern. (2013)  
BKI Baukosten 2013, Fachbuch - Statistische Kostenkennwerte für GebäudeTeil 1  
Köln: Rudolf Müller

BMVBS (2011)  
Leitfaden Nachhaltiges Bauen  
Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

BTE (2008)  
Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte  
Webpräsenz des Bundes technischer Experten e. V., Agethen, U., Frahm, K.-J., Renz, K., Thees, E. P., Essen

CRTIB – Bauplattform Luxembourg (2008)  
Bauelemente, Centre de Ressources des Technologies pour l'Environnement (CRTE)  
[www.crtib.lu/Leitfaden/content/DE/113/C569/](http://www.crtib.lu/Leitfaden/content/DE/113/C569/)

DIN 14025 (2011)  
Umweltkennzeichnungen und –deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren  
Berlin: Beuth Verlag GmbH

DIN 18960 (2008)  
Nutzungskosten im Hochbau  
Berlin: Beuth Verlag GmbH

Ellingham, I. & Fawcett, W. (2006)  
New Generation Whole-Life Costing  
Taylor & Francis, New York, USA

EN ISO 14044 (2009)  
Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen  
Berlin Beuth Verlag GmbH

Flögl H. (2009)  
Lebenszykluskosten Hintergründe – Grundlagen- Konzepte  
Donau- Universität Krems, Fachbereich Facility Management und Sicherheit

Hauser G., Lüking R.M. (2011)  
Durchschnittliche Marktpreise für Fenster  
VFF – Verband Fenster und Fassaden, München

- Heitel, S., Koriath, H., Herzog, C. S. & Specht, G. (2008)  
Vergleichende Lebenszykluskostenanalyse für Fußgängerbrücken aus unterschiedlichen Werkstoffen  
Bautechnik (10), 1–11
- Herzog, B., & Friedl, K. (2010)  
Erstes Lebenszykluskostentool, das valide Prognosen von Beginn an ermöglicht  
Wettbewerbe(286), 14-17
- Herzog, K. (2005)  
Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen - Entwicklung eines Modells und einer Softwarekomponente zur ökonomischen Analyse und Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden  
Dissertation Institut für Massivbau; TU Darmstadt
- HV SV, Hauptverband Sachverständiger Kärnten & Steiermark (2006)  
Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile  
Hauptverband des allgemeinen beedeten und gerichtlich zertifizierten Sachverständigen Österreichs  
[www.sv.co.at/nutzungsdauerkatalog](http://www.sv.co.at/nutzungsdauerkatalog)
- IBO (2010)  
Leitfaden für die Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude  
Wien: Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie
- Jodl, H., Pommer, G., Schranz, C., Chval, M., Fehring, M., & Maier, C. (2010)  
Positionspapier ALU-FENSTER.  
Wien: Aluminium-Fenster-Institut
- König, H., Köhler, N., & Lützkendorf, T. (2009)  
Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen- Berechnung- Planungswerkzeuge,  
Institut für internationale Architekturdokumentation, Detail Green Books
- Kreutzer Fischer & Partner (2005)  
Markttrends bei Holz- Alu- und Kunststofffenster  
Studie KFP, Wien
- ÖAKF-Symposium 3.2.2005  
40 Jahre Kunststofffenster in Österreich - Ökologische Vernunft oder Beschaffungsrisiko
- ÖNORM B 1801-2 (2011)  
Bauprojekt- und Objektmanagement Teil 2: Objekt-Folgekosten  
Wien: Austrian Standards Institute
- ÖNORM B 1801-4 (2014)  
Bauprojekt- und Objektmanagement Teil 4: Berechnung von Gebäudelebenszykluskosten  
Wien: Austrian Standards Institute
- ÖNORM B 8110-4 (1998)  
Wärmeschutz im Hochbau - Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes  
Wien: Austrian Standards Institute
- ÖNORM EN ISO 14040 (2009)  
Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen  
Wien: Austrian Standards Institute
- ÖNORM EN 14351-1 (2006)  
Fenster und Türen – Produktnorm, Leistungseigenschaften – Teil 1: Fenster und Außentüren ohne Eigenschaften bezüglich Feuerschutz und/oder Raumdichtheit  
Wien: Austrian Standards Institute
- ÖNORM EN 15804 (2012),  
Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte  
Wien: Austrian Standards Institute
- ÖNORM EN 15978 (2010)  
Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bestimmung der Umweltleistung von Gebäuden - Berechnungsmethode  
Wien: Austrian Standards Institute

- Pfeiffer M., Bethe A., Fanslau-Görlitz D., Zedler J. (2010)  
Nutzungsdauertabellen für Wohngebäude - Lebensdauer von Bau- und Anlagenteilen  
[www.books.google.at/books?isbn=3410216103](http://www.books.google.at/books?isbn=3410216103)
- prEN 15804 (2008)  
Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen für Produkte – Regeln für Produktkategorien  
Berlin Beuth Verlag GmbH
- Reis, J. (2009)  
Lebensdauer einiger Bauteile  
Sachverständiger Josef Reis  
[www.sachverstaendigenbuero-reis.de/wp-content/uploads/2012/05/Lebensdauer-einiger-Bauteile.pdf](http://www.sachverstaendigenbuero-reis.de/wp-content/uploads/2012/05/Lebensdauer-einiger-Bauteile.pdf)
- Richter, K., Künninger, T., Brunner, K. (1996)  
Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung)  
Studie im Auftrag der Schweizerischen Fachstelle für Fenster- und Fassadenbau SZFF in Zusammenarbeit mit dem Verband der Fenster- und Fassadenhersteller VFF, Frankfurt am M. EMPA Abteilung Holz
- Ritter, F. (2011)  
Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen – Modellierung und praxisnahe Prognose  
Dissertation Institut für Massivbau Heft 22, TU Darmstadt
- Swissbau Sachverständiger (2009)  
Lebensdauer Bauteile und Bauteilschichten  
SwissBauCoGmbH  
[www.swissbauco.com/admin/up/Lebensdauer\\_Bauteile\\_und\\_Bauteilschichten.pdf](http://www.swissbauco.com/admin/up/Lebensdauer_Bauteile_und_Bauteilschichten.pdf)
- TU Delft; European Aluminium Association (EAA)  
Collection of Aluminium from buildings in Europe;  
European Aluminium Association (EAA)
- V. Houwald, B., Wortner, P., Kreißig, J., Peters, H. (2011)  
Entwicklung von Umweltproduktdeklarationen für transparente Bauelemente - Fenster und Glas - für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden  
Abschlussbericht  
Anhang A:  
Muster-EPD Holzfenster (Deklarationsnummer EPD-UMC-2010111-D)  
Muster-EPD Kunststofffenster (Deklarationsnummer EPD-UMC-2010111-D)  
Muster-EPD Aluminiumfenster (Deklarationsnummer EPD-UMC-2010111-D)  
EPD Holz-Aluminiumfenster (Deklarationsnummer M-EPD-HMF-000004 )  
[www.ift-rosenheim.de/environmental-product-declaration](http://www.ift-rosenheim.de/environmental-product-declaration)
- Wortner, P. (2014)  
E-Mail an Popp M.: Antwort auf Anfrage zu Forschungsbericht EPDs FÜR TRANSPARENTE BAUELEMENTE  
E-Mail vom 8. Oktober 2014
- Waltenberger, L. (2011)  
Lebenszykluskosten und Ökobilanzierung von Fassadensystemen im Industriebau.  
Wien: Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement, TU Wien

### 3.7 Abbildungsverzeichnis

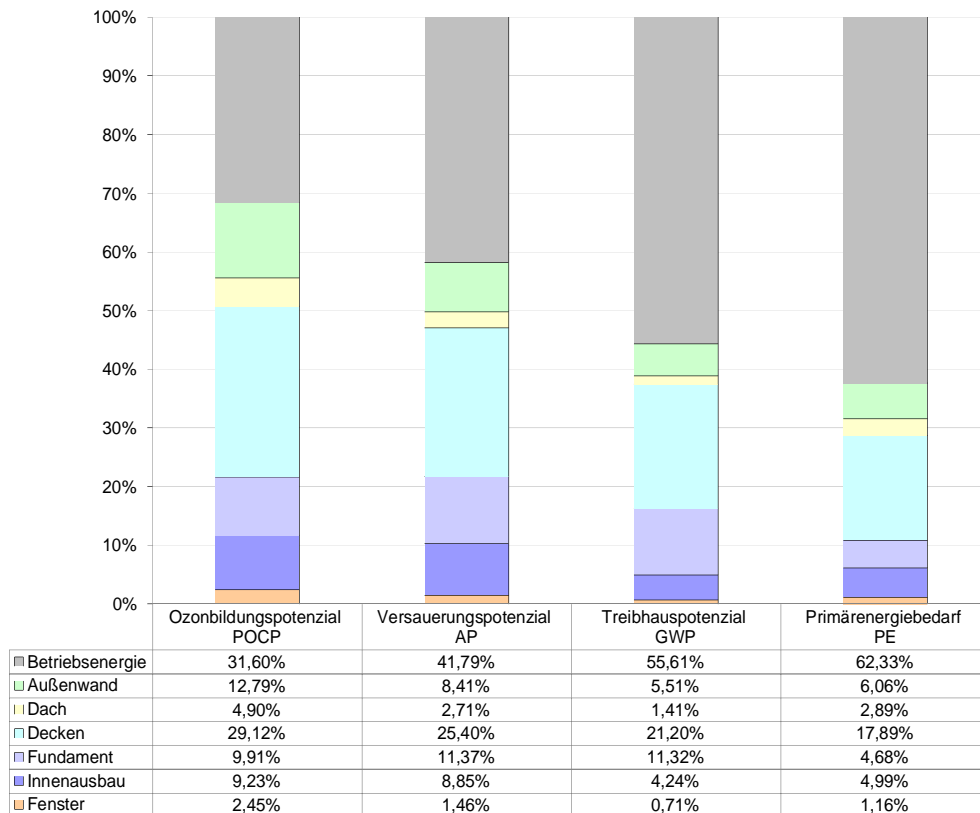
Abbildung 1: Lebenszykluskosten Musterwohnung: Vergleich Rahmenwerkstoffe (Jodl et al., 2010)....	9
Abbildung 2: Photochemisches Ozonbildungspotenzial (POCP) für verschiedene Rahmenmaterialien [g.C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> a Äq] (Asif et al., 2005) .....	11
Abbildung 3: Vergleich der mittleren technischen Lebensdauer verschiedener Standardfenster laut Ritter, 2011 .....	12
Abbildung 4: Schematische Darstellung: Definition von Lebenszykluskosten als Summe von Objekt-Errichtungskosten und Objekt-Folgekosten (ÖNORM B 1801-2, 2011) .....	13
Abbildung 5: Lebenszykluskosten als Kapitalfluss (ÖNORM B 1801-4 , 2014).....	16
Abbildung 6: Kumulierte Barwerte über den Lebenszyklus eines Wohnbaus nach Kostenart, Schemadarstellung .....	16
Abbildung 7: Auswirkungen der Wahl des Diskontierungszinssatzes auf den Barwert (König, Köhler & Lützkendorf, 2009) .....	17
Abbildung 8: Darstellung Rahmen einer Ökobilanz nach EN ISO 14040 .....	18
Abbildung 9: Lebenszyklusphasen gem. ÖNORM EN 15804 .....	19
Abbildung 10: Referenzobjekt als Grundlage für Modellbildung .....	21
Abbildung 11: Flächenverteilung Referenzobjekt, als Hauptnutzfläche wird die Wohnfläche verstanden.....	21
Abbildung 12: Plausibilisieren des kalibrierten LZK-Tool <sup>öko</sup> Modells mit Kennwertkatalog (BKI, 2013) .....	22
Abbildung 13: Übersicht Lebensdauerangaben entsprechend unterschiedlicher Literaturquellen .....	24
Abbildung 14: Relation der Anschaffungskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen.....	25
Abbildung 15: Relation der Lebenszykluskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen nach Szenario 1 .....	27
Abbildung 16: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend langfristiger Betrachtung über 60 Jahre....	27
Abbildung 17: Relation der Lebenszykluskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen nach Szenario 2 .....	28
Abbildung 18: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend kurzfristiger Betrachtung über 30 Jahre....	28
Abbildung 19: Relation der Lebenszykluskosten von unterschiedlichen Fensterkonstruktionen nach Szenario 3 .....	29
Abbildung 20: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend Fachliteratur Mittelwerte über 50 Jahre. ...	29
Abbildung 21: Verlauf der Lebenszykluskosten und prozentualer Anteil der Fenster an Lebenszykluskosten des Gesamtgebäudes entsprechend Szenario 1 am Beispiel Aluminiumfenster.	30
Abbildung 22: Rechenwert GWP für 1 m <sup>2</sup> Aluminiumfenster lt. jeweiliger Datenbank .....	32
Abbildung 23: Darstellung von Verbräuchen und Gutschriften an Primärenergie innerhalb des Lebenszyklus der Fensterrahmen .....	36
Abbildung 24: Darstellung von Verbräuchen und Gutschriften an Treibhauspotenzial innerhalb des Lebenszyklus der Fensterrahmen .....	36
Abbildung 25: Darstellung der prozentuellen Verteilung der durch das Referenzgebäude hervorgerufenen Umweltwirkungen .....	39
Abbildung 26: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 1 .....	40
Abbildung 27: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 2 .....	41
Abbildung 28: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 3 .....	41
Abbildung 29: Anteil der Umweltwirkungen der Fensterrahmen (ohne Verglasung) am Gesamtgebäude nach Szenario 3 .....	42
Abbildung 30: Die Fenstermaterialentscheidung wirkt sich mit maximal 0,6 % CO <sub>2</sub> -Äquivalenten (GWP) in Relation zur Gesamtgebäudebilanz über den Lebenszyklus aus .....	42



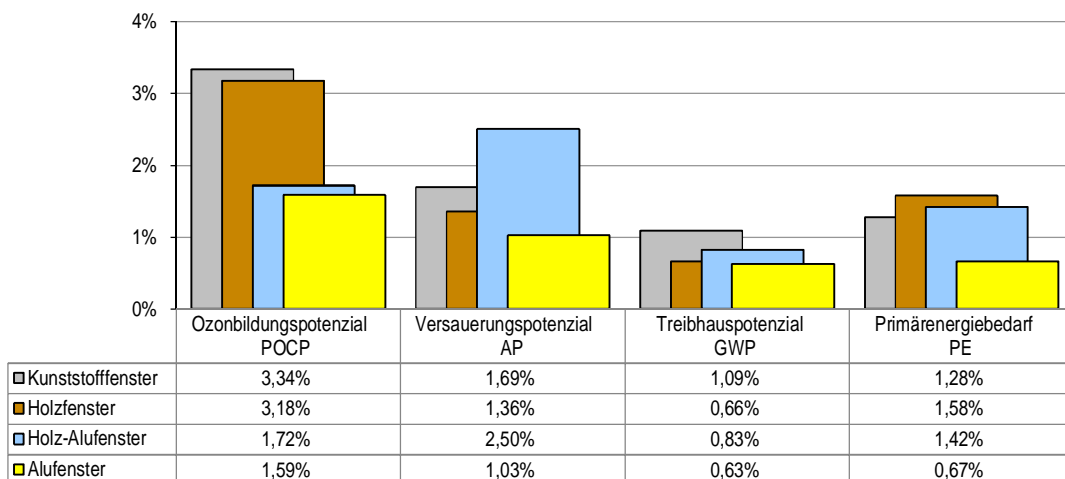
### 3.8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenstellung der OI3-Indizes von Fenstern verschiedener Rahmenwerkstoffe mit 3-Scheibenverglasung (Jodl et al., 2010).....	10
Tabelle 2: Umfrageanalyse zu Nutzungsdauern von Fenstermaterialien, (Asif et al., 2002).....	11
Tabelle 3: Lebensdauer unterschiedlicher Rahmenmaterialtypen, Ergebnisse der Literaturrecherche	15
Tabelle 4: Gegenüberstellung der drei untersuchten Szenarien .....	24
Tabelle 5: Unterschiedliche Datensätze zur Beurteilung von Fensterrahmenmaterialien .....	31
Tabelle 6: Materialzusammensetzung der unterschiedlichen Fenstertypen in Prozent lt. EPDs des ift Rosenheim .....	33

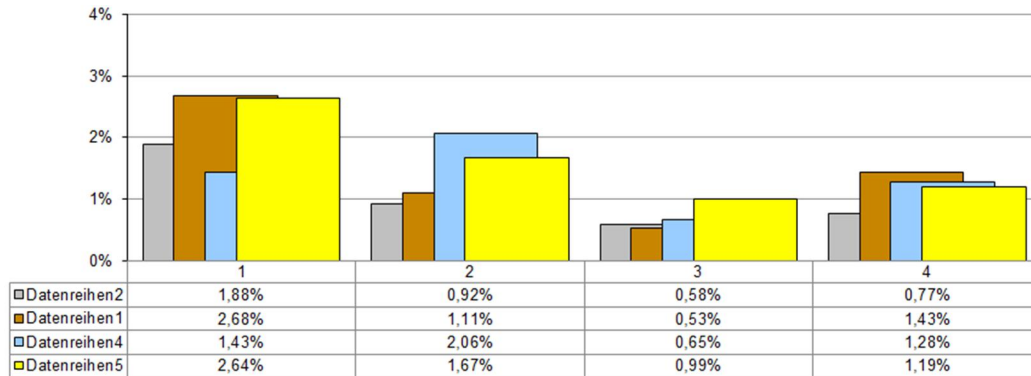
### 3.9 Werte zu Tabellen



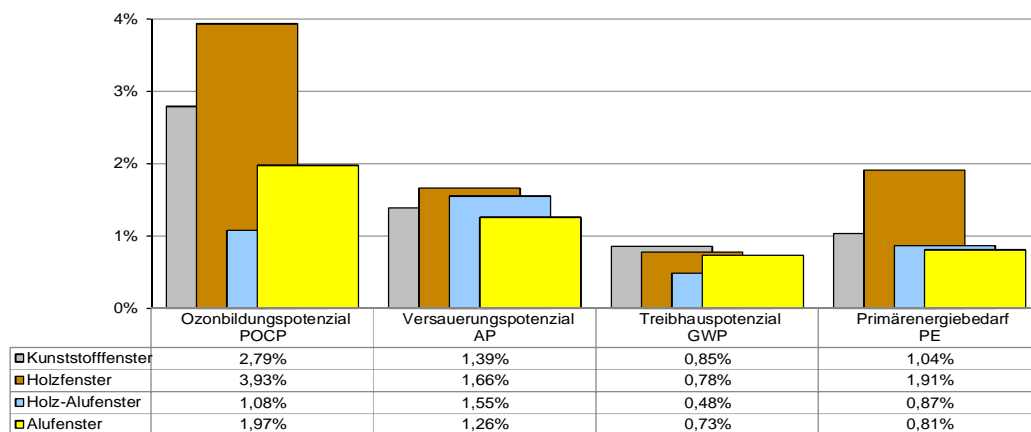
Zu Abbildung 25: Darstellung der prozentuellen Verteilung der durch das Referenzgebäude hervorgerufenen Umweltwirkungen



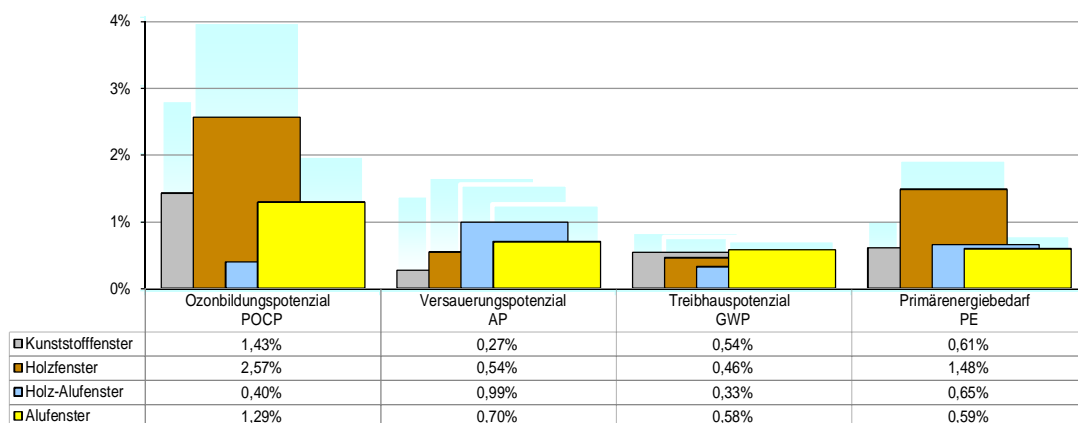
Zu Abbildung 26: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 1



Zu Abbildung 27: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 2



Zu Abbildung 28: Anteil der Umweltwirkungen der transparenten Elemente am Gesamtgebäude nach Szenario 3



Zu Abbildung 29: Anteil der Umweltwirkungen der Fensterrahmen (ohne Verglasung) am Gesamtgebäude nach Szenario 3

