

Schlussbericht, 16. Juni 2020

Ökobilanz von Holzfenstern und Holztüren

Graue Energie,
Treibhausgasemissionen und
Umweltbelastung derer Herstellung,
Nutzung und Entsorgung



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Livia Ramseier, treeze Ltd.

Philippe Stolz, treeze Ltd.

Rolf Frischknecht, treeze Ltd.

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Abkürzungsverzeichnis

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
CH	Schweiz
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
D	Durchgehend (für Kanteln)
EPD	Environmental Product Declaration
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
EPS	Polystyrol expandiert
ESG	Einscheibensicherheitsglas
K	Keilgezinkt (für Kanteln)
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
PET	Polyethylenterephthalat
PUR	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid
RER	Europa
tkm	Tonnenkilometer (Einheit für Transportleistungen)
TPE	Thermoplastische Elastomere
UBP	Umweltbelastungspunkte
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
VKF	Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen
VSG	Verbundsicherheitsglas

Zusammenfassung

Die in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 enthaltenen Ökobilanzdaten zu Holztüren und Holzfensterrahmen sind stark in die Jahre gekommen. Deshalb wurden in diesem Projekt anhand von Werksdaten Ökobilanzdaten zu Aussen-, Funktions- und Zimmertüren aus Holz sowie zu Holz- und Holz-Metallfensterrahmen für den Schweizer Markt erstellt. Holz- und Holz-Metallfensterrahmen sowie Türrahmen werden oft aus Holzrohkanteln gebaut. Da zu massiven, keilgezinkten und lamellierten Holzrohkanteln bisher keine Sachbilanzen existierten, wurden diese basierend auf Werksdaten neu bilanziert. Zudem wurden zu Rahmenverbreiterungen Werksdaten erhoben und zwei typische Rahmenverbreiterungen (aus Spanplatte resp. PVC) bilanziert. Die Bilanzen wurden gemäss den Erfassungsrichtlinien der Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ erstellt. Die funktionelle Einheit für Kanteln ist 1 m³. Für die Fensterrahmen wurde einerseits 1 m² Rahmenfläche im Licht und andererseits 1 m² Maueröffnung eines Standardfensters als Bezugsgrösse gewählt. Die Bezugsgrösse für die Holztüren ist 1 m² Flügelansichtsfläche. Für Rahmenverbreiterungen wurde ebenfalls 1 m² als Bezugsgrösse verwendet.

Die Umweltauswirkungen der bilanzierten Kanteln, Fensterrahmen, Holztüren und Rahmenverbreiterungen wurden mit den Indikatoren der KBOB-Empfehlung 2009/1 und der Umweltproduktdeklarationen gemäss SN EN 15804 quantifiziert. Die Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung der durchschnittlichen Holz- und Holz-Metallfensterrahmen sind in Tabelle Z. 1 aufgelistet. Die Gesamtumweltbelastung des Holz-Fensterrahmens beträgt 56'300 UBP pro m² Maueröffnung. Davon werden 25 % durch das Holz verursacht. Die Aluminiumprofile tragen 14 % und die Beschläge 18 % (davon Stahl 10% und Zinkdruckguss 8 %) bei. Die Oberflächenbehandlung, der Strom und der Transport verursachen je ca. 10 % der Gesamtumweltbelastung des Holz-Fensterrahmens.

Tabelle Z. 1: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Holz- und Holz-Metallfensterrahmen, Durchschnitt, ab Werk in der Schweiz pro m² Maueröffnung

		Bezug	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie			Treibhausgasemissionen
				gesamt	erneuerbar	nicht erneuerbar (Graue Energie)	
			UBP	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Fensterrahmen Holz, U=1.2 W/m ² K, Durchschnitt	Total	m² Maueröffnung	56'300	382	201	181	33
	Herstellung	m ² Maueröffnung	52'600	380	201	179	28
	Entsorgung	m ² Maueröffnung	3'680	1.48	0.02	1.46	5
Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.1 W/m ² K, Durchschnitt	Total	m² Maueröffnung	92'900	503	188	314	63
	Herstellung	m ² Maueröffnung	88'600	501	188	313	56
	Entsorgung	m ² Maueröffnung	4'260	1.72	0.02	1.69	7

Die Gesamtumweltbelastung des Holz-Metallfensterrahmens beträgt 92'900 UBP pro m² Maueröffnung und ist damit 65 % höher als die Gesamtumweltbelastung des Holz-Fensterrahmens. Die höhere Umweltbelastung wird hauptsächlich durch die Aluminiumbeplankung des Rahmens und der Flügel verursacht. Die Aluminiumbeplankung trägt mit 45 % am meisten zur Gesamtumweltbelastung des Holz-Metallfensterrahmens bei.

In Tabelle Z. 2 sind die Umweltkennwerte der Zimmer-, Funktions-, und Aussentüren dargestellt. Über alle Innentürvarianten mit Holzrahmen verglichen, ist das Holz des Türblattes für 18 % bis 37 % der Gesamtumweltbelastung verantwortlich. Die Stahlbeschläge tragen 13 % bis 24 % und der Holztürrahmen 9 % bis 14 % bei. Bei der Innentüre mit Glaseinsatz trägt die Verglasung 40 % zu der Gesamtumweltbelastung bei. Die Gesamtumweltbelastung der Innentüren unterscheidet sich stark je nach eingesetztem Türrahmen. Die Herstellung einer Stahlzarge verursacht eine knapp 10-mal höhere Gesamtumweltbelastung als die Herstellung des Holztürrahmens.

Tabelle Z. 2: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen pro m² Flügelansichtsfläche der Aussen- und Innentüren, ab Werk

		Bezug	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie			Treibhausgasemissionen
				gesamt	erneuerbar	nicht erneuerbar (Graue Energie)	
			UBP	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Zimmertüre, Holz, Holzrahmen	Total	m ²	51'000	365	212	153	32.8
	Herstellung	m ²	46'700	362	212	150	26.9
	Entsorgung	m ²	4'240	2.73	0.0323	2.7	5.93
Zimmertüre, Holz, Stahlzarge	Total	m ²	114'000	477	155	321	71.9
	Herstellung	m ²	110'000	474	155	319	66.4
	Entsorgung	m ²	3'870	2.29	0.027	2.26	5.57
Zimmertüre, Holz-Glas, Holzrahmen	Total	m ²	79'800	476	206	270	59.5
	Herstellung	m ²	74'800	472	206	267	52
	Entsorgung	m ²	5'000	3.82	0.0415	3.78	7.55
Zimmertüre, Holz-Glas, Stahlzarge	Total	m ²	143'000	588	149	439	98.7
	Herstellung	m ²	138'000	585	149	436	91.5
	Entsorgung	m ²	4'630	3.38	0.0363	3.34	7.18
Funktionstüre innen, Holz, Holzrahmen	Total	m ²	71'100	493	287	206	45.1
	Herstellung	m ²	65'700	489	287	202	37.5
	Entsorgung	m ²	5'420	3.8	0.045	3.76	7.63
Funktionstüre innen, Holz, Stahlzarge	Total	m ²	134'000	605	231	375	84.2
	Herstellung	m ²	129'000	602	231	371	77
	Entsorgung	m ²	5'060	3.36	0.0397	3.32	7.26
Aussentüre, Holz	Total	m ²	91'600	574	291	282	62.4
	Herstellung	m ²	85'900	570	291	279	54.1
	Entsorgung	m ²	5'650	3.31	0.0404	3.27	8.27
Aussentüre, Holz-Glas	Total	m ²	116'000	632	254	378	84.8
	Herstellung	m ²	109'000	628	254	373	74.5
	Entsorgung	m ²	6'680	4.7	0.0528	4.64	10.4
Aussentüre, aluminiumbeplankt	Total	m ²	156'000	875	337	538	116
	Herstellung	m ²	150'000	872	337	535	108
	Entsorgung	m ²	5'650	3.31	0.0404	3.27	8.27

Bei den Aussentüren (alle mit Holzrahmen) verursacht die Variante mit Aluminiumbeplankung die höchsten Umweltauswirkungen. Hauptverantwortlich für die Gesamtumweltbelastung der aluminiumbeplankten Aussentüre ist die Aluminiumbeplankung des Türblatts und des Rahmens, welche einen Anteil von 41 % verursacht. Bei der Aussentüre mit Glaseinsatz verursacht die Verglasung einen Anteil von 34 % an der Gesamtumweltbelastung. Das Holz des Türblatts trägt bei allen Aussentüren zwischen 15 % und 27 % bei. Je 11 % bis 20 % der Gesamtumweltbelastung werden vom Aluminium im Türblatt und den Stahlbeschlägen verursacht.

Die Qualität der in dieser Studie erhobenen Daten wird für die Kanteln als genügend und für die Fensterrahmen, Türen und Rahmenverbreiterungen als gut eingestuft.

Basierend auf den neu erstellten Ökobilanzdaten wurden zwei Arbeitshilfen für Fenster und Holztüren erstellt. Die Arbeitshilfen ermöglichen das Bilanzieren von Fenstern und Türen mit projektspezifischen Abmessungen anhand weniger Eingabeparameter, die den Planern und Architekten bekannt sind und das Ergebnis der Ökobilanz massgeblich beeinflussen. In den Arbeitshilfen wird neben der Herstellung und Entsorgung auch die Nutzungsphase berücksichtigt. Dadurch können Architekten und Planende die Umweltbelastungen von verschiedenen projektspezifischen Tür- und Fenster-Varianten über den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes vergleichen. Die Ergebnisse des Vergleichs können den Architekten und Planenden aufzeigen, mit welchen Varianten das Gebäude umweltfreundlicher gestaltet werden kann.

Um das Klimaziel des Schweizerischen Bundesrats («Nettonull bis 2050») zu erreichen, müssen Hersteller und Planende (weitere) Anstrengungen unternehmen, um die Treibhausgasemissionen der Fensterrahmen und Türen sowie der Gebäude insgesamt zu senken.

Inhalt

1	Einführung	10
1.1	Ausgangslage	10
1.2	Zielsetzung und Untersuchungsrahmen	10
1.3	Struktur des Berichtes	11
2	Methodik und Datengrundlage	11
2.1	Systemumfang	11
2.2	Funktionelle Einheit	11
2.3	Datengrundlage	12
2.4	Allokation	12
2.5	Bewertungsmethoden	13
2.6	Ressourcenkorrektur	13
3	Systemcharakterisierung	14
3.1	Kanteln	14
3.2	Fensterrahmen	15
3.3	Türen	16
3.4	Rahmenverbreiterungen	17
4	Sachbilanzen und Modellierungsannahmen	18
4.1	Übersicht	18
4.2	Kanteln	18
4.3	Fensterrahmen	21
4.3.1	Herstellung	21
4.3.2	Entsorgung	29
4.4	Aussen- und Innentüren	29
4.4.1	Herstellung	29
4.4.2	Entsorgung	35
4.5	Rahmenverbreiterungen	36
5	Wirkungsabschätzung	39

5.1	Überblick	39
5.2	Kanteln	39
5.2.1	Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung.....	39
5.2.2	Gesamtumweltbelastung.....	40
5.2.3	Treibhausgasemissionen	42
5.2.4	EPD-Indikatoren.....	43
5.3	Fensterrahmen	45
5.3.1	Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung.....	45
5.3.2	Gesamtumweltbelastung.....	46
5.3.3	Treibhausgasemissionen	47
5.3.4	EPD-Indikatoren.....	48
5.3.5	Vergleich mit bisherigen Umweltkennwerten	50
5.4	Aussen- und Innentüren.....	50
5.4.1	Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung.....	50
5.4.2	Gesamtumweltbelastung.....	51
5.4.3	Treibhausgasemissionen	53
5.4.4	EPD-Indikatoren.....	54
5.4.5	Vergleich mit bisherigen Umweltkennwerten	55
5.5	Rahmenverbreiterungen	56
5.5.1	Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung.....	56
5.5.2	Gesamtumweltbelastung.....	56
5.5.3	Treibhausgasemissionen	57
5.5.4	EPD-Indikatoren.....	58
6	Arbeitshilfe Holzfenster	60
6.1	Untersuchungsrahmen.....	60
6.2	Datengrundlage.....	60
6.3	Annahmen und Skalierungsfunktionen	61
6.3.1	Annahmen	61
6.3.2	Berechnung der Rahmenabwicklung	61
6.3.3	Abhängigkeit der Glasdicke von der Glasfläche	63
6.3.4	Berechnung der Glasfläche	63

6.3.5	Fall Festverglasung.....	64
6.4	Nutzungsphase	64
6.4.1	Angaben in der Arbeitshilfe für die Nutzungsphase.....	65
6.4.2	Berechnung der Umweltauswirkungen des Wärmeverlusts des Fensters	66
7	Arbeitshilfe Holztüren.....	67
7.1	Untersuchungsrahmen.....	67
7.2	Datengrundlage.....	67
7.3	Annahmen und Skalierungsfunktionen	68
7.3.1	Annahmen Türrahmen	68
7.3.2	Glaseinsatz	68
7.4	Nutzungsphase	68
7.4.1	Angaben in der Arbeitshilfe für die Nutzungsphase.....	68
7.4.2	Berechnung der Umweltauswirkungen des Wärmeverlusts der Aussentüre.....	70
8	Folgerungen	70
9	Ausblick	71
	Literatur	72

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Die Ökobilanzdaten zu Holzfensterrahmen und -türen (Kellenberger et al. 2007) sind stark in die Jahre gekommen. Zudem enthält die derzeitige KBOB Empfehlung 2009/1 nur Umweltkennwerte festgelegter Standardfenster und -türen und erlaubt keine differenzierte Bilanzierung von Fenstern und Türen mit spezifischen Abmessungen. Um die Datenqualität der Ökobilanzdaten zu verbessern und eine belastbarere Grundlage für die Bilanzierung von Gebäuden zu schaffen, werden die Ökobilanzdaten zu Holzfensterrahmen und -türen aktualisiert und Arbeitshilfen für die individuelle Berücksichtigung projektspezifischer Abmessungen von Fenstern und Türen entwickelt.

1.2 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Das Ziel des Projektes ist das Erstellen von Ökobilanzdaten zu Aussen-, Funktions- und Zimmertüren aus Holz sowie zu Holz- und Holz-Metallfensterrahmen für den Schweizer Markt. Die Ökobilanzdaten basieren auf aktuellen Werksdaten. Bilanziert werden naturgeölte oder lasierte sowie gedeckt gestrichene Holz- sowie Holz-Metallfensterrahmen aus Nadelholzrohkanteln. Da zu massiven, lamellierten und keilgezinkten Holzrohkanteln noch keine Sachbilanzen existieren, werden diese innerhalb dieses Projektes anhand von Werksdaten neu bilanziert. Zudem werden zu Rahmenverbreiterungen Werksdaten erhoben und zwei typische Rahmenverbreiterungen bilanziert. Die Bilanzen werden gemäss den Erfassungsrichtlinien der Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2015) erstellt.

Die Umweltauswirkungen der bilanzierten Holz- und Holz-Metallfensterrahmen sowie der Aussen-, Funktions- und Zimmertüren werden mit den Indikatoren der KBOB-Empfehlung 2009/1 (KBOB et al. 2015, 2016a) und der Umweltproduktdeklarationen gemäss SN EN 15804 (SN EN 15804 2013) quantifiziert. Die Umweltkennwerte verschiedener Produktvarianten sollen anschliessend in eine aktualisierte Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 einfliessen und die entsprechenden Einträge zu Holz- und Holz-Metallfensterrahmen und Aussen- und Innentüren aus Holz ersetzen oder ergänzen.

Im Weiteren werden zwei elektronische Arbeitshilfen für Fenster und Türen erstellt. Die Arbeitshilfen ermöglichen das Bilanzieren von Fenstern und Türen mit projektspezifischen Abmessungen anhand weniger Eingabeparameter, die den Planern und Architekten bekannt sind und das Ergebnis der Ökobilanz massgeblich beeinflussen. In den Arbeitshilfen wird neben der Herstellung und Entsorgung auch die Nutzungsphase berücksichtigt. Die Arbeitshilfen erlauben damit Architekten und Planern neben technischen und finanziellen Angaben auch Daten zur Umweltbelastung bei der Wahl der Holzfenster oder Holztüren zu berücksichtigen.

1.3 Struktur des Berichtes

In Kapitel 2 wird die Methodik und die Datengrundlage der vorliegenden Studie beschrieben. Die Eigenschaften der bilanzierten Baumaterialien werden in Kapitel 3 präsentiert. In Kapitel 4 werden die Sachbilanzen und Modellierungsannahmen beschreiben. Die Präsentation der Auswertungen erfolgt in Kapitel 5. Die Arbeitshilfen zu Fenstern und Türen sind in den Kapiteln 6 und 7 beschrieben. Der Bericht schliesst mit Folgerungen im Kapitel 8.

2 Methodik und Datengrundlage

2.1 Systemumfang

Die Ökobilanzen von Kanteln, Fensterrahmen, Türen und Rahmenverbreiterungen umfassen alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Werktor sowie die Entsorgung der Produkte. In den Arbeitshilfen zu Fenstern und Türen wird zusätzlich die Nutzungsphase berücksichtigt.

Die analysierten Produktsysteme beinhalten die Rohstoffgewinnung, beispielsweise die Waldbewirtschaftung und die Extraktion von Metallen, deren Weiterverarbeitung zu Zwischenprodukten und schliesslich deren Entsorgung. Zudem werden auch die Transporte zwischen den Verarbeitungsschritten, die Energiebereitstellung und das Verpackungsmaterial der Endprodukte berücksichtigt. Die Infrastruktur zur Herstellung der Kanteln, Fensterrahmen, Türen und Rahmenverbreiterungen wurde nicht berücksichtigt.

Materialien, welche am Ende ihrer Lebensdauer rezykliert werden, verlassen das System belastungsfrei (Cut-off-Ansatz).

2.2 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit für Kanteln ist 1 m^3 .

Die Bezugsgrösse der Fensterrahmen der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 ist die Rahmenfläche im Licht. Deshalb wurde auch in dieser Studie 1 m^2 Rahmenfläche im Licht als Bezugsgrösse für die Fensterrahmen gewählt. Die Rahmenfläche im Licht ist eine deklarierte Einheit und keine funktionelle Einheit, da die untersuchten Rahmenprofile unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) aufweisen und deshalb die funktionelle Äquivalenz nicht gegeben ist. Auch die bestehenden Ökobilanzdaten für Fensterrahmen beziehen sich auf Rahmen mit unterschiedlichen U-Werten. Der Bezug der Ökobilanzdaten von Fensterrahmen auf die Rahmenfläche im Licht wird von den Autoren der Studie als kritisch beurteilt, da diese Grösse stark von der jeweiligen Montageart des Fensters abhängig ist. Gemäss Aussagen von Fensterherstellern kann die Rahmenfläche im Licht für ein Fenster mit gleichen Aussenmassen sehr variabel sein. Für die Berechnung der in dieser Studie verwendeten Rahmenfläche im Licht wurden die Hersteller nach typischen Rahmenflächen im Licht gefragt. Ergänzend zu der Rahmenfläche im Licht wurden die Umweltauswirkungen der Fensterrahmen auch bezogen auf 1 m^2 Maueröffnung ausgewertet.

Die Bezugsgrösse für die Holztüren ist 1 m² Flügelansichtsflächen. Wie bei den Fenstern handelt es sich hier um eine deklarierte Einheit und keine funktionelle Einheit, da die untersuchten Türen unterschiedliche U-Werte aufweisen.

Die funktionelle Einheit für Rahmenverbreiterungen ist 1 m².

2.3 Datengrundlage

Innerhalb dieses Projektes wurden aktuelle Werksdaten zur Herstellung von Fensterrahmen, Holztüren, Holzrohkanteln und Rahmenverbreiterungen erhoben. In Zusammenarbeit mit Lignum¹ wurden für die Hersteller Fragebögen der Herstellung der verschiedenen Baumaterialien entwickelt. An drei Workshops wurden die Fragebögen den Herstellern vorgestellt und wo nötig angepasst und ergänzt. Die Fragebögen wurden anschliessend zwischen Herbst 2018 und Sommer 2019 schweizweit an Hersteller der obengenannten Baumaterialien verteilt. Die Daten aus den ausgefüllten Fragebögen wurden geprüft und plausibilisiert. Aus den vorhandenen Daten wurden für jedes Baumaterial ungewichtete Durchschnittsdatensätze gebildet.

Die erhobenen Sachbilanzdaten wurden mit den Hintergrunddaten des Datenbestands KBOB DQRv2:2016 (KBOB et al. 2016b) verknüpft und mit der Ökobilanz-Software SimaPro v9.0.0 (PRé Consultants 2019) ausgewertet.

2.4 Allokation

Viele der Hersteller produzieren neben dem bilanzierten Baumaterial noch andere Produkte (z.B. Holzschnitzel oder Fernwärme) am selben Standort. Die Herstellungsaufwände konnten jedoch oft nur für den gesamten Produktionsstandort erhoben werden. In diesen Fällen mussten die gemeinsamen Aufwendungen für die Bereitstellung von Rohmaterialien und Energieträgern sowie die Emissionen von Schadstoffen auf die einzelnen Produkte alloziert werden.

Für den Einsatz von Holz-Vorprodukten wurde eine physikalische (massenbasierte) Allokation angewendet. Das heisst, dass beispielsweise bei der gleichzeitigen Herstellung von Holzkanteln und Holzschnitzeln jeweils die entsprechende Menge an Rundholz nachgefragt wird. Die Allokation der übrigen Herstellungsaufwände (z.B. Hilfsmaterialien und Energie) auf das bilanzierte Baumaterial und weitere Produkte erfolgte ökonomisch über den Anteil am Umsatz des Produktionsstandorts.

¹ <https://www.lignum.ch/>

2.5 Bewertungsmethoden

Die Umweltauswirkungen werden mit den folgenden Indikatoren der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 quantifiziert und ausgewiesen:

- Primärenergiebedarf, in kWh Öl-Äquivalenten (Frischknecht et al. 2015), gesamt sowie unterteilt in nicht erneuerbare Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle, Kernbrennstoffe) und erneuerbare Energieträger (Wasser, Wind, Biomasse, Solar, Umgebungswärme)
- Treibhausgasemissionen, in kg CO₂-Äquivalenten (IPCC 2013)
- Gesamtumweltbelastung, in Umweltbelastungspunkten (Methode der ökologischen Knappheit 2013, Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013)

Zusätzlich werden die Umweltauswirkungen mit den von der EPD Norm SN EN 15804 (SN EN 15804 2013) verlangten Indikatoren adressiert.

2.6 Ressourcenkorrektur

Mit der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) wird unter anderem die dissipative Ressourcennutzung bewertet. Das bedeutet, dass bei der stofflichen Nutzung von Ressourcen nicht die Ressourcenentnahme entscheidend ist, sondern welcher Anteil der entnommenen und verarbeiteten Ressource verloren geht und damit für eine künftige Nutzung nicht mehr zur Verfügung steht. Die dissipative Nutzung wird in den Sachbilanzen mithilfe von Ressourcenkorrekturen modelliert, da im genutzten Datenbestand die Verluste nicht explizit modelliert sind.

Es wird angenommen, dass alle Holzwerkstoffe ausser Spanplatten zu 50 % ins Recycling gelangen und zu 50 % verbrannt werden. Deshalb wird den Holzwerkstoffen eine Ressourcenkorrektur in der Höhe von 50 % des Energieinhalts erteilt. Der Energieinhalt wird über den oberen Heizwert des Holzprodukts ermittelt. Für Spanplatten wird von einer Entsorgung in der Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) ausgegangen. Bei den Metallen wird angenommen, dass diese zu 100 % rezykliert werden. Die Ressourcenkorrektur wird für den Primäranteil des Metallwerkstoffs vorgenommen.

Die Anteile zur Berechnung der Ressourcenkorrektur für die relevanten Werkstoffe sind in Tabelle 1 aufgelistet. Für einige in geringen Mengen eingesetzte Metallwerkstoffe wurde die Ressourcenkorrektur vernachlässigt. Die Ressourcenkorrektur wurde für Werkstoffe in Fenstern und Türen vorgenommen.

Tabelle 1: Primäranteil von Metallwerkstoffen und Recyclingrate von Werkstoffen am Lebensende zur Berechnung der Ressourcenkorrekturen.

Werkstoff	Primäranteil Metallwerkstoff %	Anteil Recycling %
Nadelholzplatten	-	50%
Nadelholzkanteln	-	50%
Spanplatte	-	0%
Hartfaserplatte	-	50%
Mitteldichte Faserplatte	-	50%
Brettschichtholz	-	50%
Aluminium gewalzt	51%	100%
Aluminiumprofile, CH	48%	100%
Aluminiumdruckguss	44%	100%
Stahlblech	63%	100%
Zinkdruckguss	100%	100%

Die Indikatoren Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen sowie die Resultate nach SN EN 15804 sind von der Ressourcenkorrektur nicht betroffen.

3 Systemcharakterisierung

3.1 Kanteln

Holzrohkanteln können massiv oder lamelliert sein. Massive Holzrohkanteln (auch Vollholzkanteln genannt) bestehen aus einer Schicht Holz, die keilgezinkt sein kann. Lamellierte Holzrohkanteln bestehen meist aus drei Schichten Holz, die miteinander verleimt sind. Eine Schicht kann durchgehend (D) oder keilgezinkt (K) sein. Im Rahmen dieses Projektes werden die in Tabelle 2 beschriebenen Kanteletypen bilanziert. Zusätzlich zu den einzelnen Kanteln wird ein Datensatz für eine durchschnittliche Kantele erstellt. Diese durchschnittliche Kantele setzt sich aus den von vier Fensterherstellern verwendeten Mengen von Kanteln in ihrer Fensterrahmenproduktion zusammen. Die Sachbilanzen werden auf 1 m³ Kantele bezogen.

Tabelle 2: Eigenschaften der bilanzierten Kanteletypen

		Vollholz, massiv	Vollholz, keilgezinkt	Lamelliert, DDD	Lamelliert, DDK	Lamelliert, DKD	Lamelliert, KKK
Stärke Schicht 1	mm	71	75	32	31	31	31
Stärke Schicht 2	mm			7	9	9	9
Stärke Schicht 3	mm			32	31	31	31
Stärke Total	mm	71	75	71	71	71	71
Anteil in durchschnittlicher Kantele	%	1%	46%	1%	0%	3%	49%

3.2 Fensterrahmen

Die bilanzierten Standardfenster (siehe Abbildung 1) aus Holz und Holz-Metall weisen analog zu den Fensterrahmen aus PVC und Aluminium der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 die folgenden Eigenschaften auf (siehe auch Kasser et al. 2016):

- Fenster mit 2 Flügeln (ohne Sprossen und Kämpfer)
- Aussenmasse 1.75 x 1.3 m
- Flügelteilung je zur Hälfte
- Vorhandener Drehkipmechanismus
- Bautiefe variabel
- U_f -Wert variabel

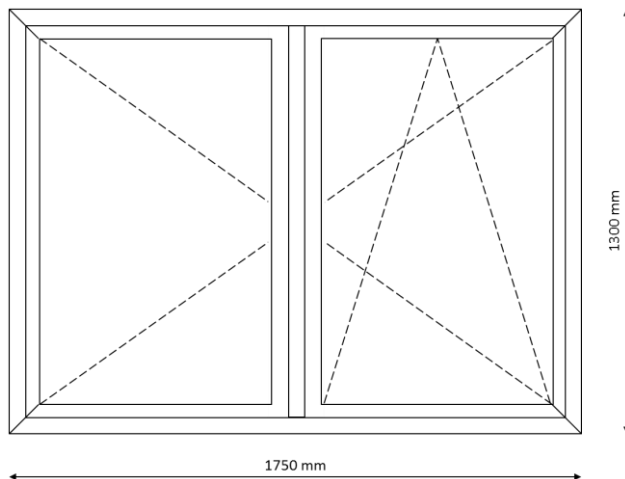


Abbildung 1: Aussenmasse des Standardfensters.

Beim durchschnittlichen Holz-Metallfenster sind der Rahmen und die Flügel mit Metall beplankt².

Auf dem Schweizer Markt werden ca. 20 % der Holz- und Holz-Metall-Fensteroberflächen transparent behandelt (geölt/lasiert) und ca. 80 % deckend gestrichen³.

Der bilanzierte Holzfensterrahmen weist einen durchschnittlichen U_f -Wert von 1.2 W/m²K auf. Beim Holz-Metallfensterrahmen ist der durchschnittliche U_f -Wert 1.1 W/m²K.

Wie bei den bereits vorhandenen Daten für Fensterrahmen in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 werden auch die aktualisierten Ökobilanzen auf 1 m² Rahmenfläche im Licht bezogen. Die Rahmenfläche im Licht des oben beschriebenen Standardfensters beträgt gemäss den Herstellerangaben 0.30 m² für Holz und Holz-Metallfensterrahmen. Die Rahmenfläche im Licht ist

² Persönliche Mitteilung, B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche, 9. Januar 2020.

³ Persönliche Mitteilung, B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche, 10. Januar 2020.

damit deutlich kleiner als die in Kellenberger et al. (2007) beschriebene Rahmenfläche von 0.45 m² für Holz und Holz-Metallfensterrahmen.

1 m² Rahmenfläche im Licht des durchschnittlichen Holzfensterrahmens wiegt 130.8 kg. Der durchschnittliche Holz-Metallfensterrahmen wiegt 142 kg pro m² Rahmenfläche im Licht.

Ergänzend zu der Bezugsgrösse Rahmenfläche im Licht wurden die Ökobilanzen der Fensterrahmen auf 1 m² Maueröffnung bezogen. Für das oben beschriebenen Fenster mit den Aussenmassen von 1.75 x 1.3 m wurde angenommen, dass der Rahmen 0.12 m breit ist und 2/3 des Rahmens von der Mauer verdeckt sind. Die Annahmen wurden aus Tschümperlin & Frischknecht (2018) übernommen. Die resultierende Maueröffnung ist 1.6 m breit und 1.1 m hoch und hat somit eine Fläche von 1.8 m². Das Gewicht des durchschnittlichen Holzfensterrahmens beträgt 21.1 kg pro m² Maueröffnung. Der durchschnittliche Holz-Metallfensterrahmen wiegt 22.9 kg pro m² Maueröffnung.

3.3 Türen

Jede Tür zeichnet sich im Wesentlichen durch den Türrahmen, den Türkern, das Türschloss, den Griff und der Dichtung aus. Der Türkern setzt sich aus verschiedenen Holzwerkstoffen zusammen. Türschloss, Griff und Scharniere sind bei allen bilanzierten Aussen-, Funktions- und Zimmertüren aus Chromstahl gefertigt.

Im Rahmen dieses Projektes wurden einflügelige Türen mit den folgenden Abmessungen und Eigenschaften bilanziert:

- Innentüre, Zimmertüre: Türe zwischen Räumen innerhalb einer Wohneinheit⁴. Das lichte Durchgangsmass beträgt 900 x 2000 mm⁵ gemäss aktueller Brandschutzrichtlinie der VKF (2015). Die Flügelansichtsfläche ist 1.8 m². Das Türblatt ist 40 mm breit. Als Variante wurde die Zimmertüre mit Glaseinsatz modelliert. Der Glaseinsatz ist 0.73 m² gross. Der Türrahmen ist aus Holz oder Stahl gefertigt.
- Innentüre, Funktionstüre: Türe zwischen Wohneinheiten oder in das beheizte Treppenhaus (=Fluchtweg, Schall- & Brandschutz)⁴. Das lichte Durchgangsmass beträgt 900 x 2000 mm gemäss aktueller Brandschutzrichtlinie der VKF (2015). Die Flügelansichtsfläche beträgt 1.8 m². Das Türblatt ist 55 mm breit. Die hier modellierten Funktionstüren verfügen über keinen Glaseinsatz. Der Türrahmen ist aus Holz oder Stahl gefertigt.
- Aussentüren: Türe von einer oder mehreren Wohneinheiten in den Aussenbereich oder das unbeheizte Treppenhaus (Schall & Wärme, im Treppenhaus immer inkl. Brandschutz)⁴. Das lichte Durchgangsmass beträgt gemäss Minergie-Reglement (ARGE MINERGIE®-Türen 2016) 1000 x 2000 mm. Die Flügelansichtsfläche beträgt 2 m². Als Varianten wurde die

⁴ Persönliche Mitteilung von H. Schmid, lignum, 18.Februar 2020

⁵ Erfüllt die Anforderungen an eine behindertengerechte Innentür, welche ein min. Durchgangsmass von 800mm (Breite eines Rollstuhls) benötigen.

Aussentüre mit Aluminiumbeplankung oder mit Glaseinsatz modelliert. Der Glaseinsatz ist 0.74 m² gross.

Die Oberflächen der Türen werden entweder geölt, lasiert/lackiert oder deckend gestrichen. Es waren keine Daten zu der Häufigkeit der verschiedenen Oberflächenbehandlungen verfügbar. Deshalb wurde angenommen, dass ähnlich zu der Oberflächenbehandlung der Fensterrahmen, die Türoberflächen häufiger deckend gestrichen werden. Die aktualisierten Datensätze der KBOB Empfehlung 2009/1:2016 beinhalten deshalb die deckend gestrichene Oberflächenbehandlung. In der Arbeitshilfe der Türen (siehe Kapitel 7) kann zwischen naturbehandelter und deckend gestrichener Oberfläche ausgewählt werden.

Wie bei den bereits vorhandenen Türen in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 ist die Bezugsgrösse der neu bilanzierten Türen 1m² Flügelansichtsfläche.

In Tabelle 3 ist das Gewicht pro m² Flügelansichtsfläche der verschiedenen Türvarianten dargestellt. Bei den Aussentüren wird zusätzlich der durchschnittliche Wärmedurchgangskoeffizient aufgezeigt.

Tabelle 3: Durchschnittliches Gewicht in kg/m² Flügelansichtsfläche und durchschnittlicher Wärmedurchgangskoeffizient in W/m²K der bilanzierten Türen.

	Gewicht kg/m ² Flügelansichtsfläche	Wärmedurchgangs- koeffizient W/m ² K
Innentüre, Zimmertüre, Holz, Holzrahmen	30.6	-
Innentüre, Zimmertüre, Holz, Stahlzarge	34.6	-
Innentüre, Zimmertüre, Holz-Glas, Holzrahmen	39.9	
Innentüre, Zimmertüre, Holz-Glas, Stahlzarge	43.9	-
Innentüre, Funktionstüre, Holz, Holzrahmen	42.8	-
Innentüre, Funktionstüre, Holz, Stahlzarge	46.7	-
Aussentüre, Holz, Holzrahmen	41.6	1.0
Aussentüre, Holz-Glas, Holzrahmen	50.1	0.7
Aussentüre, Holz Aluminium beplankt, Holzrahmen	50.0	-

3.4 Rahmenverbreiterungen

Rahmenverbreiterungen können variabel eingesetzt werden, um Fenster oder Türen zu verbreitern. Eine Rahmenverbreiterung besteht oft aus zwei Deckplatten und einer dazwischenliegenden wärmedämmenden Schicht. Zusätzlich kann die wärmedämmende Schicht mit Stegen verstärkt sein. In diesem Projekt wurden zwei Varianten von Rahmenverbreiterungen bilanziert. Die Varianten sind in Tabelle 4 beschrieben. Die Bezugsgrösse der Rahmenverbreiterungen ist 1 m².

Tabelle 4: Beschreibung der bilanzierten Rahmenverbreiterungen.

	Variante 1 (Spanplatte)	Variante 2 (PVC)
Stärke	64 mm	70 mm
Deckplatte und Oberfläche	Spanplatte (2 x 10 mm) mit Grundierfolie	PVC weiss (2 x 4 mm)
Wärmedämmung	PUR (44 mm)	EPS (62 mm)
Stege	Stegabstand: 250 mm oder umlaufend	Keine oder umlaufend
Gewicht	17.8 kg pro m ²	15.0 kg pro m ²
Wärmedurchgangskoeffizient	0.5 W/m ² K	0.4 W/m ² K

4 Sachbilanzen und Modellierungsannahmen

4.1 Übersicht

In Unterkapitel 4.2 werden die Sachbilanzen der Herstellung von Kanteln in der Schweiz und in Europa beschrieben. Die Sachbilanzen der Herstellung und Entsorgung von Fensterrahmen werden im Unterkapitel 4.3 vorgestellt. In Unterkapitel 4.4 werden die Sachbilanzen zur Herstellung und Entsorgung der Türen dokumentiert. Die Sachbilanzen der Herstellung und Entsorgung der Rahmenverbreiterungen werden in Unterkapitel 4.5 präsentiert. Die Sachbilanzen wurden gemäss den Erfassungsrichtlinien der Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2015) erstellt.

Die Berechnung der Umweltauswirkungen der Nutzungsphase von Fenstern und Aussentüren ist auf die Arbeitshilfen beschränkt und in den entsprechenden Unterkapiteln 6.4 und 7.4 beschrieben.

4.2 Kanteln

Die Materialisierung und Herstellungsaufwände von Kanteln basieren auf Werksdaten von Schweizer Herstellern. Zur Berechnung der Materialaufwendungen wurde der Durchschnitt der Herstellerangaben verwendet. Die Kanteln werden aus Nadelholz produziert. Das verwendete Nadelholz ist kammergetrocknet (Feuchtigkeitsgehalt $u=10\%$) und weist eine Dichte von 465 kg/m^3 auf. Das bei der Kanteleproduktion anfallende Verschnittholz wird einerseits intern zur Wärmeproduktion verwendet und andererseits als Holzschnitzel oder Fernwärme weiterverkauft. Die Allokation der Herstellungsaufwände wurde gemäss den in Unterkapitel 2.4 beschriebenen Kriterien vorgenommen.

Es konnte nicht für alle in Unterkapitel 3.1 und Tabelle 2 beschriebenen Kanteletypen Werksdaten erfasst werden. Deshalb wurde aus den vorhandenen Daten ein Modell zur Berechnung des Leimbedarfs erstellt. Der daraus ermittelte Leimbedarf pro m² Leimfläche beträgt durchschnittlich 0.3 kg. Die Leimfläche pro Kanteletyp wurde aus dem in Unterkapitel 3.1 beschriebenen Aufbau der Kanteln berechnet. Zusätzlich wurde angenommen, dass bei einer keilgezinkten Kantele ein

Teilstück 0.2 m lang ist. Allfällige Unterschiede in den Herstellungsaufwänden der verschiedenen Kanteltypen konnten basierend auf den vorhandenen Daten nicht berücksichtigt werden.

Das Nadelholz wird durchschnittlich 41 km per Lastwagen transportiert. Für die Transportdistanzen der Hilfs- und Verpackungsmaterialien wurden Standarddistanzen aus Frischknecht et al. (2007) verwendet.

Es wurden separate Sachbilanzdatensätze für die Kantelherstellung in der Schweiz und in Europa erstellt. Die Datensätze unterscheiden sich in Bezug auf die Holzherkunft, den Strommix, die Transportmittel und die Standardtransportdistanzen.

Die Sachbilanzdaten für die Produktion von 1 m³ Kantel sind für die schweizerische Produktion in Tabelle 5 und für die europäische Produktion in Tabelle 6 dargestellt. Die Zusammensetzung der Durchschnittskantel ist in Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 5: Sachbilanzdaten für die Produktion von 1 m³ Kantel ab Werk in der Schweiz

product	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	Scantling, softwood, solid wood, massive, at plant						Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
						Scantling, softwood, solid wood, massive, at plant	Scantling, softwood, solid wood, finger-jointed, at plant	Scantling, softwood, laminated, CCC, at plant	Scantling, softwood, laminated, CFC, at plant	Scantling, softwood, laminated, CCF, at plant	Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant			
						CH	CH	CH	CH	CH	CH			
	Location					0	0	0	0	0	0			
	Infrastructure					m3	m3	m3	m3	m3	m3			
	Unit													
	Scantling, softwood, solid wood, massive, at plant	CH	0	m3		1	0	0	0	0	0			
	Scantling, softwood, solid wood, finger-jointed, at plant	CH	0	m3		0	1	0	0	0	0			
	Scantling, softwood, laminated, CCC, at plant	CH	0	m3		0	0	1	0	0	0			
	Scantling, softwood, laminated, CFC, at plant	CH	0	m3		0	0	0	1	0	0			
	Scantling, softwood, laminated, CCF, at plant	CH	0	m3		0	0	0	0	1	0			
	Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant	CH	0	m3		0	0	0	0	0	1			
technosphere	sawnwood, beam, softwood, raw, kiln dried (u=10%), at sawmill	CH	0	m3		1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); softwood; physical allocation of wood demand
	vinyl acetate, at plant	RER	0	kg		0	1.35E+0	9.48E+0	9.65E+0	1.01E+1	1.08E+1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); white glue; Assumption section length: 0.2m; Thickness scantling massive: 0.075m; Thickness scantling laminated: 0.071m
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh		5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); electricity for production; Average of data from manufacturers
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	0	MJ		5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); heat production from waste wood; Average of data from manufacturers
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ		2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	1	2.07	(3,4,1,1,1,5,BU:2); diesel for building machine; Average of data from manufacturers
	tap water, at user	CH	0	kg		6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); water; Average of data from manufacturers
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg		2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); lubricating oil; Average of data from manufacturers
	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	CH	0	kg		1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); packaging cardboard; Average of data from manufacturers
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg		8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); packaging plastics; Average of data from manufacturers
	EUR-flat pallet	RER	0	unit		3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); packaging pallets; Average of data from manufacturers
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg		1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); disposal of general production waste; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg		8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); disposal of packaging plastics; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm		1.93E+1	1.94E+1	1.98E+1	1.98E+1	1.98E+1	1.98E+1	1	2.07	(3,4,1,1,1,5,BU:2); transportation to production site; Frischknecht et al. 2007
	transport, freight, rail	CH	0	tkm		1.78E-1	9.86E-1	5.87E+0	5.97E+0	6.22E+0	6.68E+0	1	2.07	(3,4,1,1,1,5,BU:2); transportation to production site; Frischknecht et al. 2007

Tabelle 6: Sachbilanzdaten für die Produktion von 1 m³ Kantel ab Werk in Europa

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Scantling, softwood, solid wood, massive, at plant	Scantling, softwood, solid wood, finger-jointed, at plant	Scantling, softwood, laminated, CCC, at plant	Scantling, softwood, laminated, CFC, at plant	Scantling, softwood, laminated, CCF, at plant	Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					RER	RER	RER	RER	RER	RER			
	Location												
	Infrastructure Process				0	0	0	0	0	0			
	Unit				m3	m3	m3	m3	m3	m3			
product	Scantling, softwood, solid wood, massive, at plant	RER	0	m3	1	0	0	0	0	0			
	Scantling, softwood, solid wood, finger-jointed, at plant	RER	0	m3	0	1	0	0	0	0			
	Scantling, softwood, laminated, CCC, at plant	RER	0	m3	0	0	1	0	0	0			
	Scantling, softwood, laminated, CFC, at plant	RER	0	m3	0	0	0	1	0	0			
	Scantling, softwood, laminated, CCF, at plant	RER	0	m3	0	0	0	0	1	0			
	Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant	RER	0	m3	0	0	0	0	0	1			
technosphere	sawnwood, beam, softwood, raw, kiln dried (u=10%), at sawmill	RER	0	m3	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); softwood; physical allocation of wood demand
	vinyl acetate, at plant	RER	0	kg	0	1.35E+0	9.48E+0	9.65E+0	1.01E+1	1.08E+1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); white glue; Assumption section length: 0.2m; Thickness scantling massive: 0.075m; Thickness scantling laminated: 0.071m
	electricity, medium voltage, production ENTSO, at grid	ENTSO	0	kWh	5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	5.50E+1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); electricity for production; Average of data from manufacturers
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	0	MJ	5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	5.35E+2	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); heat production from waste wood; Average of data from manufacturers
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ	2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	2.47E+1	1	2.07	(3,4,1,1,1,5,BU:2); diesel for building machine; Average of data from manufacturers
	tap water, at user	CH	0	kg	6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	6.86E+1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); water; Average of data from manufacturers
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	2.11E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); lubricating oil; Average of data from manufacturers
	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	CH	0	kg	1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1.47E+0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); packaging cardboard; Average of data from manufacturers
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); packaging plastics; Average of data from manufacturers
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	3.12E-3	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); packaging pallets; Average of data from manufacturers
	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1.56E+0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); disposal of general production waste; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	8.90E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); disposal of packaging plastics; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	6.85E+1	6.87E+1	6.95E+1	6.95E+1	6.95E+1	6.96E+1	1	2.07	(3,4,1,1,1,5,BU:2); transportation to production site; Frischknecht et al. 2007
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.57E+0	1.84E+0	3.47E+0	3.50E+0	3.59E+0	3.74E+0	1	2.07	(3,4,1,1,1,5,BU:2); transportation to production site; Frischknecht et al. 2007

Tabelle 7: Sachbilanzdaten für die Produktion von 1 m³ durchschnittlichen Kanteln für Fensterrahmen in der Schweiz und Europa

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	Scantling, softwood, average, at plant	Scantling, softwood, average, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					CH	RER			
	Location								
	Infrastructure Process				0	0			
	Unit				m3	m3			
product	Scantling, softwood, average, at plant	CH	0	m3	1	0			
	Scantling, softwood, average, at plant	RER	0	m3	0	1			
technosphere	Scantling, softwood, solid wood, massive, at plant	CH	0	m3	1.44E-2	0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, solid wood, finger-jointed, at plant	CH	0	m3	4.59E-1	0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window manufactures
	Scantling, softwood, laminated, CCC, at plant	CH	0	m3	6.27E-3	0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, laminated, CFC, at plant	CH	0	m3	2.91E-2	0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, laminated, CCF, at plant	CH	0	m3	0	0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant	CH	0	m3	4.91E-1	0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, solid wood, massive, at plant	RER	0	m3	0	1.44E-2	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, solid wood, finger-jointed, at plant	RER	0	m3	0	4.59E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window manufactures
	Scantling, softwood, laminated, CCC, at plant	RER	0	m3	0	6.27E-3	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, laminated, CFC, at plant	RER	0	m3	0	2.91E-2	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, laminated, CCF, at plant	RER	0	m3	0	0	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window
	Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant	RER	0	m3	0	4.91E-1	1	1.26	(3,4,1,1,1,5,BU:1.05); ; Information window

4.3 Fensterrahmen

4.3.1 Herstellung

Die Materialisierung und Herstellungsaufwände der Fensterrahmen basieren auf Werksdaten von vier Schweizer Herstellern. Die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Daten zur Materialisierung umfassen die Fensterrahmen aus Holz und Holz-Metall und die Oberflächenbehandlung geölt/lasiert und deckend gestrichen. Die Hersteller stellten die Nettomengen der benötigten Produktionsmaterialien pro Standardfensterrahmen und wo möglich die Anteile der Produktionsabfälle zur Verfügung (siehe auch Unterkapitel 2.3). Zur Berechnung der Materialaufwendungen pro Standardfensterrahmen wurden die ungewichteten Durchschnitte der Bruttomengen pro Fensterrahmen und Oberflächenbehandlung berechnet und durch die durchschnittlichen Rahmenfläche im Licht dividiert. Die Modellierung der verschiedenen Fensterrahmen erfolgte modular indem separate Sachbilanzen zu den Fensterrahmen, der Aluminiumbeplankung und der Oberflächenbehandlung erstellt wurden. Die Herstellungsaufwände wurden gemäss den in Unterkapitel 2.4 beschriebenen Allokationskriterien aufgeteilt.

Die Fensterhersteller benötigen zur Fensterrahmenproduktion Holzrohkanteln. Die Sachbilanzen zu Kanteln sind in Unterkapitel 4.2 beschrieben. Basierend auf den Informationen der Fenster- und Kantenhersteller wurde eine Durchschnittskantel aus Nadelholz erstellt (siehe Kapitel 3.1), welche in den Sachbilanzen für Holz und Holz-Metallfensterrahmen eingesetzt wird. Die Anteile an Kanteln aus der Schweiz und aus dem Ausland (hauptsächlich Europa) wurden gemäss den Herstellerangaben modelliert. Neben den Holzrohkanteln beinhalten die Fensterrahmen aus Holz und Holz-Metall ein anodisiertes und/oder pulverbeschichtetes Aluminiumprofil. Die Herstellung der Aluminiumprofile wurde mit dem spezifischen Sachbilanzdatensatz für den Schweizer Markt abgebildet (Stolz & Frischknecht 2016). Für die Beschläge werden verschiedene Materialien wie beispielsweise niedriglegiertes Stahlblech, Zinkdruckguss, Aluminiumdruckguss und glasfaserverstärkter Kunststoffe eingesetzt. Auch für die Dichtungen und Klebstoffe werden unterschiedliche Kombinationen von Materialien eingesetzt (z.B. EPDM, TPE, ABS).

Es wurde angenommen, dass die Produktionsabfälle in der Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt werden. Die Produktionsabfälle aus Aluminium und Zink werden rezykliert und verlassen das System belastungsfrei (siehe Kapitel 2.1).

Für die Transportdistanzen der Aluminiumprofile und Kanteln aus dem Ausland wurden die durchschnittlichen Herstellerangaben verwendet. Für die übrigen Transportdistanzen wurden Standarddistanzen gemäss Frischknecht et al. (2007) verwendet.

Die Sachbilanzdaten für die Herstellung von Holz-Fensterrahmen sind in der Tabelle 8 dargestellt. Die Sachbilanzdaten für die Herstellung des Holz-Metallfensterrahmens sind in der Tabelle 9 ersichtlich.

Tabelle 8: Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m² Holz-Fensterrahmen, ohne Oberflächenbehandlung, ab Werk

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	window frame, wood, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	Infrastructure Process	Unit	CH	0	m2		
product	window frame, wood, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	CH	0	m2	1			
technosphere	Scantling, softwood, average, at plant	CH	0	m3	3.95E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Scantling softwood, origin Switzerland; Average of data from manufacturers
	Scantling, softwood, average, at plant	RER	0	m3	2.70E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Scantling softwood, origin Europe; Average of data from manufacturers
	sawnwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	CH	0	m3	1.58E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Softwood lath, origin Switzerland; Average of data from manufacturers
	sawnwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	RER	0	m3	3.69E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Softwood lath, origin Europe; Average of data from manufacturers
	aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant	CH	0	kg	4.01E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Aluminium profil (anodised); Average of data from manufacturers
	anodising, aluminium sheet	RER	0	m2	9.93E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Anodising of aluminium profil; Average of data from manufacturers
	aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant	CH	0	kg	1.76E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Aluminium profil (powder coated); Average of data from manufacturers
	powder coating, aluminium sheet	RER	0	m2	4.34E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Powder coating of aluminium profil; Average of data from manufacturers
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	7.74E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Steel sheet, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	section bar rolling, steel	RER	0	kg	7.74E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of steel sheet, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	9.51E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Die cast zinc; Average of data from manufacturers
	casting, brass	CH	0	kg	9.51E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of zinc; Average of data from manufacturers
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	3.59E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Steel screws, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	steel product manufacturing, average metal working	RER	0	kg	3.59E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of steel sheet for steel screws; Average of data from manufacturers
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	4.86E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Fibreglass-reinforced polyamide; Average of data from manufacturers
	aluminium, production mix, cast alloy, at plant	RER	0	kg	1.45E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Die cast aluminium; Average of data from manufacturers
	nylon 6, at plant	RER	0	kg	3.65E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other plastic parts; Average of data from manufacturers
	injection moulding	RER	0	kg	3.65E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of other plastic parts; Average of data from manufacturers
	synthetic rubber, at plant	RER	0	kg	1.46E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); EPDM; Average of data from manufacturers
	synthetic rubber, at plant	RER	0	kg	7.41E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); TPE; Average of data from manufacturers
	silicone product, at plant	RER	0	kg	6.88E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Silicon; Average of data from manufacturers
	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant	RER	0	kg	2.51E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); ABS; Average of data from manufacturers
	polyurethane, rigid foam, market mix, at regional storage	CH	0	kg	6.15E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); PUR; Average of data from manufacturers
	vinyl acetate, at plant	RER	0	kg	5.19E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); PVAc adhesive; Average of data from manufacturers
	acrylic binder, 34% in H2O, at plant	RER	0	kg	2.76E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Acrylic adhesive; Average of data from manufacturers
	adhesive for metals, at plant	DE	0	kg	2.92E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Metal adhesive; Average of data from manufacturers
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	2.74E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other plastic parts; Average of data from manufacturers
	polystyrene, extruded (XPS), market mix, at regional storage	CH	0	kg	8.33E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other insulation; Average of data from manufacturers
	adhesive for metals, at plant	DE	0	kg	5.06E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); other adhesive; Average of data from manufacturers

Tabelle 8: Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m² Holz-Fensterrahmen, ohne Oberflächenbehandlung, ab Werk
(Fortsetzung)

product	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	window frame, wood, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	Infrastructure Process	Unit	CH	0	m2		
	window frame, wood, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	CH	0	m2	1			
	window frame, wood, w/o surface treatment, wall opening, at plant	CH	0	m2	0			
	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.32E+1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste scantling; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	5.58E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste adhesive in scantling; Average of data from manufacturers
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.69E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste steel sheet, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.64E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste steel screws, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	glass reinforced plastic sheet (GFK), in MSWI	CH	0	kg	4.42E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste polyamide; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste other plastics; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.45E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste EPDM; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.92E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste TPE; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	9.99E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste silicon; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	6.41E-4	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste PVCa-adhesive; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.74E-4	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste acrylic adhesive; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.89E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste metal adhesive; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polystyrene isolation, flame-retardant, to final disposal	CH	0	kg	2.43E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste insulation; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste other adhesive; Average of data from manufacturers
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	1.18E+2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Electricity; Average of data from manufacturers
	heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating	CH	0	MJ	5.22E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Heat from heating oil ; Average of data from manufacturers
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	0	MJ	2.06E+2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Wood chips; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	1.99E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Cleaning agent; Average of data from manufacturers
	tap water, at user	CH	0	kg	8.97E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Water; Average of data from manufacturers
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	3.26E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Lubricating oil; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	6.96E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other chemicals; Average of data from manufacturers
	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	CH	0	kg	9.37E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Packaging cardboard; Average of data from manufacturers
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg	2.82E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Packaging PE foil; Average of data from manufacturers
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	2.36E-4	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Packaging pallet; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.82E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal of packaging PE foil; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	1.70E+2	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transport of materials to production site; Average of data from manufacturers and standard distances
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	6.61E+0	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transport of materials to production site; Average of data from manufacturers and standard distances
	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0	tkm	4.46E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Transport production waste to municipal incineration; Standard distances

Tabelle 9: Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m² Holz-Metallfensterrahmen, ohne Oberflächenbehandlung, ab Werk

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	window frame, wood-metal, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	Infrastructure Process	Unit		CH			
product	window frame, wood-metal, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	CH	0	m2	1			
technosphere	Scantling, softwood, average, at plant	CH	0	m3	2.97E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Scantling softwood, origin Switzerland; Average of data from manufacturers
	Scantling, softwood, average, at plant	RER	0	m3	2.22E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Scantling softwood, origin Europe; Average of data from manufacturers
	sawnwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	CH	0	m3	2.83E-4	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Softwood lath, origin Switzerland; Average of data from manufacturers
	sawnwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	RER	0	m3	7.41E-4	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Softwood lath, origin Europe; Average of data from manufacturers
	aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant	CH	0	kg	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Aluminium profil (anodised); Average of data from manufacturers
	anodising, aluminium sheet	RER	0	m2	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Anodising of aluminium profil; Average of data from manufacturers
	aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant	CH	0	kg	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Aluminium profil (powder coated); Average of data from manufacturers
	powder coating, aluminium sheet	RER	0	m2	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Powder coating of aluminium profil; Average of data from manufacturers
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	6.76E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Steel sheet, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	section bar rolling, steel	RER	0	kg	6.76E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of steel sheet, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	zinc, primary, at regional storage	RER	0	kg	1.93E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Die cast zinc; Average of data from manufacturers
	casting, brass	CH	0	kg	1.93E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of zinc; Average of data from manufacturers
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.31E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Steel screws, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	steel product manufacturing, average metal working	RER	0	kg	1.31E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of steel sheet for steel screws; Average of data from manufacturers
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	1.04E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Fibreglass-reinforced polyamide; Average of data from manufacturers
	aluminium, production mix, cast alloy, at plant	RER	0	kg	1.09E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Die cast aluminium; Average of data from manufacturers
	nylon 6, at plant	RER	0	kg	9.21E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other plastic parts; Average of data from manufacturers
	injection moulding	RER	0	kg	9.21E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of other plastic parts; Average of data from manufacturers
	synthetic rubber, at plant	RER	0	kg	4.30E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); EPDM; Average of data from manufacturers
	synthetic rubber, at plant	RER	0	kg	1.14E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); TPE; Average of data from manufacturers
	silicone product, at plant	RER	0	kg	4.24E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Silicon; Average of data from manufacturers
	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant	RER	0	kg	1.88E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); ABS; Average of data from manufacturers
	polyurethane, rigid foam, market mix, at regional storage	CH	0	kg	4.62E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); PUR; Average of data from manufacturers
	vinyl acetate, at plant	RER	0	kg	3.55E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); PVAc adhesive; Average of data from manufacturers
	acrylic binder, 34% in H2O, at plant	RER	0	kg	2.07E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Acrylic adhesive; Average of data from manufacturers
	adhesive for metals, at plant	DE	0	kg	2.19E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Metal adhesive; Average of data from manufacturers
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	1.71E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other plastic parts; Average of data from manufacturers
	polystyrene, extruded (XPS), market mix, at regional storage	CH	0	kg	6.25E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other insulation; Average of data from manufacturers
	adhesive for metals, at plant	DE	0	kg	3.80E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); other adhesive; Average of data from manufacturers

Tabelle 9: Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m2 Holz-Metallfensterrahmen, ohne Oberflächenbehandlung, ab Werk (Fortsetzung)

product	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	window frame, wood-metal, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location Infrastructure Process Unit				CH 0 m2 1			
	window frame, wood-metal, w/o surface treatment, m2 visible, at plant	CH	0	m2	1			
	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.16E+1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste scantling; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.27E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste adhesive in scantling; Average of data from manufacturers
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.46E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste steel sheet, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.00E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste steel screws, low-alloyed; Average of data from manufacturers
	glass reinforced plastic sheet (GFK), in MSWI	CH	0	kg	6.25E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste polyamide; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste other plastics; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.00E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste EPDM; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.96E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste TPE; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	5.95E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste silicon; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.28E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste PVCa-adhesive; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.05E-4	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste acrylic adhesive; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.17E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste metal adhesive; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polystyrene isolation, flame-retardant, to final disposal	CH	0	kg	1.82E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste insulation; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste other adhesive; Average of data from manufacturers
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	1.04E+2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Electricity; Average of data from manufacturers
	heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating	CH	0	MJ	3.92E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Heat from heating oil ; Average of data from manufacturers
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	0	MJ	1.70E+2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Wood chips; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	1.99E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Cleaning agent; Average of data from manufacturers
	tap water, at user	CH	0	kg	8.97E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Water; Average of data from manufacturers
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	3.26E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Lubricating oil; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	9.34E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Other chemicals; Average of data from manufacturers
	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	CH	0	kg	1.20E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Packaging cardboard; Average of data from manufacturers
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg	2.91E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Packaging PE foil; Average of data from manufacturers
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	2.57E-4	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Packaging pallet; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.91E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal of packaging PE foil; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	1.20E+2	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transport of materials to production site; Average of data from manufacturers and standard distances
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	7.96E+0	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transport of materials to production site; Average of data from manufacturers and standard distances
	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0	tkm	3.32E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Transport production waste to municipal incineration; Standard distances

Die Rahmen und die Flügel des Holz-Metallfensterrahmen sind aluminiumbeplankt. Die Herstellung der Aluminiumbeplankung wurde mit dem spezifischen Sachbilanzdatensatz für Aluminiumprofile für den Schweizer Markt abgebildet (Stolz & Frischknecht 2016). Die Transportdistanzen sind gemäss den durchschnittlichen Herstellerangaben modelliert. Die Sachbilanzdaten der Aluminiumbeplankung des Holz-Metallfensterrahmen sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Sachbilanzdaten der Herstellung der Aluminiumbeplankung des Holz-Metallfensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht, ab Werk

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	panelling, aluminium, window casement and frame cover, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location	Infrastructure Process	Unit		CH			
	panelling, aluminium, window casement and frame cover, m2 visible, at plant	CH	0	m2	1			
technosphere	aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant	CH	0	kg	1.75E+1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Aluminium profil (anodised); Average of data from manufacturers
	anodising, aluminium sheet	RER	0	m2	4.34E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Anodising of aluminium profil; Average of data from manufacturers
	aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant	CH	0	kg	1.38E+1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Aluminium profil (powder coated); Average of data from manufacturers
	powder coating, aluminium sheet	RER	0	m2	3.41E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Powder coating of aluminium profil; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	3.75E+0	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transport of materials to production site; Average of data from manufacturers

Die Oberflächen der Holz- und Holz-Metallfensterrahmen sind geölt/lasiert oder deckend gestrichen. Dafür verwenden die Hersteller unterschiedliche Kombinationen von Holzschutzmittel, Grundierung, Lasur, Lack und Naturöl. Basierend auf den Herstellerangaben wurden die durchschnittlichen Sachbilanzdaten in Tabelle 11 (Holzfensterrahmen) und in Tabelle 12 (Holz-Metallfensterrahmen) erstellt. Es wurde angenommen, dass die Produktionsabfälle in der KVA verbrannt werden. Für die Transportdistanzen wurden Standarddistanzen gemäss Frischknecht et al. (2007) verwendet.

Tabelle 11: Sachbilanzdaten der Oberflächenbehandlung (geölt/lasiert oder deckend gestrichen) für Holz-Fensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht, ab Werk

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	surface treatment, wood window, natural/varnished, m2 visible, at plant	surface treatment, wood window, opaquely painted, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					CH	CH			
product	Location				CH	CH			
	Infrastructure Process				0	0			
product	Unit				m2	m2			
	surface treatment, wood window, natural/varnished, m2 visible, at plant	CH	0	m2	1	0			
product	surface treatment, wood window, opaquely painted, m2 visible, at plant	CH	0	m2	0	1			
	alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant	RER	0	kg	1.75E-2	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Wood preservative; Average of data from manufacturers
technosphere	acrylic filler, at plant	RER	0	kg	0	1.34E-2	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Acrylic filler; Average of data from manufacturers
	alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant	RER	0	kg	2.27E+0	8.56E-1	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Primer / impregnation; Average of data from manufacturers
technosphere	acrylic dispersion, 65% in H2O, at plant	RER	0	kg	3.50E-2	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Wood preservative glaze; Average of data from manufacturers
	acrylic dispersion, 65% in H2O, at plant	RER	0	kg	2.62E+0	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Wood glaze; Average of data from manufacturers
technosphere	acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant	RER	0	kg	0	5.50E+0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Top and intermediate varnish; Average of data from manufacturers
	alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	RER	0	kg	1.05E+0	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Natural oil; Average of data from manufacturers
technosphere	alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	RER	0	kg	0	2.57E+0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Oil paint; Average of data from manufacturers
	disposal, building, paint on wood, to final disposal	CH	0	kg	3.73E-1	3.74E-1	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Disposal production waste paint; Average of data from manufacturers
technosphere	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	3.00E-1	4.47E-1	1	2.03	(3.3.1.1.1.4.BU:2); Transport of materials to production site; Standard distances
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	3.18E+0	4.34E+0	1	2.03	(3.3.1.1.1.4.BU:2); Transport of materials to production site; Standard distances

Tabelle 12: Sachbilanzdaten der Oberflächenbehandlung für Holz-Metallfensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht, ab Werk

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	surface treatment, wood-metal window, natural/varnished, m2 visible, at plant	surface treatment, wood-metal window, opaquely painted, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					CH	CH			
product	Location				CH	CH			
	Infrastructure Process				0	0			
product	Unit				m2	m2			
	surface treatment, wood-metal window, natural/varnished, m2 visible, at plant	CH	0	m2	1	0			
product	surface treatment, wood-metal window, opaquely painted, m2 visible, at plant	CH	0	m2	0	1			
	alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant	RER	0	kg	4.11E-1	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Wood preservative; Average of data from manufacturers
technosphere	acrylic filler, at plant	RER	0	kg	0	1.00E-2	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Acrylic filler; Average of data from manufacturers
	alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant	RER	0	kg	1.53E+0	4.83E-1	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Primer / impregnation; Average of data from manufacturers
technosphere	acrylic dispersion, 65% in H2O, at plant	RER	0	kg	2.34E-2	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Wood preservative glaze; Average of data from manufacturers
	acrylic dispersion, 65% in H2O, at plant	RER	0	kg	1.30E+0	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Wood glaze; Average of data from manufacturers
technosphere	acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant	RER	0	kg	0	4.73E+0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Top and intermediate varnish; Average of data from manufacturers
	alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	RER	0	kg	7.01E-1	0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Natural oil; Average of data from manufacturers
technosphere	alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	RER	0	kg	0	1.93E+0	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Oil paint; Average of data from manufacturers
	disposal, building, paint on wood, to final disposal	CH	0	kg	2.14E-1	2.79E-1	1	1.16	(3.3.1.1.1.4.BU:1.05); Disposal production waste paint; Average of data from manufacturers
technosphere	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	1.99E-1	3.58E-1	1	2.03	(3.3.1.1.1.4.BU:2); Transport of materials to production site; Standard distances
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	2.10E+0	3.52E+0	1	2.03	(3.3.1.1.1.4.BU:2); Transport of materials to production site; Standard distances

Die Sachbilanzen der Fensterrahmen mit Oberflächenbehandlung und Ressourcenkorrektur (siehe Unterkapitel 2.6) sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Sachbilanzen der Holz- und Holz-Metallfensterrahmen inklusive Ressourcenkorrektur, ab Werk

Name	Location	Infrastructure Process	Unit	window frame, wood, natural/varnished, U=1.2 W/m2K, m2 visible, at plant	window frame, wood, opaquely painted, U=1.2 W/m2K, m2 visible, at plant	window frame, wood-metal, natural/varnished, U=1.1 W/m2K, m2 visible, at plant	window frame, wood-metal, opaquely painted, U=1.1 W/m2K, m2 visible, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
				CH	CH	CH	CH			
Location				CH	CH	CH	CH			
Infrastructure Process				0	0	0	0			
Unit				m2	m2	m2	m2			
product				1	0	0	0			
				0	1	0	0			
				0	0	1	0			
				0	0	0	1			
technosphere				1.00E+0	1.00E+0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				0	0	1.00E+0	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				1.00E+0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				0	1.00E+0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				0	0	1.00E+0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				0	0	0	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
				0	0	1.00E+0	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
resource, biotic				-1.02E+3	-1.02E+3	-8.47E+2	-8.47E+2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Recycling of wooden components (50%);
resource, in ground				-2.83E+0	-2.83E+0	-1.51E+1	-1.51E+1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Recycling of aluminium components;
				-9.51E-1	-9.51E-1	-1.93E+0	-1.93E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Recycling of zinc components;

Auf dem Schweizer Markt werden ca. 20 % der Holz- und Holz-Metall-Fensteroberflächen transparent behandelt (geölt/lasiert) und ca. 80 % deckend gestrichen⁶. Basierend auf diesen Angaben wurden mit den Sachbilanzdaten in Tabelle 13 gemäss der Situation auf dem Schweizer Markt durchschnittliche Datensätze für Holz- und Holz-Metallfensterrahmen erstellt (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Sachbilanzdaten für durchschnittliche Datensätze für Holz- und Holz-Metallfensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht, ab Werk

Name	Location	Infrastructure Process	Unit	window frame, wood, U=1.2 W/m2K, market mix, m2 visible, at plant	window frame, wood-metal, U=1.1 W/m2K, market mix, m2 visible, at plant	disposal, building, window frame, wood, market mix, m2 visible, to final disposal	disposal, building, window frame, wood-metal, market mix, m2 visible, to final disposal	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
				CH	CH	CH	CH			
Location				CH	CH	CH	CH			
Infrastructure Process				0	0	0	0			
Unit				m2	m2	m2	m2			
product				1	0	0	0			
				0	1	0	0			
				0	0	1	0			
				0	0	0	1			
technosphere				2.00E-1	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche
				8.00E-1	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche
				0	2.00E-1	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche
				0	8.00E-1	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche
				0	0	2.00E-1	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche
				0	0	8.00E-1	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche
				0	0	0	2.00E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche
				0	0	0	8.00E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Estimate by B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche

⁶ Persönliche Mitteilung, B. Rudin, Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche, 10. Januar 2020.

4.3.2 Entsorgung

Für die Entsorgung der Fensterrahmen aus Holz und Holz-Metall wurde angenommen, dass 50 % der Kanteln rezykliert und 50 % der KVA zugeführt werden. Die Aluminium- und Zinkbestandteile werden zu 100 % rezykliert. Für kleinere Bestandteile aus Stahl wurde angenommen, dass diese nicht rezykliert, sondern der KVA zugeführt werden. Die Transportdistanzen der Materialien zur KVA wurden gemäss Frischknecht et al. (2007) modelliert.

Die Sachbilanzen zur Entsorgung der Holz- und Holz-Metallfensterrahmen sind in Tabelle 15 ersichtlich.

Tabelle 15: Sachbilanzen zur Entsorgung der Holz- und Holz-Metallfensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht

product	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	disposal, building, window frame, wood, natural/varnished, m2 visible, to final disposal				Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					CH	m2	0	1			
	disposal, building, window frame, wood, natural/varnished, m2 visible, to final disposal	CH	0	m2	0	1	0	0			
	disposal, building, window frame, wood, opaquely painted, m2 visible, to final disposal	CH	0	m2	0	0	1	0			
	disposal, building, window frame, wood-metal, natural/varnished, m2 visible, to final disposal	CH	0	m2	0	0	0	1			
	disposal, building, window frame, wood-metal, opaquely painted, m2 visible, to final disposal	CH	0	m2	0	0	0	0	1		
technosphere	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	0	kg	5.15E+1	5.15E+1	5.87E+1	5.87E+1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); wood in scantling ; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	6.95E-1	6.95E-1	7.93E-1	7.93E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Glue in scantling; Average of data from manufacturers
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	7.73E+0	7.73E+0	7.61E+0	7.61E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); steel sheet and steel screws; Average of data from manufacturers
	glass reinforced plastic sheet (GFK), in MSWI	CH	0	kg	4.42E-1	4.42E-1	9.82E-1	9.82E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Fibreglass-reinforced polyamide; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	8.89E-2	8.89E-2	9.57E-1	9.57E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Nylon, ABS and polyethylene parts; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.76E+0	2.76E+0	5.57E+0	5.57E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Silicon, EPDM and TPE; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polyurethane foam, to final disposal	CH	0	kg	6.15E-2	6.15E-2	4.62E-2	4.62E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); PUR; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.19E-1	4.19E-1	3.10E-1	3.10E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); various glue; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polystyrene isolation, flame-retardant, to final disposal	CH	0	kg	2.43E-3	2.43E-3	6.25E-2	6.25E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); insulation; Average of data from manufacturers
	disposal, building, paint on wood, to final disposal	CH	0	kg	5.62E+0	8.57E+0	3.76E+0	6.87E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); paint from surface treatment; Average of data from manufacturers
	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0	tkm	6.93E-1	7.22E-1	7.88E-1	8.19E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Transportation, standard distances;

4.4 Aussen- und Innentüren

4.4.1 Herstellung

Die Materialisierung und Herstellungsaufwände der Holztüren basieren auf Werksdaten von vier Schweizer Herstellern. Die von den Herstellern zur Verfügung gestellten Daten zur Materialisierung umfassen das Türblatt, den Türrahmen und die Oberflächenbehandlung. Die Hersteller stellten die Nettomengen der benötigten Produktionsmaterialien pro Standardtüre und wo möglich die Anteile der Produktionsabfälle zur Verfügung (siehe auch Unterkapitel 2.3). Zur Berechnung der Materialaufwendungen pro Türe wurden die ungewichteten Durchschnitte der Bruttomengen pro Türe und Oberflächenbehandlung berechnet und durch die Flügelansichtsfläche dividiert. Die Modellierung der verschiedenen Türen erfolgte modular indem separate Sachbilanzen zu den Türblättern, den Türrahmen, der Aluminiumbeplankung und der Oberflächenbehandlung erstellt wurden. Die Herstellungsaufwände wurden gemäss den in Unterkapitel 2.4 beschriebenen Allokationskriterien aufgeteilt. Da keine spezifischen Daten

verfügbar waren, wurden die Herstellungsaufwände von Innen- und Aussentüren als identisch angenommen.

Die Türblätter werden aus verschiedenen Holzwerkstoffen (z.B. Spanplatten und Hartfaserplatten) gefertigt. Die Beschläge sind aus Chromstahl. Silikon wird als Dichtung verwendet. Die Aussentüren beinhalten zudem Aluminiumblech und oft Polyurethanschaum für Dämmeinschübe.

Die Innentüre mit Glaseinsatz hat eine Doppelverglasung und ist mit Argon gefüllt. Eine Scheibe besteht aus Verbundsicherheitsglas. Bei der Aussentüre mit Glaseinsatz wurde eine Dreifachverglasung mit analogem Aufbau gewählt. Die Verglasungen sind in Tabelle 16 aufgelistet und in Kasser et al. (2016) beschreiben.

Die bei der Herstellung der Türen anfallenden Produktionsabfälle werden der KVA zugeführt.

Die Sachbilanzdaten der verschiedenen Türblätter sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m² Türflügel ab Werk in der Schweiz

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	door leaf, room, inner, wood, at plant	door leaf, functional, inner, wood, at plant	door leaf, room, inner, wood-glass, at plant	door leaf, outer, wood, at plant	door leaf, outer, wood-glass, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					CH	CH	CH	CH	CH			
	Location				CH	CH	CH	CH	CH			
	Infrastructure Process				0	0	0	0	0			
	Unit				m2	m2	m2	m2	m2			
product	door leaf, room, inner, wood, at plant	CH	0	m2	1	0	0	0	0			
	door leaf, functional, inner, wood, at plant	CH	0	m2	0	1	0	0	0			
	door leaf, room, inner, wood-glass, at plant	CH	0	m2	0	0	1	0	0			
	door leaf, outer, wood, at plant	CH	0	m2	0	0	0	1	0			
	door leaf, outer, wood-glass, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	1			
technosphere	particleboard, average glue mix, uncoated, at plant	RER	0	m3	2.06E-2	0	2.29E-3	0	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); particle board light; Average of data from manufacturers
	particleboard, average glue mix, uncoated, at plant	RER	0	m3	0	2.71E-2	1.32E-2	1.20E-2	9.53E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); particle board; Average of data from manufacturers
	fibreboard, hard, at plant	RER	0	m3	6.65E-3	1.04E-2	6.61E-3	1.26E-2	8.06E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); fibreboard, hard; Average of data from manufacturers
	sawnwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	CH	0	m3	3.76E-3	6.52E-3	3.86E-3	7.28E-3	9.67E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); lath CH; Average of data from manufacturers
	sawnwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	RER	0	m3	1.26E-3	2.18E-3	1.29E-3	2.43E-3	3.23E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); lath RER; Average of data from manufacturers
	medium density fibreboard, uncoated, at plant	RER	0	m3	0	3.26E-3	0	3.85E-3	3.76E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); fibreboard; Average of data from manufacturers
	glued laminated timber, outdoor use, at plant	CH	0	m3	0	1.25E-3	0	1.04E-3	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); laminated veneer timber CH; Average of data from manufacturers
	glued laminated timber, outdoor use, at plant	RER	0	m3	0	4.17E-4	0	3.44E-4	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); laminated veneer timber RER; Average of data from manufacturers
	medium density fibreboard, uncoated, at plant	RER	0	m3	0	0	0	2.18E-3	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); fibreboard; Average of data from manufacturers
	polyurethane, rigid foam, market mix, at regional storage	CH	0	kg	0	0	0	3.81E-1	2.97E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); polyurethane foam; Average of data from manufacturers
	aluminium sheet, uncoated	CH	0	kg	0	0	0	2.63E+0	1.74E+0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); aluminium sheet; Average of data from manufacturers
	glazing, double (2-IV), U=1.1 W/m2K, 4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1, at plant	CH	0	m2	0	0	4.04E-1	0	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); Glazing; Average of data from manufacturers
	glazing, triple (3-IV), U=0.6 W/m2K, 4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	3.70E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); Glazing; Average of data from manufacturers
	steel sheet, zinc-coated, recycling share 2000 (37% Rec.)	CH	0	kg	5.00E-1	9.00E-1	5.00E-1	9.00E-1	9.00E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); steel for fittings; Average of data from manufacturers
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	1.85E-2	1.67E-2	1.85E-2	1.67E-2	1.67E-2	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); steel screws for fittings; Average of data from manufacturers
	steel product manufacturing, average metal working	RER	0	kg	1.85E-2	1.67E-2	1.85E-2	1.67E-2	1.67E-2	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); processing of steel screws; Average of data from manufacturers
	chromium steel sheet 18, recycling share 2000 (37% Rec.)	CH	0	kg	2.43E-1	3.18E-1	2.43E-1	3.18E-1	3.18E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); Chromium steel for fittings; Average of data from manufacturers
	silicone product, at plant	RER	0	kg	7.56E-2	1.36E-1	1.01E-1	1.39E-1	1.85E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); silicon; Average of data from manufacturers
	vinyl acetate, at plant	RER	0	kg	1.69E-1	4.29E-1	1.49E-1	4.48E-1	5.17E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); white glue; Average of data from manufacturers
	urea formaldehyde resin, at plant	RER	0	kg	4.55E-2	0	6.06E-2	0	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); urea-based glue; Average of data from manufacturers
	disposal, particle board, outdoor application	CH	0	kg	0	0	0	7.25E-1	6.21E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste particle board; Average of data from manufacturers
	disposal, particle board, indoor application	CH	0	kg	8.08E-1	1.31E+0	8.57E-1	0	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste particle board
	disposal, fibreboard, hard	CH	0	kg	5.75E-1	9.00E-1	5.77E-1	1.07E+0	7.06E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste fibreboard hard
	disposal, fibreboard, medium density (MDF)	CH	0	kg	0	2.24E-1	0	3.51E-1	2.57E-1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste fibreboard medium density; Average of data from manufacturers
	disposal, glue-laminated timber	CH	0	kg	0	5.75E-2	0	4.75E-2	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste laminated veneer timber; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polyurethane foam, to final disposal	CH	0	kg	0	0	0	2.56E-2	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste polyurethane foam; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	CH	0	kg	7.49E-4	1.35E-3	9.98E-4	1.38E-3	1.83E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste silicon; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.14E-2	3.01E-2	1.20E-2	3.06E-2	3.75E-2	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste with glue; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	4.50E-4	0	6.00E-4	0	0	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal production waste urea-based glue; Average of data from manufacturers
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	1.01E+1	1.01E+1	1.01E+1	1.01E+1	1.01E+1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); electricity for production; Average of data from manufacturers
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	0	MJ	6.47E+1	6.47E+1	6.47E+1	6.47E+1	6.47E+1	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); production waste from laths; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	2.09E-3	2.09E-3	2.09E-3	2.09E-3	2.09E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); cleaning agent; Average of data from manufacturers
	tap water, at user	CH	0	kg	1.61E-2	1.61E-2	1.61E-2	1.61E-2	1.61E-2	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); water; Average of data from manufacturers
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	4.51E-3	4.51E-3	4.51E-3	4.51E-3	4.51E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); lubricating oil; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	2.67E-4	2.67E-4	2.67E-4	2.67E-4	2.67E-4	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); chemicals; Average of data from manufacturers
	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	CH	0	kg	1.31E-2	1.31E-2	1.31E-2	1.31E-2	1.31E-2	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); packaging cardboard; Average of data from manufacturers
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg	3.75E-2	3.75E-2	3.75E-2	3.75E-2	3.75E-2	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); packaging plastics; Average of data from manufacturers
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	1.04E-3	1.04E-3	1.04E-3	1.04E-3	1.04E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); packaging pallet; Average of data from manufacturers
	kraft paper, bleached, at plant	RER	0	kg	0	2.50E-3	0	2.50E-3	2.50E-3	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); packaging paper; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	3.75E-2	3.75E-2	3.75E-2	3.75E-2	3.75E-2	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); disposal packaging plastics; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	1.28E+1	1.52E+1	9.27E+0	1.44E+1	1.14E+1	1	2.03	(3.3,1,1,4,4,1.05); Transportation to production site; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	6.12E-1	1.04E+0	8.39E+0	1.81E+0	1.11E+1	1	2.03	(3.3,1,1,4,4,1.05); Transportation to production site ; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007
	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0	tkm	3.75E-4	3.75E-4	3.75E-4	3.75E-4	3.75E-4	1	1.16	(3.3,1,1,4,4,1.05); Transport of waste to municipal incineration; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007

Für die Herstellung der Türrahmen werden von den Türherstellern verschiedene Kanteltypen eingesetzt. Deshalb wurde für die Modellierung der Holz Türrahmen die Durchschnittskantel (siehe Unterkapitel 4.2) verwendet. Da keine Angaben über die Herkunft der Kanteln verfügbar waren, wurde angenommen, dass die Anteile von Kanteln aus der Schweiz und Europa identisch sind wie bei den Fensterherstellern.

Aufgrund geringer Datenverfügbarkeit wurde für die Berechnung des Durchschnitts der Stahlmenge in der Stahlzarge ein Literaturwert aus Werner et al. (1997) hinzugezogen.

Für die Transportdistanzen der Kanteln aus der Schweiz wurden die Angaben der Türhersteller verwendet und für die Kanteln aus Europa die Angaben der Fensterhersteller. Für die Transportdistanz der Stahlzarge wurden Standarddistanzen gemäss Frischknecht et al. (2007) verwendet.

Die Sachbilanzdaten für die Herstellung der Türrahmen von Innen- und Aussentüren pro m² Flügelansichtsfläche sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Sachbilanzdaten für die Herstellung von Türrahmen bezogen auf 1 m² Flügelansichtsfläche ab Werk in der Schweiz

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	door frame, outer, wood, at plant			Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					door frame, inner, wood, at plant	door frame, inner, steel, at plant	door frame, outer, wood, at plant			
	Location				CH	CH	CH			
	Infrastructure Process				0	0	0			
	Unit				m2	m2	m2			
product	door frame, inner, wood, at plant	CH	0	m2	1	0	0			
	door frame, inner, steel, at plant	CH	0	m2	0	1	0			
	door frame, outer, wood, at plant	CH	0	m2	0	0	1			
technosphere	Scantling, softwood, average, at plant	CH	0	m3	2.69E-3	0	2.88E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Scantling from Switzerland; Average of data from manufacturers
	Scantling, softwood, average, at plant	RER	0	m3	1.70E-2	0	1.82E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Scantling from Europe; Average of data from manufacturers
	steel sheet, uncoated, recycling share 2000 (37% Rec.)	CH	0	kg	0	1.21E+1	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Steel frame; Average of data from manufacturers and Werner et al. 1997
	steel product manufacturing, average metal working	RER	0	kg	0	1.21E+1	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Processing of steel frame; Average of data from manufacturers and Werner et al. 1997
	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.20E+0	0	1.16E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal of processing waste scantling wood; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.62E-2	0	1.57E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal of processing waste scantling glue; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	9.04E+0	6.03E-1	9.66E+0	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transportation to production site; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	0	7.24E+0	0	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transportation to production site; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007
	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0	tkm	1.21E-2	0	1.18E-2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Transport of production waste to municipal incineration; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007

Die Oberflächen der Innen- und Aussentüren sind naturbehandelt/transparent lackiert oder deckend gestrichen. Dafür verwenden die Hersteller unterschiedliche Kombinationen von Grundierung, Lasur und Lack. Basierend auf den Herstellerangaben wurden die durchschnittlichen Sachbilanzdaten in Tabelle 18 erstellt. Die Produktionsabfälle werden in der KVA verbrannt. Für die Transportdistanzen wurden Standarddistanzen gemäss Frischknecht et al. (2007) verwendet.

Tabelle 18: Sachbilanzdaten für die Oberflächenbehandlung von 1 m² Flügelansichtsfläche ab Werk in der Schweiz

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	surface treatment, inner door, natural, at plant	surface treatment, inner door, opaquely painted, at plant	surface treatment, outer door, natural, at plant	surface treatment, outer door, opaquely painted, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
						CH	CH	CH	CH			
product	Location					0	0	0	0			
	Infrastructure Process					0	0	0	0			
	Unit					m2	m2	m2	m2			
	surface treatment, inner door, natural, at plant	CH	0		m2	1	0	0	0			
technosphere	surface treatment, inner door, opaquely painted, at plant	CH	0		m2	0	1	0	0			
	surface treatment, outer door, natural, at plant	CH	0		m2	0	0	1	0			
	surface treatment, outer door, opaquely painted, at plant	CH	0		m2	0	0	0	1			
	alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant	RER	0		kg	4.61E-1	8.13E-1	4.22E-1	8.61E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Primer / impregnation; Average of data from manufacturers
acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant	RER	0		kg	0	5.84E-1	0	8.93E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); opaquely painted; Average of data from manufacturers	
acrylic dispersion, 65% in H2O, at plant	RER	0		kg	0	0	8.29E-1	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); natural glaze; Average of data from manufacturers	
alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant	RER	0		kg	6.28E-1	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); natural oil/varnished; Average of data from manufacturers	
disposal, building, paint on wood, to final disposal	CH	0		kg	2.57E-1	3.22E-1	2.09E-1	4.27E-1	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste paint; Average of data from manufacturers	
transport, freight, lorry, fleet average	CH	0		tkm	5.45E-2	6.98E-2	6.25E-2	8.77E-2	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transportation to production site; Frischknecht et al. 2007	
transport, freight, rail	CH	0		tkm	4.02E-1	8.38E-1	7.51E-1	1.05E+0	1	2.03	(3,3,1,1,1,4,BU:2); Transportation to production site; Frischknecht et al. 2007	
transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0		tkm	2.57E-3	3.22E-3	2.09E-3	4.27E-3	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Transportation production waste to municipal incineration; Frischknecht et al. 2007	

Aufgrund geringer Datenverfügbarkeit wurde die Aluminiumbeplankung der Aussentüre für die Türansichtsfläche von 2 m² und einer Rahmenfläche von 1.12 m² (bei angenommenen Rahmenbreite 150 mm und einer Türdicke von 65 mm) berechnet. Basierend auf Herstellerdaten wurde angenommen, dass die Blechstärke des Aluminiums 2 mm ist. Bei einer Dichte von 2690 kg/m³ wird für die Aluminiumbeplankung 16.8 kg Aluminium benötigt. Für die Transportdistanz des Aluminiumblechs wurden Standarddistanzen aus Frischknecht et al. (2007) verwendet. Die Sachbilanz der Aluminiumbeplankung ist in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Sachbilanzdaten für die Herstellung der Aluminiumbeplankung für 1 m² Flügelansichtsfläche einer Aussentüre aus Holz ab Werk in der Schweiz

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	panelling, aluminium, outer door, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location				CH			
	Infrastructure Process				0			
	Unit				m2			
product	panelling, aluminium, outer door, at plant	CH	0	m2	1			
technosphere	aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant	CH	0	kg	8.39E+0	1	1.38	(4,5,1,1,1,5,BU:1.05); Aluminium for door panelling; Calculated based on door measures
	powder coating, aluminium sheet	RER	0	m2	1.56E+0	1	1.38	(4,5,1,1,1,5,BU:1.05); Powder coating of aluminium; Calculated based on door measures
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	4.20E-1	1	2.14	(4,5,1,1,1,5,BU:2); Transportation to production site; Frischknecht 2007 et al.
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	1.68E+0	1	2.14	(4,5,1,1,1,5,BU:2); Transportation to production site; Frischknecht 2007 et al.

Die Sachbilanzen der Innen- und Aussentüren mit Oberflächenbehandlung und Ressourcenkorrektur (siehe Unterkapitel 2.6) sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m² Holz-Innentüre oder Aussentüre ab Werk in der Schweiz

	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	door, inner, room, wood frame, at plant	door, inner, room, glass-wood, wooden frame, at plant	door, inner, functional, wood, wooden frame, at plant	door, inner, room, wood steel frame, at plant	door, inner, room, glass-wood, steel frame, at plant	door, inner, functional, wood, steel frame, at plant	door, outer, wood, U=1.0 W/m2K, wooden frame, at plant	door, outer, glass-wood, U=0.7 W/m2K, wooden frame, at plant	door, outer, wood-aluminium, wooden frame, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
					CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH				
					0	0	0	0	0	0	0	0				
					m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2	m2				
product	door, inner, room, wood, wooden frame, at plant	CH	0	m2	1	0	0	0	0	0	0	0				
	door, inner, room, glass-wood, wooden frame, at plant	CH	0	m2	0	1	0	0	0	0	0	0				
	door, inner, functional, wood, wooden frame, at plant	CH	0	m2	0	0	1	0	0	0	0	0				
	door, inner, room, wood, steel frame, at plant	CH	0	m2	0	0	0	1	0	0	0	0				
	door, inner, room, glass-wood, steel frame, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	1	0	0	0				
	door, inner, functional, wood, steel frame, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	1	0	0				
	door, outer, wood, U=1.0 W/m2K, wooden frame, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	1	0				
	door, outer, glass-wood, U=0.7 W/m2K, wooden frame, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	1				
	door, outer, wood-aluminium, wooden frame, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
technosphere	door leaf, room, inner, wood, at plant	CH	0	m2	1.00E+0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	door leaf, functional, inner, wood, at plant	CH	0	m2	0	0	1.00E+0	0	0	1.00E+0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	door leaf, room, inner, wood-glass, at plant	CH	0	m2	0	1.00E+0	0	0	1.00E+0	0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	door leaf, outer, wood, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	door leaf, outer, wood-glass, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	0	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	door frame, inner, wood, at plant	CH	0	m2	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	0	0	0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	door frame, inner, steel, at plant	CH	0	m2	0	0	0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	door frame, outer, wood, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	surface treatment, inner door, opaquely painted, at plant	CH	0	m2	1.00E+0	5.96E-1	1.00E+0	1.00E+0	5.96E-1	1.00E+0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	surface treatment, outer door, opaquely painted, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	6.30E-1	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
	panelling, aluminium, outer door, at plant	CH	0	m2	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Average of data from manufacturers
resource, biotic	Energy, gross calorific value, in biomass, resource correction	-	-	MJ	-1.50E+2	-1.50E+2	-2.26E+2	-8.07E+1	-8.08E+1	-1.57E+2	-2.71E+2	-2.25E+2	-2.71E+2	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Resource correction wood;
resource, in ground	Aluminium, resource correction	-	-	kg	0	0	0	0	0	0	-1.35E+0	-8.93E-1	-5.38E+0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Resource correction aluminium;
	Iron, resource correction	-	-	kg	0	0	0	-7.60E+0	-7.60E+0	-7.60E+0	0	0	0	1	1.16	(3,3,1,1,1,4,BU:1.05); Resource correction steel;

4.4.2 Entsorgung

Für die Entsorgung der Innen- und Aussentüren wurde angenommen, dass die Holzwerkstoffe ausser den Spanplatten zu 50 % rezykliert und zu 50 % der KVA zugeführt werden. Die Spanplatten werden zu 100 % der KVA zugeführt. Für die Modellierung der Entsorgung der Verglasung von Innen- und Aussentüren wurden bestehende Sachbilanzdatensätze verwendet (Kasser et al. 2016). Das Aluminiumblech in den Aussentüren, die Aluminiumbeplankung und der Stahlzarge werden zu 100 % rezykliert und verlassen das System belastungsfrei. Die Transportdistanzen der Materialien zur KVA wurden gemäss Frischknecht et al. (2007) modelliert.

Die Sachbilanzen zur Entsorgung der Innen- und Aussentüren sind in Tabelle 21 ersichtlich.

Tabelle 21: Sachbilanzdaten für die Entsorgung von 1 m² Türansichtsfläche von Holz-Innentüren und Holz-Aussentüren in Beseitigung

Name	Location	Infrastructure Process	Unit	disposal, building, door, inner, room, wood, wooden frame, to final disposal	disposal, building, door, inner, room, glass-wood, wooden frame, to final disposal	disposal, building, door, inner, functional, wood, wooden frame, to final disposal	disposal, building, door, inner, room, wood, steel frame, to final disposal	disposal, building, door, inner, room, glass-wood, steel frame, to final disposal	disposal, building, door, inner, functional, wood, steel frame, to final disposal	disposal, building, door, outer, wood, U=1.0 W/m ² K, wooden frame, to final disposal	disposal, building, door, outer, glass-wood, U=0.7 W/m ² K, wooden frame, to final disposal	disposal, building, door, outer, wood-aluminium, wooden frame, to final disposal	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
				CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH			
product	Location	Infrastructure Process	Unit	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH			
	disposal, building, door, inner, room, wood, wooden frame, to final disposal		m ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
	disposal, building, door, inner, room, glass-wood, wooden frame, to final disposal		m ²	0	1	0	0	0	0	0	0	0			
	disposal, building, door, inner, functional, wood, wooden frame, to final disposal		m ²	0	0	1	0	0	0	0	0	0			
	disposal, building, door, inner, room, wood, steel frame, to final disposal		m ²	0	0	0	1	0	0	0	0	0			
	disposal, building, door, inner, room, glass-wood, steel frame, to final disposal		m ²	0	0	0	0	1	0	0	0	0			
	disposal, building, door, inner, functional, wood, steel frame, to final disposal		m ²	0	0	0	0	0	1	0	0	0			
	disposal, building, door, outer, wood, U=1.0 W/m ² K, wooden frame, to final disposal		m ²	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
	disposal, building, door, outer, glass-wood, U=0.7 W/m ² K, wooden frame, to final disposal		m ²	0	0	0	0	0	0	0	1	0			
	disposal, building, door, outer, wood-aluminium, wooden frame, to final disposal		m ²	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
technosphere	disposal, particle board, indoor application		kg	1.24E+1	9.04E+0	1.60E+1	1.24E+1	9.04E+0	1.60E+1	0	0	0	1	1.05	(1.1,1.1,1.1,1.BU:1.05); disposal particle board from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, particle board, outdoor application		kg	0	0	0	0	0	0	6.93E+0	5.48E+0	6.93E+0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal fibreboard from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration		kg	1.17E+0	1.20E+0	2.02E+0	1.17E+0	1.20E+0	2.02E+0	2.26E+0	3.00E+0	2.26E+0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal lath from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, fibreboard, hard		kg	2.89E+0	2.87E+0	4.52E+0	2.89E+0	2.87E+0	4.52E+0	5.46E+0	3.50E+0	5.46E+0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal fibreboard from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, fibreboard, medium density (MDF)		kg	0	0	1.01E+0	0	0	1.01E+0	1.89E+0	1.16E+0	1.89E+0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal fibreboard medium density from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, glue-laminated timber		kg	0	0	3.64E-1	0	0	3.64E-1	3.00E-1	0	3.00E-1	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal laminated veneer timber from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, steel, 0% water, to municipal incineration		kg	7.61E-1	7.61E-1	1.24E+0	7.61E-1	7.61E-1	1.24E+0	1.24E+0	1.24E+0	1.24E+0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal steel from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polyurethane foam, to final disposal		kg	0	0	0	0	0	0	3.55E-1	2.97E-1	3.55E-1	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal polyurethane foam from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration		kg	7.49E-2	9.98E-2	1.35E-1	7.49E-2	9.98E-2	1.35E-1	1.38E-1	1.83E-1	1.38E-1	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal silicon from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration		kg	2.03E-1	1.97E-1	3.99E-1	2.03E-1	1.97E-1	3.99E-1	4.18E-1	4.80E-1	4.18E-1	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal glue from door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, building, paint on wood, to final disposal		kg	1.07E+0	6.41E-1	1.07E+0	1.07E+0	6.41E-1	1.07E+0	1.33E+0	8.36E-1	1.33E+0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal paint from surface treatment; Average of data from manufacturers
	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration		kg	3.50E+0	3.50E+0	3.50E+0	0	0	0	3.73E+0	3.73E+0	3.73E+0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal scantling wood from frame; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration		kg	9.46E-2	9.46E-2	9.46E-2	0	0	0	1.01E-1	1.01E-1	1.01E-1	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal scantling glue from frame; Average of data from manufacturers
	disposal, building, glazing, 2-IV, U=1.1 W/m ² K, 4 Float / 16 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1, to final disposal		m ²	0	4.04E-1	0	0	4.04E-1	0	0	0	0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal glazing door leaf; Average of data from manufacturers
	disposal, building, glazing, 3-IV, U=0.6 W/m ² K, 4 Low E 1.1 Float / 14 Ar / 4 Float / 14 Ar / VSG 2x4, 0.76 PVB, Low E 1.1 Float, to final disposal		m ²	0	0	0	0	0	0	0	3.70E-1	0	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); disposal glazing door leaf; Average of data from manufacturers
	transport, municipal waste collection, lorry 21t		tkm	2.21E-1	3.14E-1	3.04E-1	1.85E-1	2.78E-1	2.68E-1	2.41E-1	3.58E-1	2.41E-1	1	1.16	(3.3,1.1,1.4,BU:1.05); Transportation to municipal incineration; Frischknecht et al. 2007

4.5 Rahmenverbreiterungen

Die Materialisierung und Herstellungsaufwände von Rahmenverbreiterungen stammen von verschiedenen Herstellern von Rahmenverbreiterungen. Zur Berechnung der Materialaufwendungen wurde der ungewichtete Durchschnitt der Herstellerangaben verwendet. Die Herstellungsaufwände wurden von den Herstellern für den gesamten Produktionsstandort angegeben. Alle Hersteller stellen nebst Rahmenverbreiterungen auch andere Produkte her. Die Allokation der Herstellungsaufwände wurde gemäss den in Unterkapitel 2.4 beschriebenen Kriterien vorgenommen.

Ein Hersteller setzt für die Wärmedämmung PET ein. Da keine Daten für PET als Wärmedämmung verfügbar sind und die Erstellung eines neuen, KBOB-konformen Sachbilanzdatensatzes über dieses Projekt hinausgehen würde, wurde EPS als Wärmedämmung angenommen.

Es wurde angenommen, dass die bei der Produktion anfallenden behandelten Holzverschnitte (Spanplatte, Sperrholz) in der KVA entsorgt werden. Unbehandelte Holzverschnitte (Latten für Einleimer) werden für die interne Wärmeproduktion verwendet. Deshalb wurde für die Stege aus Holzlatten nur der tatsächliche netto Holzbedarf für die Berechnungen berücksichtigt. Der durch die Verbrennung von Holzabfällen gedeckte Wärmebedarf wurde gemäss den Angaben der Hersteller mit einbezogen.

Falls vorhanden, wurden für die Transportaufwendungen die durchschnittlichen Herstellerangaben verwendet. Ansonsten wurden Standarddistanzen aus Frischknecht et al. (2007) angenommen.

Die Sachbilanzen der Herstellung von Rahmenverbreiterungen mit Spanplatten und mit PVC sind in Tabelle 22 gezeigt.

Tabelle 22: Sachbilanzdaten für die Produktion von 1 m² Rahmenverbreiterung Spanplatte und Rahmenverbreiterung PVC ab Werk in der Schweiz

product	Name	Location	Infrastructure Process	Unit	frame extension, particle board, at plant	frame extension, PVC, at plant	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
	Location				CH	CH			
	Infrastructure Process				0	0			
	frame extension, particle board, at plant	CH	0	m2	2	0			
	frame extension, PVC, at plant	CH	0	m2	1	0			
technosphere	melamine formaldehyde resin, at plant	RER	0	kg	2.60E-1	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); coating foil; Average of data from manufacturers
	particleboard, average glue mix, uncoated, at plant	RER	0	m3	2.27E-2	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); particle board; Average of data from manufacturers
	polyvinylchloride, at regional storage	RER	0	kg	0	1.19E+1	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); PVC; Average of data from manufacturers
	polyurethane, rigid foam, market mix, at regional storage	CH	0	kg	1.41E+0	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); insulation PUR rigid foam; Average of data from manufacturers
	polystyrene foam slab, market mix, at regional storage	CH	0	kg	0	1.80E+0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); insulation EPS rigid foam; Average of data from manufacturers
	particleboard, average glue mix, uncoated, at plant	RER	0	m3	1.43E-3	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); bridge particle board; Average of data from manufacturers
	sawnwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill	CH	0	m3	3.16E-3	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); bridge sawnwood, lath; Average of data from manufacturers
	plywood, outdoor use, at plant	RER	0	m3	0	3.99E-3	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); bridge plywood; Average of data from manufacturers
	vinyl acetate, at plant	RER	0	kg	3.44E-1	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); white glue; Average of data from manufacturers
	urea formaldehyde resin, at plant	RER	0	kg	0	2.36E-1	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); other glue; Average of data from manufacturers
	disposal, particle board, outdoor application	CH	0	kg	1.00E+0	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste particle board; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal	CH	0	kg	0	6.28E-1	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste PVC; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polyurethane foam, to final disposal	CH	0	kg	7.93E-2	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste insulation PUR rigid foam; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polystyrene isolation, flame-retardant, to final disposal	CH	0	kg	0	5.02E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste insulation EPS rigid foam; Average of data from manufacturers
	disposal, particle board, outdoor application	CH	0	kg	9.07E-3	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste bridge particle board; Average of data from manufacturers
	disposal, plywood, outdoor application	CH	0	kg	0	9.49E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste bridge plywood; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.69E-2	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste white glue; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	0	6.30E-3	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal production waste other glue; Average of data from manufacturers
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	8.89E+0	8.89E+0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); electricity for production ; Average of data from manufacturers
	heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating	CH	0	MJ	1.75E-2	1.75E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); heat oil; Average of data from manufacturers
	heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW	RER	0	MJ	8.14E-3	8.14E-3	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); natural gas; Average of data from manufacturers
	wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW	CH	0	MJ	2.24E+1	2.24E+1	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); production waste wood for heating; Average of data from manufacturers
	diesel, burned in building machine, average	CH	0	MJ	9.40E-1	9.40E-1	1	2.04	(3,4,1,3,1,4,BU:2); diesel for forklift; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	3.27E-3	3.27E-3	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); cleaning agent; Average of data from manufacturers
	tap water, at user	CH	0	kg	2.42E-2	2.42E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); water; Average of data from manufacturers
	lubricating oil, at plant	RER	0	kg	6.97E-4	6.97E-4	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); lubricating oil; Average of data from manufacturers
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	4.63E-4	4.63E-4	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); other chemicals; Average of data from manufacturers
	ammonia, liquid, at regional storehouse	CH	0	kg	6.72E-5	6.72E-5	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); ammonia; Average of data from manufacturers
	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	CH	0	kg	2.42E-2	2.42E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); packaging cardboard; Average of data from manufacturers
	packaging film, LDPE, at plant	RER	0	kg	1.64E-2	1.64E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); packaging plastics; Average of data from manufacturers
	EUR-flat pallet	RER	0	unit	4.15E-2	4.15E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); packaging pallets; Average of data from manufacturers
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.64E-2	1.64E-2	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal of packaging plastics; Average of data from manufacturers
	transport, freight, lorry, fleet average	CH	0	tkm	1.54E+1	8.52E+0	1	2.04	(3,4,1,3,1,4,BU:2); transportation to production site; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	1.62E-1	5.93E-3	1	2.04	(3,4,1,3,1,4,BU:2); transportation to production site; Average of data from manufacturers or Frischknecht et al. 2007
	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0	tkm	1.13E-2	7.96E-3	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); transportation to municipal incineration ; Frischknecht et al. 2007

Die Rahmenverbreiterung wird in der KVA entsorgt. Die Spanplatte wird nicht rezykliert. Die zu entsorgenden Mengen pro m² Rahmenverbreiterung wurden anhand der Materialaufwendungen in Tabelle 22 berechnet.

Für die Transportdistanzen der Rahmenverbreiterungen vom Verwendungsort zur KVA wurden Standarddistanzen aus Frischknecht et al. (2007) verwendet.

Die Sachbilanzen der Entsorgung von Rahmenverbreiterungen mit Spanplatten und mit PVC sind in Tabelle 23 gezeigt.

Tabelle 23: Sachbilanzdaten zur Entsorgung von 1 m² Rahmenverbreiterung Spanplatte und Rahmenverbreiterung PVC

	Name	Location	Infrastructure Process		Unit	disposal, frame extension, particle board, to final disposal	disposal, frame extension, PVC, to final disposal	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
			0	0		CH	CH			
	Location					CH	CH			
	Infrastructure Process					0	0			
	Unit					m2	m2			
product	disposal, frame extension, particle board, to final disposal	CH	0	m2		1	0			
	disposal, frame extension, PVC, to final disposal	CH	0	m2		0	1			
technosphere	disposal, building, paint on wood, to final disposal	CH	0	kg		2.60E-1	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal coating foil; Average of data from manufacturers
	disposal, particle board, outdoor application	CH	0	kg		1.35E+1	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal particle board; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal	CH	0	kg		0	1.13E+1	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal PVC; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polyurethane foam, to final disposal	CH	0	kg		1.33E+0	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal PUR rigid foam; Average of data from manufacturers
	disposal, building, polystyrene isolation, flame-retardant, to final disposal	CH	0	kg		0	1.75E+0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal EPS rigid foam; Average of data from manufacturers
	disposal, particle board, outdoor application	CH	0	kg		9.07E-1	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal bridge particle board; Average of data from manufacturers
	disposal, softwood, kiln-dried	CH	0	kg		1.47E+0	0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal bridge sawnwood, lath; Average of data from manufacturers
	disposal, plywood, outdoor application	CH	0	kg		0	1.90E+0	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal bridge plywood; Average of data from manufacturers
	disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg		3.27E-1	2.30E-1	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); disposal glue; Average of data from manufacturers
	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	0	tkm		1.78E-1	1.52E-1	1	1.19	(3,4,1,3,1,4,BU:1.05); transportation to municipal incineration; Frischknecht et al. 2007

5 Wirkungsabschätzung

5.1 Überblick

Die Umweltauswirkungen der Herstellung und Entsorgung von Kanteln (Unterkapitel 5.2), Fensterrahmen (Unterkapitel 5.3), Türen (Unterkapitel 5.4) und Rahmenverbreiterungen (Unterkapitel 5.5) wurden mit den Indikatoren Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013, Treibhausgasemissionen, kumulierter Primärenergiebedarf nicht erneuerbar und erneuerbar sowie den EPD-Indikatoren bewertet. Im ersten Abschnitt sind jeweils die Ergebnisse gemäss der Struktur der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 dargestellt. Im zweiten und dritten Abschnitt werden die wichtigsten Materialien und Prozesse an der Gesamtumweltbelastung resp. den Treibhausgasemissionen analysiert. Im vierten Abschnitt sind die Resultate der EPD-Indikatoren zusammengefasst.

Die Ergebnisse der EPD-Indikatoren werden gezeigt für die Module A1 bis A3 (als «Herstellung» bezeichnet) und C1 bis C4 (als «Entsorgung» bezeichnet). Für die Berechnung des Indikators Treibhausgasemissionen der EPD-Indikatoren werden die Treibhauspotenziale gemäss IPCC (2007) verwendet. Deshalb können die Resultate von den Treibhausgasemissionen der Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung abweichen. Für die Berechnung der Indikatoren des Primärenergiebedarfs wurde der untere Heizwert verwendet. Der kumulierte Primärenergiebedarf nicht erneuerbar und erneuerbar gemäss der KBOB-Empfehlung basiert auf den oberen Heizwerten. Es kann deshalb zu Abweichungen zwischen diesen Indikatoren kommen.

5.2 Kanteln

5.2.1 Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung

Die Umweltkennwerte der Herstellung der verschiedenen Kanteltypen in der Schweiz sind in Tabelle 24 dargestellt. Die massive Vollholzkantel verursacht gemäss allen betrachteten Indikatoren die geringste Umweltbelastung. Dies ist darauf zurück zu führen, dass für die Herstellung von massiven Vollholzkanteln kein Leim benötigt wird. Auch für die restlichen Kanteltypen ist die berechnete Menge an Leim entscheidend für die Unterschiede zwischen den Kanteltypen, da allfällige Unterschiede in den Herstellungsaufwänden nicht berücksichtigt werden konnten und der Holzbedarf physikalisch bestimmt wurde (siehe Unterkapitel 4.2 und Unterkapitel 2.4).

Tabelle 24: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der verschiedenen Kanteltypen ab Werk in der Schweiz

		Bezug	Gesamtumweltbelastung UBP	Primärenergie			Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq
				gesamt kWh Öl-eq	erneuerbar kWh Öl-eq	nicht erneuerbar (Graue Energie) kWh Öl-eq	
Kantel, Nadelholz, Durchschnitt, ab Werk, CH	Herstellung	m ³	256'000	13'800	11'700	2'130	77
Kantel, Nadelholz, Vollholz, massiv, ab Werk, CH	Herstellung	m ³	241'000	13'300	11'600	1'710	64
Kantel, Nadelholz, Vollholz, keilgezinkt, ab Werk, CH	Herstellung	m ³	244'000	13'400	11'600	1'800	66
Kantel, Nadelholz, lamelliert, DDD, ab Werk, CH	Herstellung	m ³	263'000	14'000	11'700	2'340	84
Kantel, Nadelholz, lamelliert, DDK, ab Werk, CH	Herstellung	m ³	264'000	14'000	11'700	2'380	85
Kantel, Nadelholz, lamelliert, DKD, ab Werk, CH	Herstellung	m ³	263'000	14'000	11'700	2'350	84
Kantel, Nadelholz, lamelliert, KKK, ab Werk, CH	Herstellung	m ³	266'000	14'100	11'700	2'430	86

In Tabelle 25 sind die Umweltkennwerte der Herstellung der verschiedenen Kanteltypen in Europa dargestellt. Die Resultate zeigen dieselben Abhängigkeiten wie bei der Herstellung in der Schweiz.

Tabelle 25: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der verschiedenen Kanteltypen ab Werk in Europa

		Bezug	Gesamtumweltbelastung UBP	Primärenergie			Treibhausgasemissionen kg CO ₂ -eq
				gesamt kWh Öl-eq	erneuerbar kWh Öl-eq	nicht erneuerbar (Graue Energie) kWh Öl-eq	
Kantel, Nadelholz, Durchschnitt, ab Werk, RER	Herstellung	m ³	282'000	14'700	12'400	2'370	125
Kantel, Nadelholz, Vollholz, massiv, ab Werk, RER	Herstellung	m ³	268'000	14'300	12'400	1'960	111
Kantel, Nadelholz, Vollholz, keilgezinkt, ab Werk, RER	Herstellung	m ³	271'000	14'400	12'400	2'050	114
Kantel, Nadelholz, lamelliert, DDD, ab Werk, RER	Herstellung	m ³	289'000	15'000	12'400	2'590	131
Kantel, Nadelholz, lamelliert, DDK, ab Werk, RER	Herstellung	m ³	291'000	15'000	12'400	2'620	133
Kantel, Nadelholz, lamelliert, DKD, ab Werk, RER	Herstellung	m ³	290'000	15'000	12'400	2'600	132
Kantel, Nadelholz, lamelliert, KKK, ab Werk, RER	Herstellung	m ³	293'000	15'000	12'400	2'670	134

Die Kantelherstellung in der Schweiz verursacht geringere Umweltauswirkungen als die Kantelherstellung in Europa. Dies ist vor allem auf die Unterschiede im Strommix und den Zuliefertransporten zurückzuführen.

5.2.2 Gesamtumweltbelastung

Das Nadelholz in den Kanteln trägt bei allen Kanteltypen mit 75 % (lamelliert, KKK) bis 82 % (Vollholz, massiv) am meisten zu der Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 bei (siehe Abbildung 2). Der Anteil von Leim an der Gesamtumweltbelastung beträgt je nach Kanteltyp zwischen 0 % (Vollholz, massiv) und 9 %

(lamelliert, KKK). Strom, Wärme und Zuliefertransporte verursachen rund 6 %, 5 % bzw. 2 % der Gesamtumweltbelastung von Holzkanteln. Die restlichen Aufwände (z.B. Treibstoffe der Baumaschinen auf dem Gelände und Verpackungen) sind für 4 % der Gesamtumweltbelastung verantwortlich.

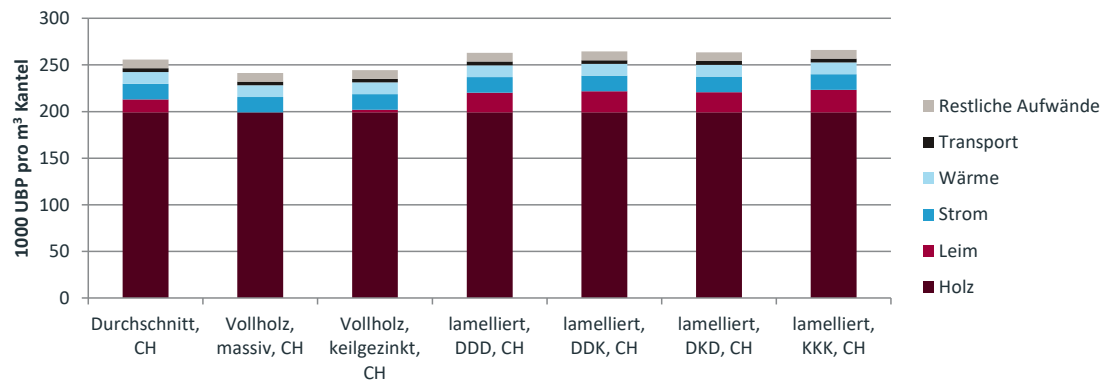


Abbildung 2: Gesamtumweltbelastung in 1000 UBP pro m³ Kantel der Herstellung von verschiedenen Kanteltypen, ab Werk in der Schweiz

In Abbildung 3 sind die Anteile der wichtigsten Materialien und Prozesse an der Gesamtumweltbelastung der Herstellung der verschiedenen Kanteltypen in Europa dargestellt. Auch hier trägt das Nadelholz mit 70 % (lamelliert, KKK) bis 77% (Vollholz, massiv) am meisten zur Gesamtumweltbelastung bei. Anders als bei den Kanteln, die in der Schweiz hergestellt werden, trägt der Strom bei allen Kanteltypen ca. 10 % zu Gesamtumweltbelastung bei. Dies ist auf die höhere Umweltbelastung des Europäischen Strommix im Vergleich mit dem Schweizer Strommix zurück zu führen. Der Anteil des Leims beträgt zwischen 0 % (Vollholz, massiv) und 8 % (lamelliert, KKK). Während der Anteil des Transportes bei den Schweizer Kanteln bei ca. 2 % lag, beträgt er bei den in Europa produzierten Kanteln rund 5 %. Die Wärme und die restlichen Aufwände tragen 4 % resp. 3 % zur Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Kanteltypen aus europäischer Produktion bei.

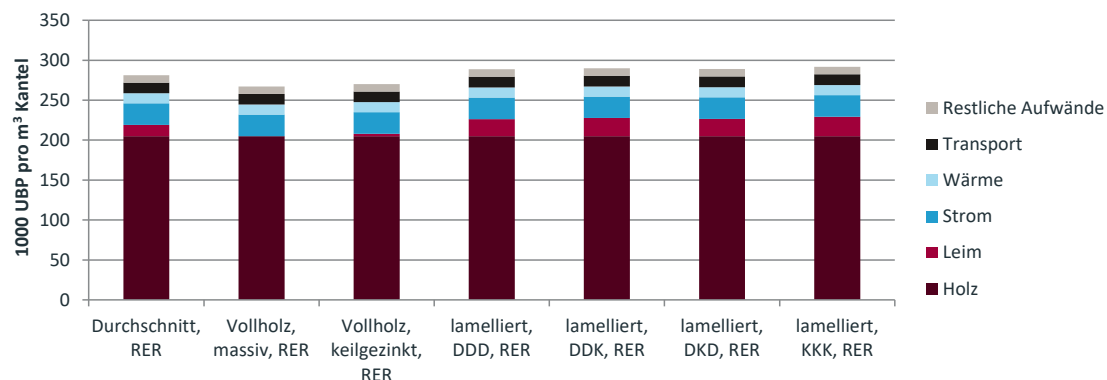


Abbildung 3: Gesamtumweltbelastung in 1000 UBP pro m³ Kantel der Herstellung von verschiedenen Kanteltypen, ab Werk in Europa

5.2.3 Treibhausgasemissionen

In Abbildung 4 sind die Anteile der wichtigsten Materialien und Prozesse der Treibhausgasemissionen der Herstellung der verschiedenen Kanteltypen in der Schweiz dargestellt. Wie bei der Gesamtumweltbelastung ist das Holz mit 51 % bis 70 % hauptverantwortlich für die Treibhausgasemissionen der Kantelherstellung. Die Anteile sind vor allem bei den lamellierten Kanteln deutlich geringer, da die Leimherstellung einen grösseren Anteil zu den Treibhausgasemissionen beiträgt als zur Gesamtumweltbelastung. Der Anteil des Leims beträgt zwischen 0 % (Vollholz, massiv) und 26 % (lamelliert, KKK). Die restlichen Aufwände tragen durchschnittlich 13 % zu den Treibhausgasemissionen bei. Die Emissionen werden unter anderem von den Verpackungsmaterialien und deren Entsorgung verursacht. Strom (ca. 7 %), Transporte (ca. 4 %) und Wärme (ca. 2 %) verursachen nur einen geringen Anteil der Treibhausgasemissionen der Kantelherstellung in der Schweiz.

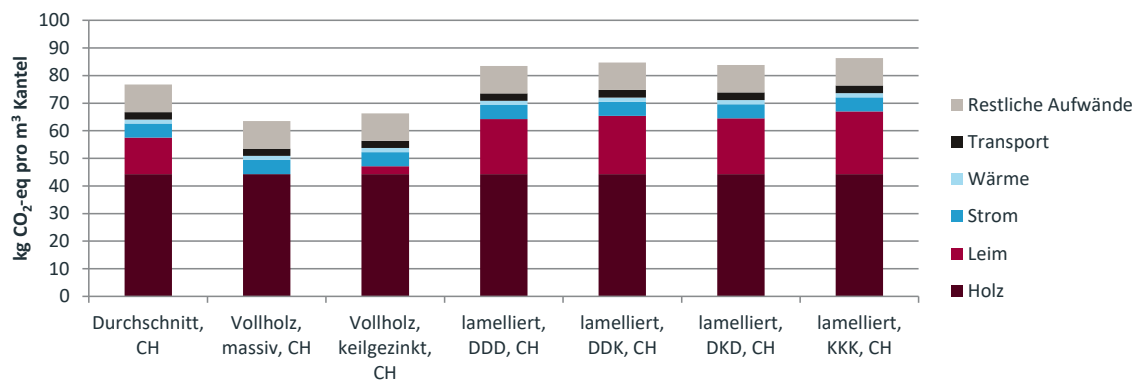


Abbildung 4: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq. pro m³ der Herstellung von verschiedenen Kanteltypen, ab Werk in der Schweiz

In Abbildung 5 sind die Beiträge der wichtigsten Materialien und Prozesse der Treibhausgasemissionen der Kantelherstellung in Europa dargestellt. Wie bei den Schweizer Kanteln ist auch bei den Kanteln aus europäischer Produktion das Holz hauptverantwortlich für die Treibhausgasemissionen (47 %, lamelliert KKK bis 57 %, Vollholz massiv). Mit durchschnittlich 21 % hat der bei der Herstellung verwendete europäische Strom den zweithöchsten Anteil an den Treibhausgasemissionen. Der Leimbeitrag beträgt zwischen 0 % (Vollholz, massiv) und 17 % (lamelliert, KKK). Die Zuliefertransporte und die restlichen Aufwände tragen je durchschnittlich 8 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei. Die Wärmebereitstellung verursacht 1 % der Treibhausgasemissionen.

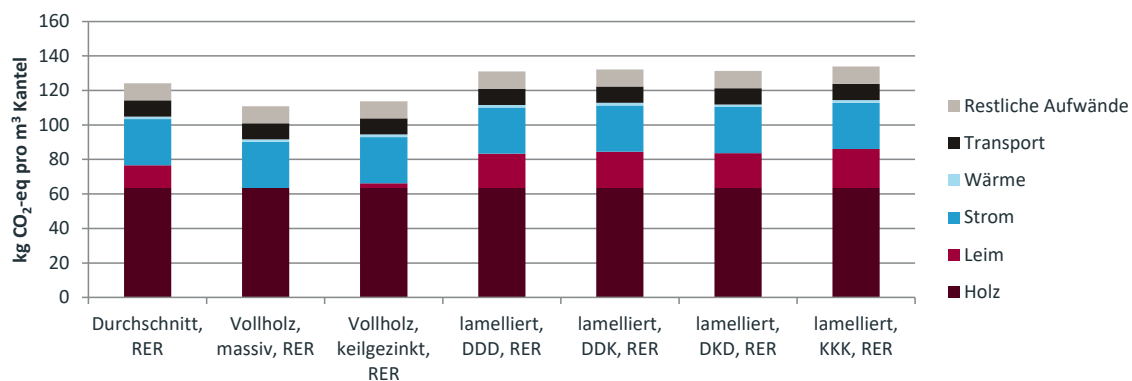


Abbildung 5: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq. pro m³ der Herstellung von verschiedenen Kanteltypen, ab Werk in Europa

5.2.4 EPD-Indikatoren

In Tabelle 26 sind die Ergebnisse der EPD-Indikatoren für die Herstellung der durchschnittlichen Kantel in der Schweiz und in Europa dargestellt. Die Ergebnisse der Treibhausgasemissionen und des Primärenergiebedarfs unterscheiden sich von den Ergebnissen in Abschnitt 5.2.3, da unterschiedliche Treibhauspotenziale respektive unterschiedliche Heizwerte verwendet werden (siehe Abschnitt 5.1).

Die Unterschiede in den Ergebnissen der durchschnittlichen Schweizer Kantel und Europäischen Kanteln sind auf die Unterschiede im verwendeten Holz und Strommix zurück zu führen.

Tabelle 26: Auswertung der EPD-Indikatoren der Herstellung (Module A1-A3) von 1 m³ Kantel, ab Werk in der Schweiz und Europa

SN EN 15804+A1 - Herstellung		Kantel, Nadelholz, Durchschnitt, ab Werk, CH	Kantel, Nadelholz, Durchschnitt, ab Werk, RER
		m ³	m ³
Treibhausgasemissionen	kg CO2-eq	74	123
Ozonabbau	mg CFC-11 eq	7	6
Versauerung von Boden und Wasser	g SO2-eq	454	639
Eutrophierung	g PO43- -eq	101	123
Photochemische Ozonbildung	g C2H4-eq	122	73
Verknappung von abiotischen Ressourcen (Stoffe)	mg Sb-eq	216	265
Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Energieträger)	MJ-eq	1'190	1'740
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar total	MJ-eq	2'000	2'210
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	MJ-eq	1'810	2'020
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (Rohmaterialien)	MJ-eq	193	193
Primärenergiebedarf, erneuerbar total	MJ-eq	11'700	12'400
Primärenergiebedarf, erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	MJ-eq	4'910	5'620
Primärenergiebedarf, erneuerbar (Rohmaterialien)	MJ-eq	6'740	6'740
Nettoeinsatz von Süswasserressourcen	cm3	257'000	287'000
Gefährliche Abfälle, deponiert	mg	1'390	2'280
Nicht gefährliche Abfälle, deponiert	kg	13	14
Radioaktive Abfälle, deponiert	g	20	12

5.3 Fensterrahmen

5.3.1 Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung

Die Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung des Fensterrahmens aus Holz und Holz-Metall wurden für die beiden Bezugsgrössen «Fläche der Maueröffnung» (siehe Tabelle 27) und «Rahmenfläche im Licht» (siehe Tabelle 28) ausgewertet. Die Resultate der beiden Bezugsgrössen unterscheiden sich durch einen konstanten Faktor.

Der Holz-Fensterrahmen weist gegenüber dem Holz-Metallfensterrahmen bei allen Indikatoren ausser dem erneuerbaren Primärenergiebedarf tiefere Umweltkennwerte auf. Dies ist hauptsächlich auf die zusätzlich verwendete Menge an Aluminium (Aluminiumbeplankung des Rahmens und der Flügel) zurück zu führen.

Die Herstellung des Holz-Fensterrahmens ist für 84 % bis >99 % der Umweltauswirkungen verantwortlich. Die übrigen Umweltauswirkungen werden durch die Entsorgung des Holz-Fensterrahmens verursacht. Ähnlich ist auch beim Holz-Metallfensterrahmen die Herstellung des Rahmens mit 89 % bis >99 % hauptverantwortlich für die Umweltauswirkungen.

Tabelle 27: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Holz- und Holz-Metallfensterrahmen, Durchschnitt, ab Werk in der Schweiz pro m² Maueröffnung

		Bezug	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie			Treibhausgasemissionen
				gesamt	erneuerbar	nicht erneuerbar (Graue Energie)	
		UBP	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kg CO ₂ -eq	
Fensterrahmen Holz, U=1.2 W/m ² K, Durchschnitt	Total	m² Maueröffnung	56'300	382	201	181	33
	Herstellung	m ² Maueröffnung	52'600	380	201	179	28
	Entsorgung	m ² Maueröffnung	3'680	1.48	0.02	1.46	5
Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.1 W/m ² K, Durchschnitt	Total	m² Maueröffnung	92'900	503	188	314	63
	Herstellung	m ² Maueröffnung	88'600	501	188	313	56
	Entsorgung	m ² Maueröffnung	4'260	1.72	0.02	1.69	7

Tabelle 28: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Holz- und Holz-Metallfensterrahmen, Durchschnitt, ab Werk in der Schweiz pro m² Rahmenfläche im Licht

		Bezug	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie			Treibhausgasemissionen
				gesamt	erneuerbar	nicht erneuerbar (Graue Energie)	
			UBP	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Fensterrahmen Holz, U=1.2 W/m ² K, Durchschnitt	Total	m ² Rahmenfläche im Licht	349'000	2'360	1'250	1'120	206
	Herstellung	m ² Rahmenfläche im Licht	326'000	2'360	1'250	1'110	172
	Entsorgung	m ² Rahmenfläche im Licht	22'800	9.18	0.12	9.06	34
Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.1 W/m ² K, Durchschnitt	Total	m ² Rahmenfläche im Licht	575'000	3'110	1'160	1'950	389
	Herstellung	m ² Rahmenfläche im Licht	549'000	3'100	1'160	1'940	348
	Entsorgung	m ² Rahmenfläche im Licht	26'400	10.60	0.15	10.50	41

5.3.2 Gesamtumweltbelastung

In Abbildung 6 sind die Anteile der wichtigsten Materialien und Prozesse an der Gesamtumweltbelastung pro m² Maueröffnung der Fensterrahmen aus Holz und Holz-Metall dargestellt. Die Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung des Holz-Fensterrahmens beträgt 56'300 UBP pro m² Maueröffnung. Davon werden 25 % durch das Holz verursacht. Die Aluminiumprofile tragen 14 % und die Beschläge 18 % (davon Stahl 10% und Zinkdruckguss 8 %) bei. Die Oberflächenbehandlung, der Strom und der Transport verursachen je ca. 10 % der Gesamtumweltbelastung des Holz-Fensterrahmens. In den restlichen Aufwänden sind die übrigen Materialien zur Herstellung von Holz-Fensterrahmen, beispielsweise Dichtungen, Verpackungsmaterial und Leim, sowie die Energieträger zur Wärmeproduktion zusammengefasst. Insgesamt tragen die restlichen Aufwände 7% zur Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung des Holz-Fensterrahmens bei. Die Entsorgung des Holz-Fensterrahmens ist für 7 % der Gesamtumweltbelastung verantwortlich.

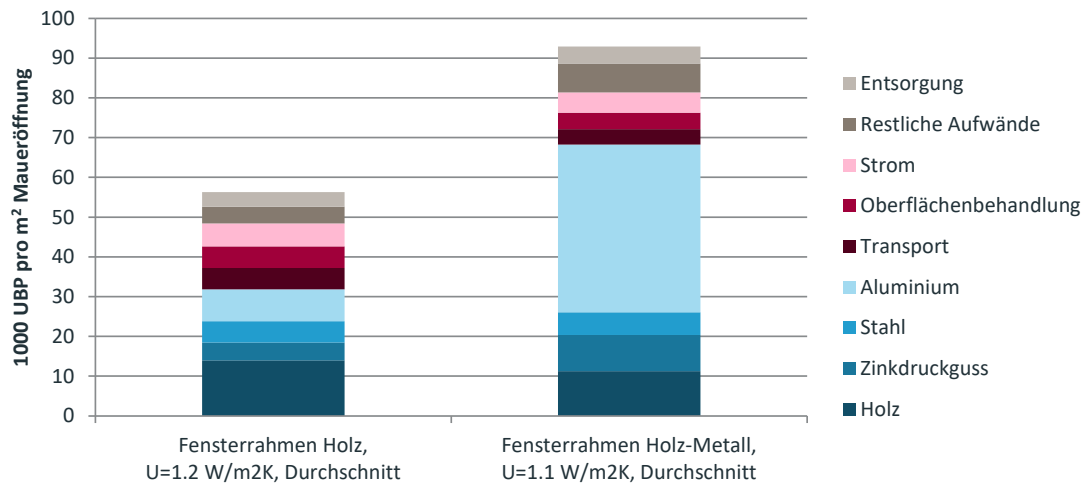


Abbildung 6: Gesamtumweltbelastung in UBP pro m² Maueröffnung der Herstellung und Entsorgung des durchschnittlichen Holz- und Holz-Metallfensterrahmens

Die Gesamtumweltbelastung des Holz-Metallfensterrahmens beträgt 92'900 UBP pro m² Maueröffnung und ist damit 65 % höher als die Gesamtumweltbelastung des Holz-Fensterrahmens. Die höhere Umweltbelastung wird hauptsächlich durch die Aluminiumbeplankung des Rahmens und der Flügel verursacht. Die Aluminiumbeplankung trägt mit 45 % am meisten zur Gesamtumweltbelastung des Holz-Metallfensterrahmens bei. Die Beschläge sind für 16 % (Zinkdruckguss 10 % und Stahl 6 %) und das Holz für 12 % der Belastungen verantwortlich. Die Anteile der Strombereitstellung (6 %), der Oberflächenbehandlung (4 %) und der Transporte (4 %) an der Gesamtumweltbelastung sind gering. Die restlichen Aufwände verursachen 8 % der Gesamtumweltbelastung. Die Entsorgung des Holz-Metallfensterrahmens ist für 5 % verantwortlich.

5.3.3 Treibhausgasemissionen

Die Anteile der verschiedenen Materialien und Prozesse an den gesamten Treibhausgasemissionen des Holz- und des Holz-Metallfensterrahmens sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung des Holzfensterrahmens sind 33 kg CO₂-eq pro m² Maueröffnung. Die Aluminiumprofile (19 %), das Holz (18 %) und die Entsorgung des Fensterrahmens (16 %) sind hauptverantwortlich für die Treibhausgasemissionen. Die Oberflächenbehandlung und die Transporte tragen je 11 % zu den Treibhausgasemissionen bei. Die Beschläge sind insgesamt für 9 % (Stahl 8%, Zinkdruckguss 1 %) und der Strom für 5 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Die restlichen Aufwände tragen 10 % zu den Treibhausgasemissionen bei.

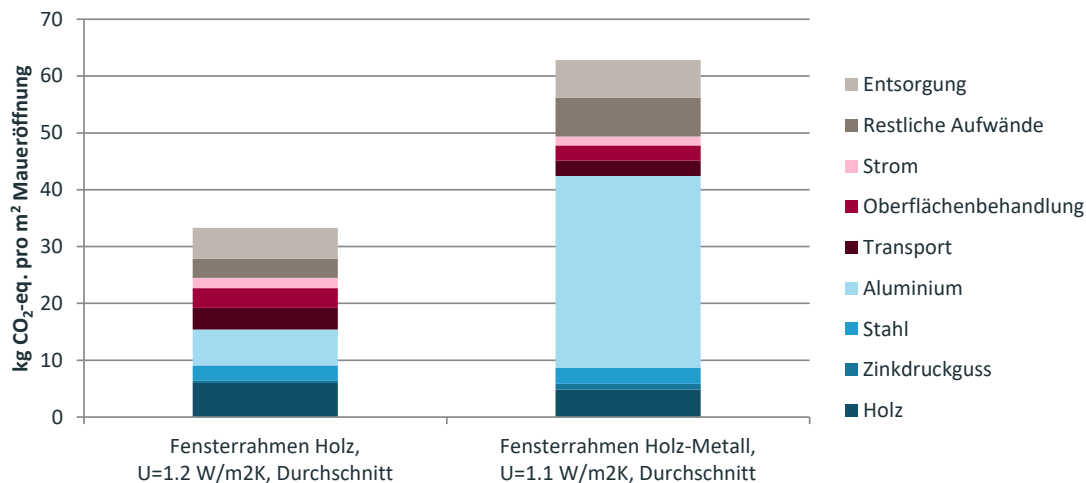


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq pro m² Maueröffnung der Herstellung und Entsorgung des durchschnittlichen Holz- und Holz-Metallfensterrahmens

Die Herstellung und Entsorgung des Holz-Metallfensterrahmens verursacht Treibhausgasemissionen von 63 kg CO₂-eq pro m² Maueröffnung (siehe Abbildung 7). Die Treibhausgasemissionen sind damit um 89 % höher als die Treibhausgasemissionen des Holz-Fensterrahmens. Wie bei der Gesamtumweltbelastung ist auch bei den Treibhausgasemissionen die Aluminiumbeplankung des Rahmens und der Flügel der Hauptgrund für die höheren Treibhausgasemissionen. Die Aluminiumbeplankung trägt 54 % zu den Treibhausgasemissionen bei. Das Holz und die Beschläge sind für 8 % respektive 6 % verantwortlich. Die Oberflächenbehandlung (4 %), der Transport (4 %) und der Strom (3 %) tragen geringfügig zu den Treibhausgasemissionen bei. Die restlichen Aufwände und die Entsorgung sind für je 11 % der Treibhausgasemissionen des Holz-Metallfensterrahmens verantwortlich.

5.3.4 EPD-Indikatoren

In Tabelle 29 sind die Ergebnisse der EPD-Indikatoren für die Herstellung und Entsorgung der durchschnittlichen Holz- und Holz-Metallfensterrahmen pro m² Maueröffnung dargestellt. Die Ergebnisse der Treibhausgasemissionen und des Primärenergiebedarfs unterscheiden sich zu den Ergebnissen in Abschnitt 5.3.3, da unterschiedliche Treibhauspotenziale respektive unterschiedliche Heizwerte verwendet werden (siehe Unterkapitel 5.1).

Wie bei den Umweltkennwerten der KBOB-Empfehlung (siehe Abschnitt 5.3.1) weist der Holz-Fensterrahmen bei allen Indikatoren ausser beim Primärenergiebedarf erneuerbar (total, exkl. Rohmaterialien) tiefere Umweltauswirkungen auf als der Holz-Metallfensterrahmen. Die höheren Umweltauswirkungen des Holz-Metallfensterrahmens werden hauptsächlich durch die Aluminiumbeplankung des Rahmens und der Flügel verursacht.

Tabelle 29: Auswertung der EPD-Indikatoren der Herstellung (Module A1-A3) und der Entsorgung (Module C1-C4) von 1 m² Maueröffnung für den durchschnittlichen Holz- und Holz-Metallfensterrahmen ab Werk in der Schweiz

SN EN 15804+A1		Einheit	Fensterrahmen Holz, U=1.2 W/m ² K, Durchschnitt	Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.1 W/m ² K, Durchschnitt
			m ² Maueröffnung	m ² Maueröffnung
Treibhausgasemissionen	Total	kg CO₂-eq	32.9	62.3
	Herstellung	kg CO ₂ -eq	27.5	55.7
	Entsorgung	kg CO ₂ -eq	5.41	6.63
Ozonabbau	Total	mg CFC-11 eq	5.01	5.67
	Herstellung	mg CFC-11 eq	4.99	5.64
	Entsorgung	mg CFC-11 eq	0.0224	0.026
Versauerung von Boden und Wasser	Total	g SO₂-eq	133	278
	Herstellung	g SO ₂ -eq	130	275
	Entsorgung	g SO ₂ -eq	2.47	2.87
Eutrophierung	Total	g PO₄³⁻-eq	24.1	38.1
	Herstellung	g PO ₄ ³⁻ -eq	23.3	37.3
	Entsorgung	g PO ₄ ³⁻ -eq	0.768	0.882
Photochemische Ozonbildung	Total	g C₂H₄-eq	9.64	15.2
	Herstellung	g C ₂ H ₄ -eq	9.56	15.1
	Entsorgung	g C ₂ H ₄ -eq	0.0806	0.0934
Verknappung von abiotischen Ressourcen (Stoffe)	Total	mg Sb-eq	109	131
	Herstellung	mg Sb-eq	109	131
	Entsorgung	mg Sb-eq	0.387	0.455
Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Energieträger)	Total	MJ-eq	399	749
	Herstellung	MJ-eq	394	744
	Entsorgung	MJ-eq	4.75	5.48
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar total	Total	MJ-eq	608	1'060
	Herstellung	MJ-eq	603	1'050
	Entsorgung	MJ-eq	4.95	5.73
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	575	1'020
	Herstellung	MJ-eq	570	1'010
	Entsorgung	MJ-eq	4.95	5.73
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	33	41
	Herstellung	MJ-eq	33.3	41.2
	Entsorgung	MJ-eq	0	0
Primärenergiebedarf, erneuerbar total	Total	MJ-eq	725	677
	Herstellung	MJ-eq	725	677
	Entsorgung	MJ-eq	0.0719	0.089
Primärenergiebedarf, erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	484	476
	Herstellung	MJ-eq	483	476
	Entsorgung	MJ-eq	0.072	0.089
Primärenergiebedarf, erneuerbar (Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	241	201
	Herstellung	MJ-eq	241	201
	Entsorgung	MJ-eq	0	0
Nettoeinsatz von Süswasserressourcen	Total	cm³	110'000	279'000
	Herstellung	cm ³	109'000	278'000
	Entsorgung	cm ³	726	1'020
Gefährliche Abfälle, deponiert	Total	mg	9'900	45'100
	Herstellung	mg	9'890	45'100
	Entsorgung	mg	8.47	9.4
Nicht gefährliche Abfälle, deponiert	Total	kg	8.82	28.2
	Herstellung	kg	7.79	27.1
	Entsorgung	kg	1.03	1.15
Radioaktive Abfälle, deponiert	Total	mg	5'060	7'540
	Herstellung	mg	5'060	7'540
	Entsorgung	mg	5.23	6.37

5.3.5 Vergleich mit bisherigen Umweltkennwerten

Die in Abschnitt 5.3.1 gezeigten Umweltkennwerte der neu bilanzierten Fensterrahmen sind deutlich höher als die Umweltkennwerte der Fensterrahmen Holz und Holz-Aluminium in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016a). Dies ist hauptsächlich auf Unterschiede in der Rahmenfläche im Licht und in der Materialisierung zurück zu führen, die nachfolgend erläutert werden.

Die bisherigen Umweltkennwerte basieren auf Sachbilanzdaten aus Kellenberger et al. (2007) und beziehen sich auf ein Fenster mit den Aussenmassen 1.6 m x 1.3 m und einer Rahmenfläche im Licht von 0.45 m². Die Umweltkennwerte der neu erhobenen Daten hingegen beziehen sich auf ein Fenster mit den Aussenmassen 1.75 m x 1.3 m (gemäss Definition in Kasser et al. 2016) und einer Rahmenfläche im Licht von 0.30 m². Die Bezugsgrösse der Umweltkennwerte von Fensterrahmen in der KBOB-Empfehlung ist die Rahmenfläche im Licht. Allein die Abnahme der Rahmenfläche im Licht von 0.45 m² auf 0.30 m² führt deshalb zu einer Erhöhung der Umweltkennwerte von Holz- und Holz-Metallfensterrahmen gemäss KBOB-Empfehlung um 50 %.

Die Materialisierung der Fensterrahmen aus Holz und Holz-Metall unterscheidet sich vor allem in Bezug auf die eingesetzte Menge Aluminium. Gemäss den in dieser Studie erhobenen Werksdaten wird für die Herstellung von Holz- und Holz-Metallfensterrahmen deutlich mehr Aluminium eingesetzt als gemäss den bisherigen Sachbilanzdaten von Kellenberger et al. (2007).

5.4 Aussen- und Innentüren

5.4.1 Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung

Die Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung der Aussen- und Innentüren sind in Tabelle 30 dargestellt. Unter den analysierten Innentüren verursacht die Holz-Innentüre mit Holzrahmen bei allen Indikatoren ausser dem Indikator Primärenergiebedarf erneuerbar die geringsten Umweltauswirkungen. Bei den Aussentüren ist es ebenfalls die Variante ohne Glaseinsatz und mit Holzrahmen, die bei allen Indikatoren ausser dem Indikator Primärenergiebedarf erneuerbar die geringsten Umweltauswirkungen verursacht.

Sowohl bei den Innentüren als auch bei den Aussentüren ist die Herstellung mit 82 % bis >99 % hauptverantwortlich für die Umweltauswirkungen. Die übrigen 18 % bis <1 % der gesamten Umweltauswirkungen werden durch die Entsorgung der Innen- und Aussentüren aus Holz verursacht.

Tabelle 30: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen pro m² Flügelansichtsfläche der Aussen- und Innentüren, ab Werk

		Bezug	Gesamtumweltbelastung	Primärenergie			Treibhausgasemissionen
				gesamt	erneuerbar	nicht erneuerbar (Graue Energie)	
				UBP	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	
Zimmertüre, Holz, Holzrahmen	Total	m ²	51'000	365	212	153	32.8
	Herstellung	m ²	46'700	362	212	150	26.9
	Entsorgung	m ²	4'240	2.73	0.0323	2.7	5.93
Zimmertüre, Holz, Stahlzarge	Total	m ²	114'000	477	155	321	71.9
	Herstellung	m ²	110'000	474	155	319	66.4
	Entsorgung	m ²	3'870	2.29	0.027	2.26	5.57
Zimmertüre, Holz-Glas, Holzrahmen	Total	m ²	79'800	476	206	270	59.5
	Herstellung	m ²	74'800	472	206	267	52
	Entsorgung	m ²	5'000	3.82	0.0415	3.78	7.55
Zimmertüre, Holz-Glas, Stahlzarge	Total	m ²	143'000	588	149	439	98.7
	Herstellung	m ²	138'000	585	149	436	91.5
	Entsorgung	m ²	4'630	3.38	0.0363	3.34	7.18
Funktionstüre innen, Holz, Holzrahmen	Total	m ²	71'100	493	287	206	45.1
	Herstellung	m ²	65'700	489	287	202	37.5
	Entsorgung	m ²	5'420	3.8	0.045	3.76	7.63
Funktionstüre innen, Holz, Stahlzarge	Total	m ²	134'000	605	231	375	84.2
	Herstellung	m ²	129'000	602	231	371	77
	Entsorgung	m ²	5'060	3.36	0.0397	3.32	7.26
Aussentüre, Holz	Total	m ²	91'600	574	291	282	62.4
	Herstellung	m ²	85'900	570	291	279	54.1
	Entsorgung	m ²	5'650	3.31	0.0404	3.27	8.27
Aussentüre, Holz-Glas	Total	m ²	116'000	632	254	378	84.8
	Herstellung	m ²	109'000	628	254	373	74.5
	Entsorgung	m ²	6'680	4.7	0.0528	4.64	10.4
Aussentüre, aluminiumbeplankt	Total	m ²	156'000	875	337	538	116
	Herstellung	m ²	150'000	872	337	535	108
	Entsorgung	m ²	5'650	3.31	0.0404	3.27	8.27

5.4.2 Gesamtumweltbelastung

In Abbildung 8 sind die wichtigsten Anteile der Materialien und Prozesse an der Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Türvarianten dargestellt. Bei den Innentüren mit Holzrahmen verursacht die Variante Holz-Glas die höchste Gesamtumweltbelastung. Mit einem Anteil von 40 % trägt die Verglasung am meisten zur Gesamtumweltbelastung bei. Über alle Innentürvarianten mit Holzrahmen verglichen, ist das Holz des Türblattes für 18 % (Variante Holz-Glas) bis 37 % (Variante Funktionstüre) der Gesamtumweltbelastung verantwortlich. Die Stahlbeschläge tragen 13 % (Variante Holz-Glas) bis 24 % (Variante Funktionstüre), der Holztürrahmen 9 % (Variante Holz-Glas) bis 14 % (Variante Holz) und die Oberflächenbehandlung 4 % (Variante Holz-Glas) bis 10 % (Variante Holz) bei. Der Strom zur Herstellung der Türen ist für 4 % (Variante Holz-Glas) bis 6 % (Variante Holz) der Gesamtumweltbelastung verantwortlich.

Unter den restlichen Aufwänden sind alle weiteren Materialien (z.B. Leim und Verpackung) und Prozesse (z.B. Wärme und Transporte) zusammengefasst. Diese verursachen weitere 6 % (Variante Holz-Glas) bis 10 % (Variante Holz) der Gesamtumweltbelastung. Die Entsorgung trägt 6 % (Variante Holz-Glas) bis 8 % (Variante Holz) bei.

Die Gesamtumweltbelastung der Innentüren unterscheidet sich stark je nach eingesetztem Türrahmen. Die Herstellung einer Stahlzarge verursacht eine knapp 10-mal höhere Gesamtumweltbelastung als die Herstellung des Holztürrahmens. Bei den Innentürvarianten mit Stahlzarge ist die Stahlzarge mit 49 % bis 62 % hauptverantwortlich für die Gesamtumweltbelastung. Die absoluten Beiträge der Materialien für das Türblatt und die Herstellungsaufwände sind dieselben wie bei den entsprechenden Türvarianten mit Holzrahmen.

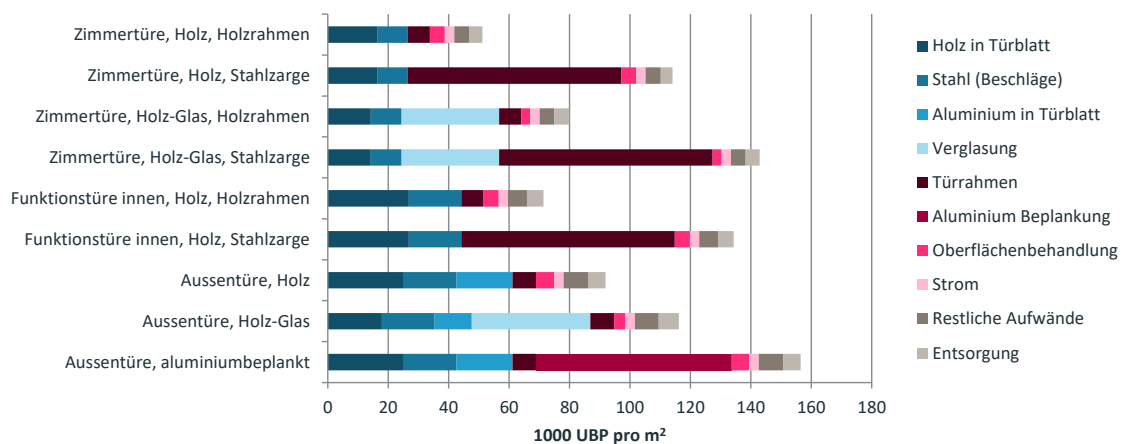


Abbildung 8: Gesamtumweltbelastung in UBP pro m² Flügelansichtsfläche der Herstellung und Entsorgung von Aussen- und Innentüren, ab Werk in der Schweiz

Die Aussentüren (alle mit Holzrahmen) verursachen eine höhere Gesamtumweltbelastung als die Innentüren mit Holzrahmen. Verglichen mit den Innentüren mit Stahlzargen verursacht nur die Aussentüre mit Aluminiumbeplankung eine höhere Gesamtumweltbelastung. Verantwortlich dafür ist die Aluminiumbeplankung des Türblatts und des Rahmens, welche einen Anteil von 41 % verursacht. Bei der Aussentüre mit Glaseinsatz ist die Verglasung mit einem Anteil von 34 % hauptverantwortlich für die Gesamtumweltbelastung. Das Holz des Türblatts trägt bei den Aussentüren zwischen 15 % (Variante Holz-Glas) und 27 % (Variante Holz) bei. Je 11 % bis 20 % der Gesamtumweltbelastung werden vom Aluminium im Türblatt und den Stahlbeschlägen verursacht. Der Türrahmen trägt 5 % (Variante Aluminiumbeplankt, wobei die Aluminiumbeplankung separat ausgewiesen wird) bis 9 % (Variante Holz) und die Oberflächenbehandlung 4 % (Variante Aluminiumbeplankt) bis 7 % (Variante Holz) bei. Die restlichen Aufwände sind durchschnittlich für 7 % und die Entsorgung für durchschnittlich 5 % der Gesamtumweltbelastung verantwortlich.

5.4.3 Treibhausgasemissionen

Die Anteile der wichtigsten Materialien und Prozesse an den Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung der verschiedenen Türvarianten sind in Abbildung 9 präsentiert. Wie bei der Gesamtumweltbelastung verursacht bei den Innentüren mit Holzrahmen die Variante Holz-Glas die höchsten Treibhausgasemissionen. Auch hier ist die Verglasung mit einem Anteil von 48 % hauptverantwortlich für die Treibhausgasemissionen. Wichtige Beiträge an den Treibhausgasemissionen verursachen das Holz im Türblatt (19 %, Variante Holz-Glas bis 46 %, Variante Funktionstüre) und die Entsorgung der Türe und des Türrahmens (13 %, Variante Holz-Glas bis 18 %, Variante Holz).

Die Herstellung der Stahlzarge verursacht fast 12-mal so hohe Treibhausgasemissionen wie die Herstellung des Türrahmens aus Holz. Deshalb weisen die Innentürvarianten mit Stahlzarge deutlich höhere Treibhausgasemissionen auf als die Innentürvarianten mit Türrahmen aus Holz. Die absoluten Beiträge der Materialien für das Türblatt und die Herstellungsaufwände sind gleich wie bei den entsprechenden Türvarianten mit Holzrahmen.

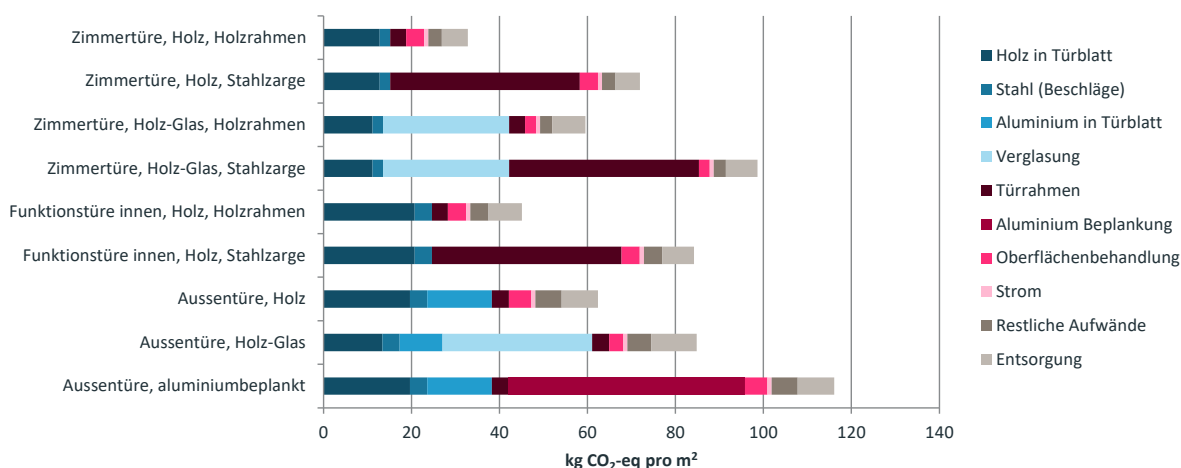


Abbildung 9: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq pro m² Flügelansichtsfläche der Herstellung und Entsorgung von Aussen- und Innentüren ab Werk in der Schweiz

Alle Aussentüren verursachen höhere Treibhausgasemissionen pro m² Flügelansichtsfläche als die Innentüren mit Holzrahmen. Wie bei der Gesamtumweltbelastung verursacht auch die Aussentüre mit Aluminiumbeplankung die höchsten Treibhausgasemissionen. Die Aluminiumbeplankung trägt 46 % zu den Treibhausgasemissionen dieser Türvariante bei. Bei der Aussentüre mit Glaseinsatz ist die Verglasung mit einem Anteil von 40 % hauptverantwortlich für die Treibhausgasemissionen. Bei allen Aussentürvarianten liefern das Holz im Türblatt (16 %, Variante Holz-Glas bis 31 %, Variante Holz), das Aluminium im Türblatt (11%, Variante Holz-Glas bis 24 %, Variante Holz) und die Entsorgung (7 %, Variante Aluminiumbeplankt bis 13 %, Variante Holz) weitere relevante Beiträge an die gesamten Treibhausgasemissionen.

5.4.4 EPD-Indikatoren

In Tabelle 31 sind die Ergebnisse der EPD-Indikatoren für die Herstellung und Entsorgung der Innen- und Aussentüren aufgelistet. Die Ergebnisse der Treibhausgasemissionen und des Primärenergiebedarfs unterscheiden sich von den Ergebnissen in Abschnitt 5.4.3, da unterschiedliche Treibhauspotenziale respektive unterschiedliche Heizwerte verwendet werden (siehe Abschnitt 5.1).

Tabelle 31: Auswertungen der EPD-Indikatoren der Herstellung (Module A1-A3) und der Entsorgung (Module C1-C4) von 1 m² Flügelansichtsfläche für die Aussen- und Innentüren ab Werk in der Schweiz

SN EN 15804+A1	Einheit	Zimmertüre, Holz, Holzrahmen	Zimmertüre, Holz, Stahlrahmen	Zimmertüre, Holz-Glas, Holzrahmen	Zimmertüre, Holz-Glas, Stahlrahmen	Funktionstüre, innen, Holz, Holzrahmen	Funktionstüre, innen, Holz, Stahlrahmen	Aussentüre, Holz	Aussentüre, Holz-Glas	Aussentüre, aluminium-beplankt	
		m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	
Treibhausgasemissionen	Total	kg CO₂-eq	32.5	70.6	58.9	97	44.6	82.7	61.7	84	115
	Herstellung	kg CO ₂ -eq	26.5	65	51.4	89.8	36.9	75.4	53.4	73.6	107
	Entsorgung	kg CO ₂ -eq	5.96	5.59	7.57	7.2	7.67	7.3	8.31	10.4	8.31
Ozonabbau	Total	mg CFC-11 eq	2.2	3.93	4.42	6.15	2.97	4.7	3.61	5.82	6.55
	Herstellung	mg CFC-11 eq	2.16	3.9	4.37	6.11	2.91	4.65	3.56	5.75	6.5
	Entsorgung	mg CFC-11 eq	0.0426	0.0356	0.052	0.0451	0.0596	0.0526	0.0538	0.0661	0.0538
Versauerung von Boden und Wasser	Total	g SO₂-eq	164	286	328	450	243	365	333	479	606
	Herstellung	g SO ₂ -eq	159	282	322	445	236	359	327	472	600
	Entsorgung	g SO ₂ -eq	4.77	3.98	5.76	4.98	6.68	5.89	5.98	7.29	5.98
Eutrophierung	Total	g PO₄³⁻-eq	30.1	47.9	50.6	68.3	44.7	62.4	53.2	72	80.3
	Herstellung	g PO ₄ ³⁻ -eq	28.5	46.5	48.8	66.9	42.4	60.4	51.1	69.8	78.2
	Entsorgung	g PO ₄ ³⁻ -eq	1.61	1.35	1.72	1.46	2.28	2.01	2.1	2.26	2.1
Photochemische Ozonbildung	Total	g C₂H₄-eq	11.1	25.2	16.2	30.4	16.1	30.3	19.8	23.4	31.3
	Herstellung	g C ₂ H ₄ -eq	10.9	25.1	16.1	30.2	16	30.1	19.6	23.2	31.1
	Entsorgung	g C ₂ H ₄ -eq	0.133	0.109	0.175	0.151	0.183	0.159	0.155	0.21	0.155
Verknappung von abiotischen Ressourcen (Stoffe)	Total	mg Sb-eq	111	236	136	261	148	273	153	202	205
	Herstellung	mg Sb-eq	110	235	135	260	147	272	153	201	204
	Entsorgung	mg Sb-eq	0.661	0.559	0.881	0.779	0.914	0.812	0.788	1.07	0.788
Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Energieträger)	Total	MJ-eq	383	846	691	1'150	537	1'000	727	979	1'370
	Herstellung	MJ-eq	374	839	679	1'140	525	989	716	964	1'360
	Entsorgung	MJ-eq	8.81	7.38	12.4	10.9	12.3	10.8	10.7	15.2	10.7
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar total	Total	MJ-eq	512	1'070	910	1'470	690	1'250	945	1'270	1'800
	Herstellung	MJ-eq	503	1'060	897	1'450	677	1'230	934	1'260	1'790
	Entsorgung	MJ-eq	9.15	7.66	12.8	11.3	12.7	11.2	11.1	15.7	11.1
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	446	1010	858	1420	593	1150	852	1200	1710
	Herstellung	MJ-eq	437	997	845	1410	580	1140	841	1180	1700
	Entsorgung	MJ-eq	9.15	7.66	12.8	11.3	12.7	11.2	11.1	15.7	11.1
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	67	62	53	48	97	93	93	75	93
	Herstellung	MJ-eq	67	62	53	48	97	93	93	75	93
	Entsorgung	MJ-eq	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Primärenergiebedarf, erneuerbar total	Total	MJ-eq	763	558	740	536	1'030	830	1'050	916	1'210
	Herstellung	MJ-eq	763	558	740	536	1'030	830	1'050	915	1'210
	Entsorgung	MJ-eq	0.116	0.0973	0.15	0.131	0.162	0.143	0.145	0.19	0.145
Primärenergiebedarf, erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	329	275	350	296	442	388	513	463	677
	Herstellung	MJ-eq	329	275	350	296	442	388	513	463	677
	Entsorgung	MJ-eq	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Primärenergiebedarf, erneuerbar (Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	434	284	390	240	592	442	536	452	536
	Herstellung	MJ-eq	434	284	390	240	592	442	536	452	536
	Entsorgung	MJ-eq	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nettoeinsatz von Süswasserressourcen	Total	cm³	63'600	179'000	1'580'000	1'690'000	86'300	202'000	183'000	1'950'000	426'000
	Herstellung	cm ³	62'500	178'000	1'580'000	1'690'000	84'700	200'000	181'000	1'940'000	425'000
	Entsorgung	cm ³	1'110	950	1'500	1'340	1'580	1'420	1'520	2'060	1'520
Gefährliche Abfälle, deponiert	Total	mg	574	2'870	818	3'110	799	3'090	45'600	30'800	118'000
	Herstellung	mg	564	2'860	807	3'100	787	3'080	45'600	30'800	118'000
	Entsorgung	mg	9.79	8.68	11.6	10.5	12.5	11.4	12.3	14.7	12.3
Nicht gefährliche Abfälle, deponiert	Total	kg	4.22	11.6	22.1	29.4	5.76	13.2	18.4	35.2	57.6
	Herstellung	kg	3.45	10.9	8.45	15.9	4.61	12.1	17.3	18.4	56.5
	Entsorgung	kg	0.775	0.71	13.6	13.5	1.15	1.09	1.11	16.8	1.11
Radioaktive Abfälle, deponiert	Total	g	3.15	5.57	5.25	7.67	3.74	6.16	5.32	7.05	10.8
	Herstellung	g	3.14	5.56	5.24	7.66	3.73	6.15	5.31	7.03	10.8
	Entsorgung	g	0.00858	0.00718	0.0114	0.00996	0.0119	0.0105	0.0106	0.0142	0.0106

5.4.5 Vergleich mit bisherigen Umweltkennwerten

Die in Abschnitt 5.4.1 gezeigten Umweltkennwerte der neu bilanzierten Aussen- und Innentüren aus Holz weichen von den Umweltkennwerten der Holztüren in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016a) ab. Die bisherigen Umweltkennwerte basieren auf Sachbilanzdaten aus Kellenberger et al. (2007), die sich insbesondere in Bezug auf die Materialisierung und die Modellierung bestimmter Herstellungs- und Entsorgungsaufwände von den in dieser Studie erstellten Sachbilanzdatensätzen unterscheiden. Die wichtigsten Gründe für die Unterschiede werden nachfolgend erläutert.

Die Umweltkennwerte der Innentüre aus Holz mit Holzrahmen sind verglichen mit den Umweltkennwerten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 leicht tiefer. Die Gründe für die tieferen Umweltauswirkungen sind vielfältig. Einerseits erscheint der von Kellenberger et al. (2007) ermittelte Infrastrukturbedarf als zu hoch. Andererseits gibt es Unterschiede in der Materialisierung (neu mehr Holz und Stahl, jedoch weniger Farbe und Dichtungen) und der Herstellung (tieferer Strombedarf) der Türen. Schliesslich wurden in dieser Studie Holztüren ab Schweizer Werk bilanziert und der Stromverbrauch mit dem Schweizer Strommix modelliert. Für die Herstellung der Türen gemäss Kellenberger et al. (2007) wurde jedoch der europäische Strommix verwendet.

Die Veränderung der Umweltkennwerte der neu bilanzierten Aussentüren ist im Vergleich zu den Umweltkennwerten der Aussentüren in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 je nach Indikator unterschiedlich: die Gesamtumweltbelastung, die Treibhausgasemissionen und der Primärenergiebedarf nicht erneuerbar haben abgenommen, während der erneuerbare und der gesamte Primärenergiebedarf gestiegen sind. In den Sachbilanzen von Kellenberger et al. (2007) wurden die Aussentüren mit Glaseinsatz mit einer Stahlzarge und einer Aluminiumbeplankung bilanziert. Gemäss den in dieser Studie erhobenen Daten werden Aussentüren mit Glaseinsatz meist mit einem Holzrahmen und ohne Aluminiumbeplankung hergestellt, sodass sich die Materialisierung der beiden Türen deutlich unterscheidet. Unterschiedlich ist auch der verwendete Glaseinsatz: bei Kellenberger et al. (2007) wurde eine Doppelverglasung eingesetzt und in dieser Studie eine Dreifachverglasung. Zudem wird bei der Herstellung von Aussentüren von einem höheren Stromverbrauch pro m² Flügelansichtsfläche ausgegangen als gemäss den Sachbilanzdaten aus Kellenberger et al. (2007).

Die aluminiumbeplankte Aussentüre dieser Studie weist bei allen Indikatoren deutlich höhere Umweltauswirkungen auf als die aluminiumbeplankte Aussentüre aus Kellenberger et al. (2007) ausser beim Indikator Gesamtumweltbelastung (leichte Abnahme). Verantwortlich für die Unterschiede ist neben den oben genannten Gründen die unterschiedliche Aluminiummenge für die Aluminiumbeplankung. Gemäss Kellenberger et al. (2007) werden für die Aluminiumbeplankung 2.7 kg Aluminium verwendet; in dieser Studie wurde hingegen ein Aluminiumbedarf von 8.4 kg ermittelt (siehe Abschnitt 4.4.1).

5.5 Rahmenverbreiterungen

5.5.1 Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung

Die Umweltkennwerte der Rahmenverbreiterung Spanplatte und der Rahmenverbreiterung PVC sind in der Tabelle 32 aufgelistet. Die Rahmenverbreiterung PVC verursacht bei allen Indikatoren ausser beim Primärenergiebedarf erneuerbar bezogen auf 1 m² Rahmenverbreiterung höhere Umweltauswirkungen als die Rahmenverbreiterung Spanplatte. Dies ist vor allem auf die höheren Umweltauswirkungen der Herstellung und Entsorgung von PVC im Vergleich zu den Umweltauswirkungen der Herstellung und Entsorgung von Spanplatten zurück zu führen.

Die Herstellung der Rahmenverbreiterung Spanplatte ist mit 74 % bis 100 % hauptverantwortlich für die totalen Umweltauswirkungen (d.h. Herstellung und Entsorgung). Bei der Rahmenverbreiterung PVC hat die Herstellung einen Anteil von 57 % bis 98 % an den totalen Umweltauswirkungen.

Tabelle 32: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Rahmenverbreiterungen, ab Werk in der Schweiz

		Bezug	Gesamtumwelt-	Primärenergie			Treibhausgas-
			belastung	gesamt	erneuerbar	nicht erneuerbar (Graue Energie)	emissionen
			UBP	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kWh Öl-eq	kg CO ₂ -eq
Rahmenverbreiterung, Spanplatte	Total	m ²	31'100	230	95	135	27.4
	Herstellung	m ²	26'600	227	94.9	132	20.2
	Entsorgung	m ²	4'540	2.99	0.0369	2.96	7.21
Rahmenverbreiterung, PVC	Total	m ²	68'500	355	41.7	313	69.1
	Herstellung	m ²	51'700	341	40.7	300	39.4
	Entsorgung	m ²	16'800	13.9	0.99	12.9	29.7

5.5.2 Gesamtumweltbelastung

In Abbildung 10 sind die Anteile der wichtigsten Materialien und Prozesse an der Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung der Rahmenverbreiterung Spanplatte und Rahmenverbreiterung PVC pro m² Rahmenverbreiterung dargestellt.

Die Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung der Rahmenverbreiterung Spanplatte beträgt 31'100 UBP pro m² Rahmenverbreiterung. Die höchsten Beiträge zur Gesamtumweltbelastung der Rahmenverbreiterung Spanplatte werden durch die Spanplatte (29 %) und den PU-Schaum (23 %) verursacht. Die Entsorgung trägt 15 % zur Gesamtumweltbelastung bei. Die Transporte der Rohmaterialien zum Herstellungsort der Rahmenverbreiterung verursachen 10 % und der Strom für die Herstellung 9 % der Gesamtumweltbelastung. Der Anteil der Holz-Stege an der Gesamtumweltbelastung ist mit 4 % gering. In den restlichen Aufwänden sind weitere Materialien (z.B. Leim, Verpackung, Reinigungsmittel) und die zur Herstellung benötigte Wärme zusammengefasst. Der Beitrag dieser Materialien und Prozesse zur Gesamtumweltbelastung beträgt 11 %.

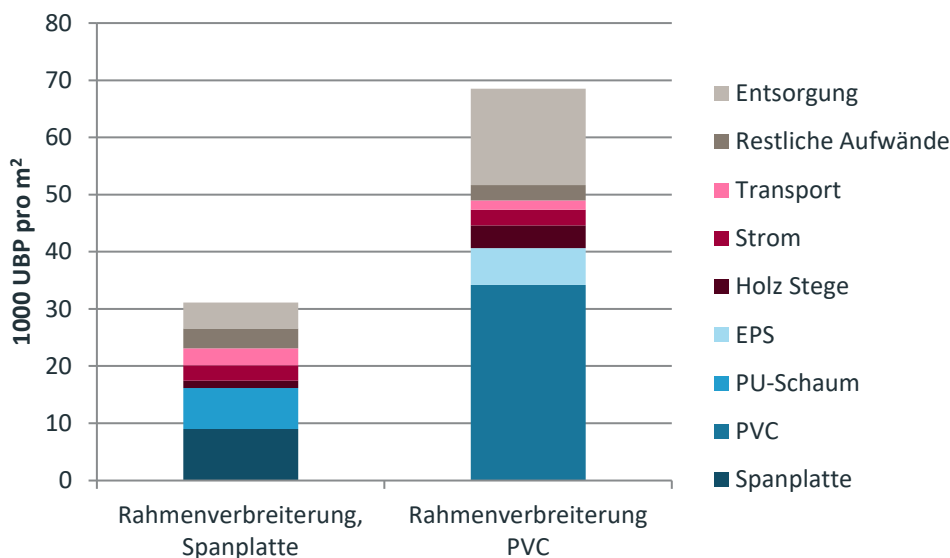


Abbildung 10: Gesamtumweltbelastung in 1000 UBP pro m² der Herstellung und Entsorgung von Rahmenverbreiterungen

Die Gesamtumweltbelastung der Rahmenverbreiterung PVC beträgt 68'500 UBP pro m² Rahmenverbreiterung. Mit einem Anteil von 50 % trägt PVC am meisten zur Gesamtumweltbelastung bei. Weitere 25 % werden durch die Entsorgung der Rahmenverbreiterung PVC verursacht. Die Wärmedämmung EPS trägt 9 % zur Gesamtumweltbelastung bei. Die weiteren Beiträge zur Gesamtumweltbelastung werden durch das Holz der Stege (6 %), den Strom (4 %), den Transport (2 %) und die restlichen Aufwände (4 %) verursacht.

5.5.3 Treibhausgasemissionen

Die Anteile der wichtigsten Materialien und Prozessen an den Treibhausgasemissionen der Rahmenverbreiterung Spanplatte und PVC sind in Abbildung 11 präsentiert.

Die Herstellung und Entsorgung der Rahmenverbreiterung Spanplatte verursacht 27,4 kg CO₂-eq pro m² Rahmenverbreiterung. Die Herstellung der Spanplatte und die Entsorgung der Rahmenverbreiterung tragen mit je 26 % am meisten zu den Treibhausgasemissionen bei. Der PU-Schaum ist für 25 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Der Transport (8 %), die Strombereitstellung (3 %) und die Holzstege (2 %) verursachen einen geringeren Teil der gesamten Treibhausgasemissionen. Die restlichen Aufwände tragen 10 % zu den Treibhausgasemissionen der Rahmenverbreiterung Spanplatte bei.

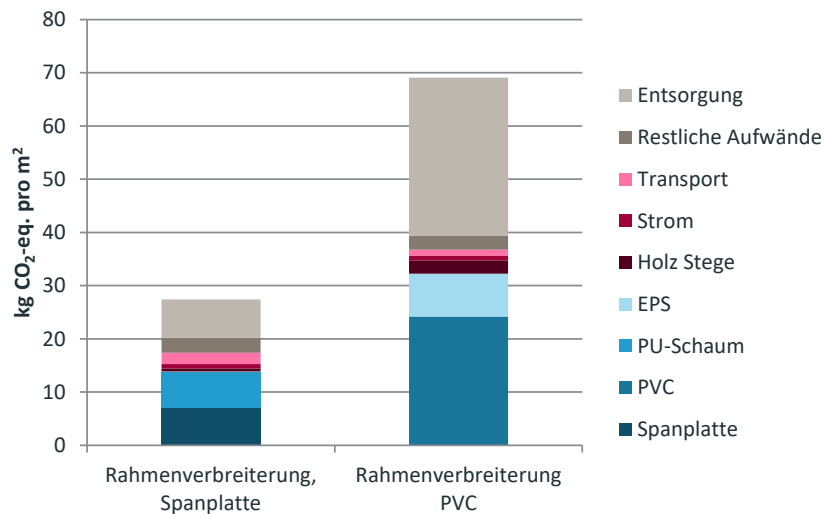


Abbildung 11: Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq. pro m² der Herstellung und Entsorgung von Rahmenverbreiterungen

Die Herstellung und Entsorgung der Rahmenverbreiterung PVC verursacht 69.1 kg CO₂-eq. pro m² Rahmenverbreiterung. Mit 43 % trägt die Entsorgung der Rahmenverbreiterung PVC am meisten zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei. Weitere grössere Verursacher der Treibhausgasemissionen der Rahmenverbreiterung PVC sind die Herstellung des PVCs (35 %) und die Herstellung der EPS Wärmedämmung (12 %). Das Holz der Stege (4 %), die Transporte (2 %), der Strom (1 %) sowie die restlichen Aufwände (4 %) sind für die weiteren Treibhausgasemissionen verantwortlich.

5.5.4 EPD-Indikatoren

In Tabelle 33 werden die Ergebnisse der EPD-Indikatoren für die Herstellung (Module A1-A3) und der Entsorgung (Module C1-C4) der Rahmenverbreiterung Spanplatte und Rahmenverbreiterung PVC präsentiert. Die Ergebnisse der Treibhausgasemissionen und des Primärenergiebedarfs unterscheiden sich zu den Ergebnissen in Abschnitt 5.5.3, da unterschiedliche Treibhauspotenziale respektive Heizwerte verwendet werden (siehe Abschnitt 5.1).

Tabelle 33: Auswertungen der EPD-Indikatoren der Herstellung (Module A1-A3) und der Entsorgung (Module C1-C4) von 1 m² Rahmenverbreiterung

SN EN 15804+A1		Einheit	Rahmenverbreiterung, Spanplatte	Rahmenverbreiterung, PVC
			m ²	m ²
Treibhausgasemissionen	Total	kg CO₂-eq	27	68.4
	Herstellung	kg CO ₂ -eq	19.8	38.8
	Entsorgung	kg CO ₂ -eq	7.27	29.7
Ozonabbau	Total	mg CFC-11 eq	1.38	1.14
	Herstellung	mg CFC-11 eq	1.33	0.932
	Entsorgung	mg CFC-11 eq	0.0537	0.212
Versauerung von Boden und Wasser	Total	g SO₂-eq	86.4	132
	Herstellung	g SO ₂ -eq	80.4	117
	Entsorgung	g SO ₂ -eq	5.93	14.3
Eutrophierung	Total	g PO₄³⁻-eq	15.9	18.2
	Herstellung	g PO ₄ ³⁻ -eq	13.6	15.5
	Entsorgung	g PO ₄ ³⁻ -eq	2.28	2.7
Photochemische Ozonbildung	Total	g C₂H₄-eq	9.17	19
	Herstellung	g C ₂ H ₄ -eq	9.05	18.1
	Entsorgung	g C ₂ H ₄ -eq	0.122	0.897
Verknappung von abiotischen Ressourcen (Stoffe)	Total	mg Sb-eq	65.7	35.5
	Herstellung	mg Sb-eq	65	27.4
	Entsorgung	mg Sb-eq	0.664	8.03
Verknappung von abiotischen Ressourcen (fossile Energieträger)	Total	MJ-eq	354	831
	Herstellung	MJ-eq	345	795
	Entsorgung	MJ-eq	9.67	36
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar total	Total	MJ-eq	456	1'060
	Herstellung	MJ-eq	446	1'020
	Entsorgung	MJ-eq	10	43.4
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	353	748
	Herstellung	MJ-eq	343	705
	Entsorgung	MJ-eq	10	43.4
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar (Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	103.00	312.00
	Herstellung	MJ-eq	103	312
	Entsorgung	MJ-eq	0	0
Primärenergiebedarf, erneuerbar total	Total	MJ-eq	342	150
	Herstellung	MJ-eq	342	147
	Entsorgung	MJ-eq	0.133	3.57
Primärenergiebedarf, erneuerbar (exkl. Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	128.000	129
	Herstellung	MJ-eq	128.000	125
	Entsorgung	MJ-eq	0.133	3.57
Primärenergiebedarf, erneuerbar (Rohmaterialien)	Total	MJ-eq	213	21.5
	Herstellung	MJ-eq	213	21.5
	Entsorgung	MJ-eq	0	0
Nettoeinsatz von Süßwasserressourcen	Total	cm³	64'200	452'000
	Herstellung	cm ³	62'600	340'000
	Entsorgung	cm ³	1'620	112'000
Gefährliche Abfälle, deponiert	Total	mg	271	252
	Herstellung	mg	262	152
	Entsorgung	mg	8.3	99.8
Nicht gefährliche Abfälle, deponiert	Total	kg	2.14	7.78
	Herstellung	kg	1.82	1.92
	Entsorgung	kg	0.313	5.86
Radioaktive Abfälle, deponiert	Total	mg	2'140	2'110
	Herstellung	mg	2'130	1'930
	Entsorgung	mg	9.39	188

6 Arbeitshilfe Holzfenster

6.1 Untersuchungsrahmen

Als Grundlage der Arbeitshilfe Fenster dient der Fensterrechner von Tschümperlin & Frischknecht (2018)⁷. Im bestehenden Fensterrechner werden basierend auf der Grösse der Maueröffnung, der Anzahl der Fensterflügel (Festverglasung, 1, 2 oder 3 Flügel), des Rahmenmaterials (Holz, Holz-Metall, Aluminium oder PVC) und des Verglasungstyps die Umweltauswirkungen pro Fenster bestimmt.

Bei der Wahl der Verglasung stehen folgende Isolierverglasungen zur Auswahl, welche in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 aufgeführt sind:

- 2-fach, U_g -Wert 1.1 W/m² K, Dicke 24 mm (ID-05.001)
- 2-fach, U_g -Wert 1.1 W/m² K, Dicke 18 mm (ID-05.009)
- 2-fach, ESG, U_g -Wert 1.1 W/m² K (ID-05.010)
- 2-fach, VSG, U_g -Wert 1.1 W/m² K (ID-05.002)
- 2-fach, ESG/VSG, U_g -Wert 1.1 W/m² K (ID-05.011)
- 3-fach, U_g -Wert 0.5 W/m² K, Dicke 36 mm (ID-05.003)
- 3-fach, U_g -Wert 0.6 W/m² K, Dicke 40 mm (ID-05.012)
- 3-fach, ESG/ESG, U_g -Wert 0.6 W/m² K (ID-05.013)
- 3-fach, ESG/ESG/ESG, U_g -Wert 0.6 W/m² K (ID-05.014)
- 3-fach, VSG, U_g -Wert 0.6 W/m² K (ID-05.015)
- 3-fach, ESG/VSG, U_g -Wert 0.6 W/m² K (ID-05.016)

In der bestehenden Arbeitshilfe werden die Umweltkennwerte für Holz und Holz-Metallfenster gemäss den in diesem Projekt erstellten Sachbilanzen aktualisiert. Zudem wird die Arbeitshilfe mit der Auswahl der Oberflächenbehandlung für Holz und Holz-Metallfenster (geölt/lasiert oder deckend gestrichen) und der Nutzungsphase der Fenster ergänzt. Die Umweltauswirkungen werden mit den Indikatoren der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 quantifiziert.

6.2 Datengrundlage

Als Hintergrunddaten werden für die Holz und Holz-Metallfenster die Umweltkennwerte basierend auf den in diesem Projekt erstellten Sachbilanzen für Holz und Holz-Metallfenster verwendet. Bei den bilanzierten 2-flügeligen Fensterrahmen sind die Aussenmasse 1.75 m x 1.3 m und die Rahmenfläche im Licht 0.30 m². Die entsprechende Maueröffnung des Standardfensters misst 1.59 m x 1.14 m (Annahmen siehe Abschnitt 6.3.1).

⁷ Die Arbeitshilfe ist verfügbar unter: http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/calculators/637-Fensterrechner.htm

Bei den in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 bilanzierten Fensterrahmen aus Aluminium und PVC wird ebenfalls von 2-flügligen Fenstern der Aussenmasse (inkl. Rahmenanteil hinter der Maueröffnung) 1.75 m x 1.3 m ausgegangen (Kasser et al. 2016). Für PVC-Rahmen beträgt die Rahmenfläche im Licht 0.4 m² und für Aluminium-Rahmen 0.825 m² (Kasser et al. 2016).

Für die Isolierverglasungen werden als Hintergrunddaten die Umweltkennwerte für die Herstellung und Entsorgung gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 verwendet (KBOB et al. 2016a). Die 11 verschiedenen Isolierverglasungen sind in Kasser et al. (2016) beschrieben und deren Sachbilanzen dokumentiert.

Die Umweltkennwerte aller in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 aufgeführten Isolierverglasungen beziehen sich auf 1 m² sichtbare Glasfläche (Glasfläche im Licht). Dabei entspricht 1 m² sichtbare Glasfläche einer Brutto-Glasfläche von 1.06 m² (Kasser et al. 2016). Die den Umweltkennwerten der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 zugrunde liegende Dimension der Verglasung beträgt für alle Fenster, das heisst unabhängig vom Rahmenmaterial immer 0.72 m x 1.18 m (Kasser et al. 2016).

6.3 Annahmen und Skalierungsfunktionen

Die folgenden Annahmen und Skalierungsfunktionen stammen grösstenteils aus Tschümperlin & Frischknecht (2018).

6.3.1 Annahmen

Ausgehend von den dem Architekten bekannten Abmessungen der Maueröffnung für die Fenster werden das Fensteraussenmass, die Rahmenabwicklung (Anzahl Meter Rahmenprofil) und die sichtbare Glasfläche berechnet. Dafür wurden folgende Annahmen getroffen:

- Der Anteil des Rahmens, der hinter der Maueröffnung „versteckt“ ist, beträgt 67 % der Rahmenbreite (der Anteil des Rahmens „im Licht“ beträgt somit 33 %);
- Die typische Rahmenbreite beträgt 0.12 m;
- Die typische Stegbreite beträgt 0.11 m.

Die Rahmenseiten von Metall Fensterprofilen werden im Gegensatz zu Fensterprofilen aus Kunststoff, Holz oder Holz-Metall auf Pass in der Maueröffnung montiert. Das bedeutet, dass die Maueröffnung dem Fensteraussenmass entspricht, während bei allen anderen Fensterprofilen 67 % des Rahmens hinter der Maueröffnung „versteckt“ sind und das Fensteraussenmass somit grösser ausfällt als die Maueröffnung selbst.

6.3.2 Berechnung der Rahmenabwicklung

Die Umweltauswirkungen des Rahmens des zu bilanzierenden Fensters werden über die Rahmenabwicklung (Anzahl Meter Rahmenprofil) berechnet. Aus diesem Projekt und der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 sind die Umweltkennwerte pro m² sichtbare Rahmenfläche bekannt. Multipliziert mit der Rahmenfläche im Licht lassen sich die Umweltauswirkungen des Rahmens pro Fenster (1.75 m x 1.3 m) berechnen. Unter der Annahme der typischen Rahmenbreite von 0.12 m

und Stegbreite von 0.11 m und den Aussenmassen von 1.75 m x 1.3 m beträgt die Rahmenabwicklung inkl. Steg 6.68 m.

Die Rahmenabwicklung des zu bilanzierenden Fensters lässt sich für Fenster mit Anschlag- (bei Kunststoff, Holz oder Holz-Metall Rahmen) oder Passmontage (bei Metall Rahmen) gemäss Formel 1 berechnen:

$$r_n = 2 * (B + (x * (a - 1/2)) * 2) + 2 * (H + (x * (a - 1/2)) * 2) + z * (H - x * (1 - a) * 2)$$

$$r_m = 2 * (B - x) + 2 * (H - x) + z * (H - x * 2)$$

r_n : Rahmenabwicklung (inkl. Steg(e)) in [m], bei Nichtmetall – Rahmen

r_m : Rahmenabwicklung (inkl. Steg(e)) in [m], bei Metall – Rahmen

z : Anzahl Stege

x : typische Rahmenbreite: 0.12 m

a : Rahmenanteil verdeckt: 0.67 (bei Nichtmetall – Rahmen)

B : Breite der Maueröffnung in [m]

H : Höhe der Maueröffnung in [m]

Formel 1: Rahmenabwicklung, inkl. Steg(e) in m, bei Nichtmetall-Rahmen und Metall-Rahmen.

Abbildung 12 veranschaulicht einige Parameter für ein Fenster mit Anschlag- (Abbildung links) und mit Passmontage (Abbildung rechts).

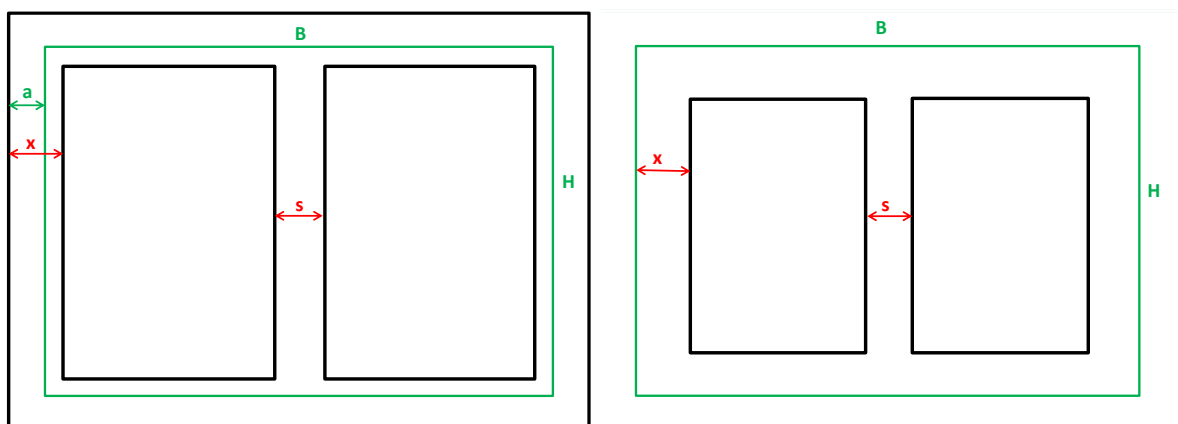


Abbildung 12: Abbildung eines 2-flügeligen Fensters mit Anschlagmontage (links) und Passmontage (rechts) zur Veranschaulichung gewisser Parameter

Die Umweltauswirkungen des Rahmens des zu bilanzierenden Fensters berechnen sich demzufolge über die Umweltauswirkungen des Rahmens des Fensters gemäss diesem Projekt beziehungsweise Kasser et al. (2016) dividiert durch dessen Rahmenabwicklung (6.68 m) und multipliziert mit der in der Arbeitshilfe berechneten Rahmenabwicklung des zu bilanzierenden Fensters (siehe Formel 2).

$$\begin{aligned} & \text{Umweltauswirkungen spezifisches Fenster} \\ & = \frac{\text{Umweltauswirkungen Standard – Fenster} * r_s}{r_{n/m}} \end{aligned}$$

r_n : Rahmenabwicklung (inkl. Steg(e)) in [m], bei Nichtmetall – Rahmen

r_m : Rahmenabwicklung (inkl. Steg(e)) in [m], bei Metall – Rahmen

r_s : Rahmenabwicklung (inkl. Steg(e)) in [m] des spezifischen Fensters

Formel 2: Berechnung der Umweltauswirkungen des zu bilanzierenden Fensters (spezifisches Fenster).

6.3.3 Abhängigkeit der Glasdicke von der Glasfläche

Die zur Auswahl stehenden Isolierverglasungen bestehen aus zwei (2-IV) bis drei Gläsern (3-IV). Bei den eingesetzten Gläsern handelt es sich um Flachglas (Float), Einscheibensicherheitsglas (ESG) und Verbundsicherheitsglas (VSG) (Kasser et al. 2016).

Die Umweltkennwerte der untersuchten Isoliergläser der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 beruhen auf 4 mm dicken Float- und ESG Gläsern und auf 2x4 mm dicken VSG-Gläsern (Kasser et al. 2016). Die Glasdicke von Float und ESG in 2-IV und 3-IV in Abhängigkeit der Glasfläche wird im Hintergrund des Fensterrechners anhand einer vereinfachten Modellierung ermittelt, welche sich auf die SIGAB-Richtlinie 003 abstützt (SIGAB 2012) und von einer konstanten Windlast von -1.0 kN/m² ausgeht. Float und ESG sind je nach Glasfläche zwischen 4 mm und 10 mm dick. Mit 3-IV Verglasungen können bei gleicher Glasdicke eher grössere Fenster realisiert werden als mit 2-IV Verglasungen.

Bei vier der 11 zur Auswahl stehenden Isoliergläsern wird jeweils ein VSG eingesetzt (siehe Unterkapitel 6.1). Verbundsicherheitsgläser werden in den Dimensionen 2x3, 2x4, 2x5, 2x6, 2x8 und 2x10 mm produziert⁸. Vereinfachend lässt sich sagen, dass ein VSG, welches ein Float-Glas oder ESG ersetzt, um ein Drittel dicker ist als das Float/ESG. Wenn zum Beispiel bei einem Isolierglas von zweimal je 6 mm Float-Glas ein Float-Glas durch ein VSG ersetzt wird, so muss das VSG insgesamt 8 mm dick, also 2x4 mm sein⁸.

Mit diesen Grundlagen lassen sich über die in der Arbeitshilfe ermittelte Glasdicke des zu bilanzierenden Fensters und der Glasdicke des von Kasser et al. (2016) bilanzierten Fensters Skalierungsfaktoren für Float/ESG und VSG bei 2-IV und 3-IV bilden, mit denen die Umweltkennwerte gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 pro m² sichtbare Glasfläche aufgrund der höheren Glasdicke erhöht werden.

6.3.4 Berechnung der Glasfläche

Die sichtbare Glasfläche des zu bilanzierenden Fensters berechnet sich für Fenster mit Anschlag- oder Passmontage folgendermassen:

⁸ Persönliche Mitteilung, Markus Läubli, Institutsleiter SIGAB, 18.01.2018

$$f_n = (B - x * (1 - a) * 2 - z * s) * (H - x * (1 - a) * 2)$$

$$f_m = (B - x * 2 - z * s) * (H - x * 2)$$

f_n : sichtbare Glasfläche in [m²], bei Nichtmetall – Rahmen

f_m : sichtbare Glasfläche in [m²], bei Metall – Rahmen

z : Anzahl Stege

x : typische Rahmenbreite: 0.12 m

s : typische Stegbreite: 0.11 m

a : Rahmenanteil verdeckt: 0.67

B : Breite der Maueröffnung in [m]

H : Höhe der Maueröffnung in [m]

Formel 3: Berechnung der sichtbaren Glasfläche bei Nichtmetall- und Metall-Rahmen.

Die Umweltauswirkungen der Verglasung des zu bilanzierenden Fensters berechnen sich über die Umweltkennwerte pro m² sichtbare Glasfläche gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 multipliziert mit der in der Arbeitshilfe berechneten sichtbaren Glasfläche des zu bilanzierenden Fensters und multipliziert mit dem anzuwendenden Skalierungsfaktor für die Glasdicke.

6.3.5 Fall Festverglasung

Bei einer Festverglasung mit Anschlagmontage reduziert sich die Rahmenbreite im Vergleich zu einem Fenster mit einem Fensterflügel um den Rahmenanteil im Licht, welcher 1/3 beträgt. Das heisst, dass die Rahmenöffnung dieselben Abmessungen hat wie das Mauerlicht. Die sichtbare Glasfläche nimmt um die Fläche zu, um die die Rahmenfläche reduziert wurde und entspricht somit der Fläche des Mauerlichts.

Bei einer Festverglasung mit Passmontage (Fenster mit Metallrahmen) reduziert sich die Rahmenbreite und damit die Rahmenfläche um die Hälfte im Vergleich zu einem Fenster mit einem Fensterflügel. Die sichtbare Glasfläche entspricht dann der Fläche des Mauerlichts abzüglich eines 6 cm breiten Fensterrahmens.

6.4 Nutzungsphase

In der Arbeitshilfe wird die Nutzungsphase der Fenster berücksichtigt. Mit Hilfe des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und der Heizgradtage wird der Wärmeverlust durch das Fenster über die gesamte Nutzungsdauer von 30 Jahren (Nutzungsdauer gemäss SIA 2010) berechnet. Die Wärme, die benötigt wird, um den Wärmeverlust zu kompensieren, kann von verschiedenen Technologien erzeugt werden. Basierend auf der Technologieauswahl werden die Umweltauswirkungen der Erzeugung der benötigten Wärme ausgewiesen.

6.4.1 Angaben in der Arbeitshilfe für die Nutzungsphase

Neben den in Unterkapitel 6.3 beschriebenen Angaben werden für die Berechnung der Umweltauswirkung der Nutzungsphase noch weitere Angaben benötigt:

1. U-Wert:

Der U_w -Wert des Fensters berechnet sich folgendermassen:

$$U_w = \frac{U_f * A_f + U_g * A_g + \psi_g * I}{A_w}$$

Formel 4: Berechnung des U_w -Wertes. U und ψ : Wärmedurchgangskoeffizient; A: Fläche; I: Länge; W: Fenster, f: Rahmen; g: Glas

In der Arbeitshilfe werden verschiedene Optionen angeboten um den U_w -Wert des Fensters anzugeben:

- Angabe des U_w -Wertes: Der U_w -Wert des Fensters (d.h. Rahmen, Glasrandverbund und Verglasung) ist bekannt. Falls ein U_w -Wert unter $0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ angegeben wird, erscheint eine Fehlermeldung.
- Angabe des U_g -Wertes, des U_f -Wertes und ψ_g -Wertes. Der U_w -Wert wird basierend auf den Flächen des Rahmens und der Verglasung und der Anzahl Laufmeter des Glasrandverbundes gemäss der Formel 4 berechnet. Dazu werden die Rahmenbreite im Licht und die Stegbreite gemäss den Annahmen in Abschnitt 6.3.1 verwendet. Aus den Angaben werden die Rahmen- und sichtbare Glasfläche sowie die Länge des Glasrandverbunds berechnet.

Für die Eingabe der Wärmedurchgangskoeffizienten werden die in Tabelle 34 aufgeführten unteren Grenzwerte eingesetzt. Wird ein Wärmedurchgangskoeffizient unter diesen Werten eingegeben, erscheint ein Warnhinweis.

Tabelle 34: Untere Grenzwerte zur Eingabe der Wärmedurchgangskoeffizienten.

Komponente	Einheit	Unterer Grenzwert
Isolierverglasung	$\text{W/m}^2\text{K}$	0.3
Fensterrahmen	$\text{W/m}^2\text{K}$	0.5
Glasrandverbund	W/mK	0.02

- Falls keine Angaben zu den U_f - und U_g -Werten gemacht werden können, werden Standard-Werte verwendet. Als Standard U_g -Werte stehen die Werte der Isolierverglasung in der KBOB Empfehlung 2009/1:2016 (siehe Unterkapitel 6.1) zur Verfügung. Als Standard U_f -Werte werden die U_f -Werte der in diesem Projekt erstellten Datensätze von Holz- und Holz-Metall Fensterrahmen verwendet.

Zur Bestimmung des ψ_g -Wertes kann das Material ausgewählt werden. Zur Auswahl stehen die Glasrandverbundmaterialien des Berechnungstools für Fenster U-Werte der Konferenz Kantonalen Energiefachstellen (Konferenz Kantonalen Energiedirektoren 2018).

2. Heizgradtage

Zur Bestimmung der Heizgradtage (in Kelvin * Tag) wird an jedem Heiztag (Tagesmittel unter 12°C) die Differenz zwischen Aussenlufttemperatur und Innenlufttemperatur (20°C) gemessen. Die Heizgradtage pro Jahr sind die Summe dieser Differenzen für alle Heiztage pro Jahr⁹.

Der Hauseigentümerverband publiziert auf seiner Webseite die Heizgradtage für verschiedene Standorte in der Schweiz⁹. Da die langjährigen Mittelwerte nur für fünf Städte ausgewiesen werden, wurde anhand der Werte für die Stadt Zürich verglichen, welches Jahr zwischen 2011 und 2019 die kleinsten Abweichungen zum langjährigen Mittelwert von 2001-2010 aufweist. Da die Abweichungen im Jahr 2012 am geringsten waren, wurden die Werte für dieses Jahr zur Berechnung des zu kompensierenden Wärmeverlusts verwendet. In der Arbeitshilfe kann aus einer Liste der Standort ausgewählt werden. Für die Berechnung der Umweltauswirkungen der Nutzungsphase werden dann die entsprechenden Heizgradtage verwendet.

3. Technologie zur Erzeugung der Nutzwärme

Zur Produktion der Nutzwärme, die benötigt wird, um den Wärmeverlust zu kompensieren stehen die Technologien der Kategorien „Nutzwärme“ (ID-Nummer 43) und „Nutzwärme am Standort erzeugt, inkl. erneuerbare Energien“ (ID-Nummer 44) der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016a) zur Verfügung.

6.4.2 Berechnung der Umweltauswirkungen des Wärmeverlusts des Fensters

Der Wärmeverlust des Fensters pro Jahr wird gemäss Formel 5 berechnet.

$$\frac{\text{Wärmeverlust Fenster}}{\text{Jahr}} = U_w * A_w * \frac{\text{HGT}}{\text{Jahr}} * 86'400$$

Formel 5: Berechnung des Wärmeverlusts des Fensters pro Jahr. U_w : Wärmedurchgangskoeffizient Fenster in W/m^2K ; A_w : Fläche Fenster (Maueröffnung) in m^2 ; HGT: Heizgradtage in Kd; 86'400 Sekunden pro Tag.

Der Wärmeverlust pro Jahr wird dann auf die Nutzungsphase des Fensters (gemäss SIA 2010) hochgerechnet.

Die Umweltauswirkungen des Wärmeverlusts sind abhängig von der in der Arbeitshilfe gewählten Technologie zur Erzeugung der zu kompensierenden Nutzwärme.

⁹ <https://www.hev-schweiz.ch/vermieten/nebenkostenabrechnungen/heizgradtage-hgt/>, abgerufen am: 11.02.2020

Die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung werden nicht berücksichtigt, da die nutzbaren Solargewinne abhängig von der Orientierung, dem Grad der Verschattung sowie der Speicherfähigkeit der dahinterliegenden Räume sind.

7 Arbeitshilfe Holztüren

7.1 Untersuchungsrahmen

Die Architekten kennen in der Regel das lichte Durchgangsmass von Türen, deren Anwendungsbereich (Innen- oder Aussentüre) und das Rahmen- und Türmaterial. Die Arbeitshilfe basiert deshalb auf diesen Angaben und beschränkt sich grundsätzlich auf Holztüren. Bei Innentüren wird angegeben, ob ein Holzrahmen oder eine Stahlzarge als Türrahmen eingesetzt wird. Zudem kann ausgewählt werden, ob es sich um eine Tür mit oder ohne Glaseinsatz (Grösse wählbar) oder um eine Funktionstüre handelt. Für Aussentüren wird ein Holzrahmen eingesetzt. Bei den Aussentüren kann ausgewählt werden, ob die Tür eine Aluminiumbeplankung oder einen Glaseinsatz besitzt. Die Grösse des Glaseinsatzes ist wählbar. Anschliessend wird für die Innen- oder Aussentüre die Oberflächenbehandlung des Holzes (geölt/lasiert/lackiert oder deckend gestrichen) ausgewählt.

Bei der Wahl der Verglasung stehen folgende Isolierverglasungstypen zur Auswahl, welche in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 aufgeführt sind:

- 2-fach, ESG, U_g -Wert $1.1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (ID-05.010)
- 2-fach, VSG, U_g -Wert $1.1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (ID-05.002)
- 3-fach, VSG, U_g -Wert $0.6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (ID-05.015)
- 3-fach, ESG/VSG, U_g -Wert $0.6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (ID-05.016)

Die Umweltauswirkungen werden in der Arbeitshilfe pro Türe ausgewiesen. Die Umweltauswirkungen der Herstellung, Nutzung und Entsorgung werden separat ausgewiesen und mit den Indikatoren der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 quantifiziert.

7.2 Datengrundlage

Als Datengrundlagen dienen die Umweltkennwerte basierend auf den in diesem Projekt erstellten Sachbilanzen für Innen- und Aussentüren aus Holz, Holz-Glas oder Aluminium-beplankt. Das lichte Durchgangsmass der Innentüre ist $0.9 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ und das der Aussentüre $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. Die Umweltkennwerte beziehen sich auf 1 m^2 Flügelansichtsfläche. Die Flügelansichtsfläche für Innentüre ist 1.8 m^2 und für die Aussentüre 2 m^2 .

Für die Isolierverglasungen werden als Hintergrunddaten die Umweltkennwerte für die Herstellung und Entsorgung gemäss KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 verwendet (KBOB et al. 2016a). Die 4 verschiedenen Isolierverglasungen sind in Kasser et al. (2016) beschrieben und deren Sachbilanzen dokumentiert.

7.3 Annahmen und Skalierungsfunktionen

Basierend auf den Angaben des lichten Durchgangsmasses in der Arbeitshilfe werden mit den Umweltkennwerten pro Türansichtsfläche für Türblatt, Rahmen, Oberflächenbehandlung und Entsorgung die Umweltauswirkungen der spezifischen Türe berechnet.

7.3.1 Annahmen Türrahmen

Die Umweltauswirkungen der Türrahmen der spezifischen Türe werden mit Hilfe der Rahmenlaufmeter skaliert. Die Standard-Innentüre weist 4.9 Rahmenlaufmeter auf und die Standard-Aussentüre 5.0 Rahmenlaufmeter.

In der Arbeitshilfe kann das Gewicht der Stahlzarge spezifiziert werden. Falls das Gewicht bekannt ist, wird dieses verwendet, um die Umweltauswirkungen der Stahlzarge zu berechnen. Ansonsten werden die Umweltkennwerte der Stahlzarge aus diesem Projekt verwendet. Die bilanzierte Stahlzarge weist ein Gewicht von 22 kg pro Türe (4.4 kg/Laufmeter, 12 kg pro m² Türansichtsfläche) auf. Diese Werte sind in der Arbeitshilfe als Orientierungshilfe für die Nutzer sichtbar.

7.3.2 Glaseinsatz

Die Grösse des Glaseinsatzes sowie die Art der Verglasung sind in der Arbeitshilfe wählbar. Als Grundlage zur Berechnung der Umweltauswirkungen der Türen mit Glaseinsatz werden die in diesem Projekt erstellten Sachbilanzen für Innen- und Aussentüren mit Glaseinsatz verwendet. Der Standard-Glaseinsatz ist bei der Innentüre 0.73 m² und bei der Aussentüre 0.74 m² gross. Falls keine Angaben zur Grösse des Glaseinsatzes gemacht werden, werden diese Werte verwendet. Falls die Grösse des Glaseinsatzes angegeben wird, wird die opake Türfläche mit Hilfe des angegebenen lichten Durchgangsmasses berechnet. Die Umweltauswirkungen der opaken Türfläche werden dann ausgehend von den Umweltwirkungen der Türe mit Standard-Glaseinsatz über das Verhältnis der berechneten opaken Türfläche zur opaken Fläche der Standardtüre berechnet.

7.4 Nutzungsphase

In der Arbeitshilfe wird die Nutzungsphase der Aussentüre berücksichtigt. Mit Hilfe des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und der Heizgradtage wird der Wärmeverlust durch die Aussentüre über die gesamte Lebensdauer (30 Jahre gemäss SIA 2010) bestimmt. Die Wärme, die benötigt wird, um den Wärmeverlust zu kompensieren, kann von verschiedenen Technologien erzeugt werden. Basierend auf der Technologieauswahl werden die Umweltauswirkungen zur Erzeugung der benötigten Wärme ausgewiesen.

7.4.1 Angaben in der Arbeitshilfe für die Nutzungsphase

Neben der Dimension des Türrahmens und des Türblatts werden für die Berechnung des Wärmeverlustes während der Nutzungsphase noch weitere Angaben benötigt:

1. U-Wert:

Der U_D -Wert der Türe (1-flügelig und ohne Seitenteil) berechnet sich gemäss ARGE MINERGIE®-Türen (2016) folgendermassen:

$$U_D = \frac{U_f * A_f + U_P * A_P + \psi_P * I}{A_w}$$

Formel 6: Berechnung des U_D -Wertes. U und ψ : Wärmedurchgangskoeffizient; A: Fläche; I: Länge; D: Türe, f: Rahmen; p: Türblatt/Paneele; W: Maueröffnung

In der Arbeitshilfe werden verschiedene Optionen angeboten, um den U_D -Wert der Türe zu bestimmen:

- a) Angabe des U_D -Wertes: Der U_D -Wert der Türe (d.h. Rahmen, Türblatt und allenfalls Verglasung) ist bekannt.
- b) Falls keine Angaben zum U_D -Wert gemacht werden kann, wird ein Standard-Wert verwendet. Als Standard U_D -Werte werden die Werte aus EnFK (2013) verwendet. Dazu wird abgefragt, ob die Aussentüre gegen Aussenklima (Standardwert 1.3 W/m²K) oder einen unbeheizten Raum (Standardwert 1.6 W/m²K) grenzt.

2. Heizgradtage

Zur Bestimmung der Heizgradtage (in Kelvin * Tag) wird an jedem Heiztag (Tagesmittel unter 12°C) die Differenz zwischen Aussenlufttemperatur und Innenlufttemperatur (20°C) gemessen. Die Heizgradtage pro Jahr sind die Summe dieser Differenzen für alle Heiztage pro Jahr¹⁰.

Der Hauseigentümergeverband publiziert auf seiner Webseite die Heizgradtage für verschiedenen Standorte in der Schweiz¹⁰. Da die langjährigen Mittelwerte nur für fünf Städte ausgewiesen werden, wurde anhand der Werte für die Stadt Zürich verglichen, welches Jahr zwischen 2011 und 2019 die kleinsten Abweichungen zum langjährigen Mittelwert von 2001-2010 aufweist. Da die Abweichungen im Jahr 2012 am geringsten waren, wurden die Werte für dieses Jahr zur Berechnung des zu kompensierenden Wärmeverlusts verwendet. In der Arbeitshilfe kann aus einer Liste der Standort ausgewählt werden. Für die Berechnung der Umweltauswirkungen der Nutzungsphase werden dann die entsprechenden Heizgradtage verwendet. Falls die Aussentüre gegen einen unbeheizten Raum grenzt, werden die Heizgradtage pauschal um 10 % reduziert (BFE 2004).

3. Technologie zur Erzeugung der Nutzwärme

Zur Produktion der Nutzwärme, die benötigt wird, um den Wärmeverlust zu kompensieren stehen die Technologien der Kategorien „Nutzwärme“ (ID-Nummer 43) und „Nutzwärme am

¹⁰ <https://www.hev-schweiz.ch/vermieten/nebenkostenabrechnungen/heizgradtage-hgt/>, abgerufen am: 11.02.2020

Standort erzeugt, inkl. erneuerbare Energien“ (ID-Nummer 44) der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (KBOB et al. 2016a) zur Verfügung.

7.4.2 Berechnung der Umweltauswirkungen des Wärmeverlusts der Aussentüre

Der Wärmeverlust der Türe pro Jahr wird gemäss Formel 7 berechnet.

$$\frac{\text{Wärmeverlust Türe}}{\text{Jahr}} = U_D * A_D * \frac{HGT}{\text{Jahr}} * 86'400$$

Formel 7: Berechnung des Wärmeverlusts der Türe pro Jahr. U_D : Wärmedurchgangskoeffizient Türe in W/m^2K ; A_D : Fläche Türe (Maueröffnung) in m^2 ; HGT: Heizgradtage in Kd; 86'400 Sekunden pro Tag.

Der Wärmeverlust pro Jahr wird dann auf die Nutzungsphase der Türe (gemäss SIA 2010) hochgerechnet.

Die Umweltauswirkungen des Wärmeverlusts sind abhängig von der in der Arbeitshilfe gewählten Technologie zur Erzeugung der zu kompensierenden Nutzwärme.

8 Folgerungen

Die Qualität der in dieser Studie erhobenen Daten wird für die Kanteln als genügend und für die Fenster, Türen und Rahmenverbreiterungen als gut eingestuft. Bei den Kanteln konnten nicht für alle Kanteltypen Werksdaten erhoben werden (siehe Unterkapitel 4.2). Für alle Produkte wurden die Fragebogen zur Erhebung der Daten vorgängig mit Herstellern besprochen und optimiert und danach an verschiedene Hersteller gesendet. Die Durchschnittsdatensätze der verschiedenen Produkte basieren auf Daten von jeweils drei bis vier Herstellern.

Das Holz in den Fensterrahmen und Türrahmen wurde gemäss den verfügbaren Daten ausschliesslich mit Nadelholz modelliert. Für die Herstellung von Fenstern und Türen werden jedoch auch andere Hölzer verwendet, die meist als fertige Kanteln aus dem Ausland importiert werden. Da Angaben zu den eingesetzten Mengen nicht verfügbar waren, konnten die unterschiedlichen Holzarten nicht berücksichtigt werden.

Unsicherheiten gibt es bei den verwendeten Grundierungen und Farben zur Oberflächenbehandlung, da keine detaillierten Informationen über die Zusammensetzung der verwendeten Grundierungen und Farben vorlagen. Daher wurden die im KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2016 vorhandenen Sachbilanzdatensätze zur Modellierung der Oberflächenbehandlung verwendet. Die Oberflächenbehandlung hat mit einem Anteil von maximal 10 % an der Gesamtumweltbelastung von Fensterrahmen und Türen einen eher geringen Einfluss auf das Resultat. Bei einer allfälligen Aktualisierung der Daten in einigen Jahren, wäre es jedoch wünschenswert detailliertere Daten zur Oberflächenbehandlung bei den Herstellern zu erheben.

In der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 ist die Bezugsgrösse der Fensterrahmen die Rahmenfläche im Licht. Im Rahmen dieses Projektes kam vermehrt die Frage auf, ob dies die geeignete Bezugsgrösse für Fensterrahmen ist. Die Rahmenfläche im Licht kann je nach Montage des Fensters stark variieren. Bei zukünftigen Aktualisierungen von Ökobilanzdaten zu

Fensterrahmen sollten diese Frage vertieft diskutiert und mögliche Alternativen (z.B. Maueröffnung oder Fensteraussenmass) in Betracht gezogen werden. Wichtig ist jedoch, dass sich die Umweltkennwerte aller Fensterrahmen der KBOB-Empfehlung (d.h. auch PVC und Aluminium) auf dieselbe Bezugsgrösse beziehen.

Die aktualisierten Umweltkennwerte zu Holz- und Holz-Metallfensterrahmen und Aussen- und Innentüren aus Holz führen zu einer deutlichen Verbesserung der Datenqualität von Holzfensterrahmen und Holztüren und damit auch zu belastbareren Entscheidungsgrundlagen für Architekten und Planende. Bei der Planung eines Gebäudes kann durch die Umweltkennwerte der verschiedenen Baumaterialien auch der ökologische Aspekt miteinbezogen werden. Mit den neu erarbeiteten Arbeitshilfen können die Planenden Umweltkennwerte für projektspezifische Fenster und Holztüren erstellen. In den Arbeitshilfen wird neben der Herstellung und Entsorgung auch die Nutzungsphase berücksichtigt. Dadurch können Architekten und Planende die Umweltbelastungen von verschiedenen projektspezifischen Varianten über den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes vergleichen. Die Ergebnisse des Vergleichs können den Architekten und Planenden aufzeigen, mit welchen Varianten das Gebäude umweltfreundlicher gestaltet werden kann.

9 Ausblick

Die Umweltkennwerte verschiedener in diesem Projekt bilanzierter Produktvarianten sollen in eine aktualisierte Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 einfließen und die entsprechenden Einträge zu Holz- und Holz-Metallfensterrahmen und Aussen- und Innentüren aus Holz ersetzen oder ergänzen. In der KBOB-Empfehlung kann konkretisiert werden, dass sich die Umweltkennwerte der Fensterrahmen auf die Rahmenfläche im Licht beziehen. Die Arbeitshilfe für Holztüren könnte in einem weiteren Projekt um Aluminiumtüren ergänzt werden.

Um das Klimaziel des Schweizerischen Bundesrats («Nettonull bis 2050») zu erreichen, welches sich auf das 2015 ratifizierte Paris-Abkommen (UNFCCC 2015), müssen Hersteller und Planende (weitere) Anstrengungen unternehmen, um die Treibhausgasemissionen der Fensterrahmen und Türen sowie der Gebäude insgesamt zu senken. Hersteller können beispielsweise die Ökobilanz ihres Betriebs und ihrer Produkte erstellen lassen, Reduktionspotentiale identifizieren und Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und der Umweltbelastung ergreifen.

Literatur

- ARGE MINERGIE®-Türen (2016) Reglement und Nachweisverfahren zur Vergabe des MINERGIE®-Zertifikats für MINERGIE® - Modul Türen. Verband Schweizerische Türenbranche (VST), Verband Schweizerischer Schreinermeister und Möbelfabrikanten (VSSM), Schweizerische Metall-Union (SMU).
- BFE (2004) Abrechnungsmodell zur verbrauchsabhängigen Heiz- und Warmwasserkostenabrechnung VHKA. Bundesamt für Energie, Bern, Schweiz.
- EnFK (2013) Wärmeschutz von Gebäuden - Vollzugshilfe EN-2. Konferenz Kantonaler Energiefachstellen (EnFK).
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirsch R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.
- Frischknecht R., Wyss F., Büsser Knöpfel S., Lützkendorf T. and Balouktsi M. (2015) Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*, **20**(7), pp. 957-969, 10.1007/s11367-015-0897-4, retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-015-0897-4>.
- IPCC (2007) The IPCC fourth Assessment Report - Technical Summary. Cambridge University Press., Cambridge.
- IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- Kasser U., Frischknecht R., Klingler M., Savi D., Stolz P., Tschümperlin L., Wyss F. and Itten R. (2016) Erneuerung und Erweiterung der Ökobilanzdaten in der KBOB-Liste "Ökobilanzdaten im Baubereich". Bundesamt für Energie, Bundesamt für Umwelt, Amt für Hochbauten der Stadt Zürich, Zürich und Uster.
- KBOB, eco-bau and IPB (2015) Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz, Version 3.0. Plattform "Ökobilanzdaten im Baubereich", KBOB, eco-bau, IPB, Bern, retrieved from: http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Oekobilanzdaten/Plattform_OeDB_Memo_Produktspezifische%20Regeln_v3%200.pdf.
- KBOB, eco-bau and IPB (2016a) KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand Juli 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.
- KBOB, eco-bau and IPB (2016b) KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2016; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Kellenberger D., Althaus H.-J., Jungbluth N., Künniger T., Lehmann M. and Thalmann P. (2007) Life Cycle Inventories of Building Products. ecoinvent report No. 7, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

- Konferenz Kantonaler Energiedirektoren (2018) Fenstertool_D (Version 3.0). Konferenz Kantonaler Energiedirektoren, retrieved from: https://www.endk.ch/de/fachleute-1/energienachweis/EN-101%20bis%20EN-141/ftw-simplelayout-filelistingblock/Fenstertool_D.xlsx/view.
- PRé Consultants (2019) SimaPro 9.0.0, Amersfoort, NL.
- SIA (2010) Merkblatt 2032: Graue Energie von Gebäuden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.
- SIGAB (2012) Isolierglas - Dimensionierung von Glasdicken. In: *Richtlinie 003*. Schweizerisches Institut für Glas am Bau (SIGAB).
- SN EN 15804 (2013) SN EN 15804+A1:2013 - Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.
- Stolz P. and Frischknecht R. (2016) Life Cycle Inventories of Aluminium and Aluminium Profiles. treeze Ltd., Uster, CH.
- Tschümperlin L. and Frischknecht R. (2018) Fensterrechner Hintergrundbericht. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Zürich.
- UNFCCC (2015) Adoption of the Paris Agreement, Vol. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 (ed. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)), Paris.
- VKF (2015) Brandschutzrichtlinie Flucht- und Rettungswege. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern, retrieved from: <https://services.vkg.ch/rest/public/georg/bs/publikation/documents/BSPUB-1394520214-85.pdf/content>.
- Werner F., Richter K., Bosshart S. and Frischknecht R. (1997) Ökologischer Vergleich von Innenbauteilen am Bsp. von Zargen aus Massivholz, Holzwerkstoff und Stahl. EMPA Abteilung Holz, Dübendorf.