
Ökobilanz von Holz- und Holz-Me- tall-Fensterrahmen

Autoren

Luana Krebs, Livia Ramseier, Rolf Frischknecht

Kunde

G. Baumgartner AG

Uster, 21. Oktober 2021

Impressum

| | |
|---------------------|--|
| Titel | Ökobilanz von Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen |
| Autoren | Luana Krebs, Livia Ramseier, Rolf Frischknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster www.treeze.ch Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch |
| Kunde | G. Baumgartner AG |
| Copyright | All content provided in this report is copyrighted, except when noted otherwise. Such information must not be copied or distributed, in whole or in part, without prior written consent of treeze Ltd. or the customer. This report is provided on the website www.treeze.ch and/or the website of the customer. A provision of this report or of files and information from this report on other websites is not permitted. Any other means of distribution, even in altered forms, require the written consent. Any citation naming treeze Ltd. or the authors of this report shall be provided to the authors before publication for verification. |
| Liability Statement | Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility. |
| Version | 692_Ökobilanz_Fensterrahmen_Baumgartner_v1.0.docx, 21.10.2021 17:48:00 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------|--|
| a | Jahr |
| CED | Kumulierter Energieaufwand, siehe KEA (engl. cumulative energy demand) |
| CH | Schweiz |
| GLO | Global |
| GWP | Treibhauspotential (engl. global warming potential) |
| KBOB | Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren |
| KEA | Kumulierter Energieaufwand |
| LCA | Ökobilanz (engl. life cycle assessment) |
| LCI | Sachbilanz (engl. life cycle inventory analysis) |
| LCIA | Wirkungsabschätzung (engl. life cycle impact assessment) |
| MJ | Megajoule |
| Moek | Methode der ökologischen Knappheit |
| RER | Europa |
| tkm | Tonnenkilometer, Einheit für Transportdienstleistungen |
| UBP | Umweltbelastungspunkt |

Zusammenfassung

Das Ziel des Projekts ist die Erstellung einer Ökobilanz von Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG. Bilanziert werden gedeckt gestrichene Holz- sowie Holz-Metall-Fensterrahmen aus Nadelholzkanteln. Die Bilanzen wurden gemäss den Erfassungsrichtlinien der Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ erstellt. Die Ökobilanzen der Fensterrahmen umfassen alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Werktor sowie die Entsorgung der Produkte, inklusive der Transporte zwischen den Verarbeitungsschritten, der Energiebereitstellung und dem Verpackungsmaterial der Endprodukte. Als funktionelle Einheit für die Fensterrahmen wurde einerseits 1 m² Rahmenfläche im Licht und andererseits 1 m² Maueröffnung eines Standardfensters als Bezugsgrösse gewählt.

In Tabelle Z. 1 sind die Umweltkennwerte des Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmens der G. Baumgartner AG dargestellt. Der Holz-Fensterrahmen weist gegenüber dem Holz-Metall-Fensterrahmen bei allen Indikatoren ausser dem erneuerbaren Primärenergiebedarf tiefere Umweltkennwerte auf. Dies ist hauptsächlich auf die zusätzlich verwendete Menge an Aluminium (Aluminiumbeplankung des Rahmens) zurückzuführen.

Der Beitrag der Entsorgung zu den Umweltauswirkungen ist sowohl bei den Holz- als auch bei den Holz-Metall-Fensterrahmen deutlich kleiner als der Beitrag der Herstellung.

Tabelle Z. 1: Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG ab Werk pro m² Maueröffnung

| | | 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 |
| Fensterrahmen Holz, U=1.0 W/m ² K, Baumgartner | Total | m² Mauer- öffnung | 46'800 | 274 | 120 | 154 | 24.0 |
| | Herstellung | m ² Mauer- öffnung | 44'700 | 273 | 120 | 153 | 20.8 |
| | Entsorgung | m ² Mauer- öffnung | 2'110 | 1.09 | 0.02 | 1.08 | 3.21 |
| Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.0 W/m ² K, Baumgartner | Total | m² Mauer- öffnung | 59'300 | 327 | 119 | 209 | 36.3 |
| | Herstellung | m ² Mauer- öffnung | 55'500 | 326 | 119 | 208 | 29.7 |
| | Entsorgung | m ² Mauer- öffnung | 3'790 | 1.3 | 0.02 | 1.28 | 6.57 |

Der Holz-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG weist bei allen untersuchten Umweltkennwerten tiefere Umweltbelastungen auf als der Schweizer Marktdurchschnitt. Der Holz-Metall-Fensterrahmen kann nicht direkt mit dem Schweizer Marktdurchschnitt verglichen werden, da beim Fensterrahmen der G. Baumgartner AG nur der Rahmen, beim Schweizer Marktdurchschnitt jedoch Rahmen und Flügel mit Aluminium beplankt sind.

Verglichen mit dem Schweizer Marktdurchschnitt fällt auf, dass die G. Baumgartner AG Verbesserungspotential beim Stromverbrauch aufweist. Wir empfehlen den Verarbeitungsprozess hinsichtlich der Stromeffizienz zu überprüfen und wo möglich zu verbessern. Zusätzlich ist es aus Umweltsicht empfehlenswert ein Stromprodukt aus erneuerbaren Energien zu beziehen. Zudem empfehlen wir, das Holz für die Fensterrahmen aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und von lokalen Anbietern zu beziehen.

Nebst den Verbesserungen in der Produktion empfehlen wir der G. Baumgartner AG eine umfassende Unternehmens-Treibhausgasbilanz gemäss den Richtlinien des Treibhausgas-Protokolls zu erstellen und basierend darauf Reduktionsziele für die Zukunft zu formulieren. Die Bilanz und Reduktionsziele könnten auch gemäss den Richtlinien der «Science based Targets»-Initiative¹ erstellt und verbindlich eingereicht werden.

Wir empfehlen diese Ökobilanz zu publizieren.

¹ <https://sciencebasedtargets.org/>

Inhalt

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | EINFÜHRUNG | 1 |
| 1.1 | Zielsetzung und Untersuchungsrahmen | 1 |
| 1.2 | Struktur des Berichtes | 1 |
| 2 | METHODIK UND DATENGRUNDLAGE | 1 |
| 2.1 | Systemumfang | 1 |
| 2.2 | Funktionelle Einheit | 1 |
| 2.3 | Datengrundlage | 2 |
| 2.4 | Allokation | 2 |
| 2.5 | Bewertungsmethoden | 2 |
| 2.6 | Ressourcenkorrektur | 3 |
| 3 | SYSTEMCHARAKTERISIERUNG | 5 |
| 4 | SACHBILANZEN UND MODELLIERUNGSANNAHMEN | 6 |
| 4.1 | Herstellung | 6 |
| 4.2 | Entsorgung | 12 |
| 5 | WIRKUNGSABSCHÄTZUNG | 13 |
| 5.1 | Überblick | 13 |
| 5.2 | Umweltkennwerte der KBOB-Empfehlung | 13 |
| 5.3 | Gesamtumweltbelastung | 14 |
| 5.4 | Treibhausgasemissionen | 15 |
| 5.5 | Vergleich mit Umweltkennwerten des Schweizer Marktmixes | 16 |
| 5.6 | Datenqualität | 17 |
| 6 | FOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN | 18 |
| | LITERATUR | 19 |

1 Einführung

1.1 Zielsetzung und Untersuchungsrahmen

Das Ziel des Projekts ist die Erstellung einer Ökobilanz von Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG. Bilanziert werden gedeckt gestrichene Holz- sowie Holz-Metall-Fensterrahmen aus Nadelholzkanteln. Die Bilanzen werden gemäss den Erfassungsrichtlinien der Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2015) erstellt. Die herstellerepezifischen Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung der analysierten Fensterrahmen sollen anschliessend in die Excel-Version der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 eingespeist werden.

1.2 Struktur des Berichtes

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut: In den Kapiteln 2 und 3 werden der Untersuchungsrahmen, die zu quantifizierenden Umweltindikatoren und die Datengrundlage beschrieben. In Kapitel 4 werden alle erstellten Sachbilanzen präsentiert und die Modellierungsannahmen dokumentiert. Die aus der Auswertung der Sachbilanzen nach verschiedenen Umweltindikatoren resultierenden Umweltwirkungen der Produktökobilanz werden in Kapitel 5 gezeigt und diskutiert. Ebenfalls in Kapitel 5 werden die Ergebnisse mit dem Schweizer Marktmix verglichen und die Datenqualität dargelegt. Der Bericht schliesst mit Folgerungen und Empfehlungen in Kapitel 6.

2 Methodik und Datengrundlage

2.1 Systemumfang

Die Ökobilanzen der Fensterrahmen umfassen alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Werktor sowie die Entsorgung der Produkte. 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 wurde nicht berücksichtigt. Die Infrastruktur zur Herstellung der Fensterrahmen wurde berücksichtigt. Materialien, welche am Ende ihrer Lebensdauer rezykliert werden, verlassen das System belastungsfrei (Cut-off-Ansatz).

2.2 Funktionelle Einheit

Die Bezugsgrösse der Fensterrahmen der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 ist die Rahmenfläche im Licht. Deshalb wurde auch in dieser Studie 1 m² Rahmenfläche im Licht als Bezugsgrösse für die Fensterrahmen gewählt. Die Rahmenfläche im Licht ist

eine deklarierte Einheit und keine funktionelle Einheit, da die Fensterrahmenprofile der bestehenden Ökobilanzdaten unterschiedliche Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) aufweisen und deshalb die funktionelle Äquivalenz nicht gegeben ist. 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 wurde bei der G. Baumgartner AG nach typischen Rahmenflächen im Licht gefragt. Ergänzend zu der Rahmenfläche im Licht wurden die Umweltauswirkungen der Fensterrahmen auch bezogen auf 1 m² Maueröffnung ausgewertet. Die Umweltkennwerte von Fensterrahmen werden in der KBOB-Empfehlung 2009/2:2021 neu pro m² Maueröffnung ausgewiesen.

2.3 Datengrundlage

Im Rahmen einer Studie im Auftrag von EnergieSchweiz wurden aktuelle Werksdaten zur Herstellung von Fensterrahmen erhoben. In Zusammenarbeit mit Lignum² wurden für die Hersteller Fragebögen der Herstellung der verschiedenen Baumaterialien entwickelt. Aus den erhobenen Daten wurden für jedes Baumaterial ungewichtete Durchschnittssatze gebildet. Die G. Baumgartner AG hat damals Daten für die Herstellung von Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen geliefert. Mit diesen Daten wurden nun herstellerepezifische Datensätze erstellt.

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

2.4 Allokation

Die G. Baumgartner AG produziert Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen. Gemäss der G. Baumgartner AG sind die Herstellungsaufwände (Hilfsmaterialien und Energie) für die Produktion von Holz und Holz-Metall-Fensterrahmen identisch. 8% der produzierten Fensterrahmen (in Laufmetern Umfang Aussen) sind Holz-Fensterrahmen und 92 % Holz-Metall-Fensterrahmen.

2.5 Bewertungsmethoden

Die Umweltauswirkungen werden mit den folgenden drei 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

² <https://www.lignum.ch/>

(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 & Büsler Knöpfel 2013)

2.6 Ressourcenkorrektur

Mit der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsler 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 einer 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 vorgenommen.

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

| Werkstoff | Primäranteil Metallwerkstoff % | Anteil Recycling % |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Nadelholzlatten | - | 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 sind von der Ressourcenkorrektur nicht betroffen.

3 Systemcharakterisierung

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 Drehkippsmechanismus
- Bautiefe variabel
- U_f -Wert variabel

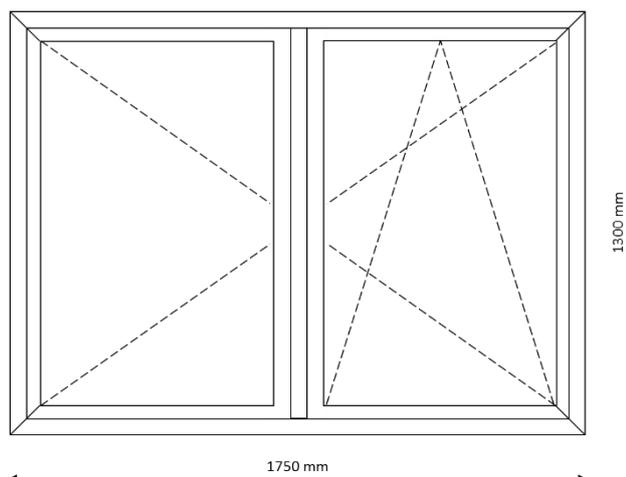


Abbildung 1 Aussenmasse des Standardfensters.

Die Holz- und Holz-Metall-Fensteroberflächen der G. Baumgartner AG sind deckend gestrichen. Beim Holz-Metall-Fenster von G. Baumgartner AG ist der Rahmen mit Metall beplankt (die Flügel sind nicht beplankt, anders als bei anderen Herstellern). Die bilanzierten Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen weisen einen U_f -Wert von $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf.

Wie bei den bereits vorhandenen Daten für Fensterrahmen in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 werden auch die aktualisierten Ökobilanzen auf 1 m^2 Rahmenfläche im Licht bezogen. Die Rahmenfläche im Licht des oben beschriebenen Standardfensters beträgt gemäss den Herstellerangaben 0.30 m^2 für Holz und Holz-Metall-Fensterrahmen.

1 m^2 Rahmenfläche im Licht des Holzfensterrahmens der G. Baumgartner AG wiegt 75.4 kg . Der Holz-Metall-Fensterrahmen wiegt 88.4 kg pro m^2 Rahmenfläche im Licht.

Ergänzend zu der Bezugsgrösse Rahmenfläche im Licht wurden die Ökobilanzen der Fensterrahmen auf 1 m² Maueröffnung bezogen. Für das oben beschriebene 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 Holzfensterrahmens der G. Baumgartner AG beträgt 12.5 kg pro m² Maueröffnung. Der Holz-Metall-Fensterrahmen wiegt 14.6 kg pro m² Maueröffnung.

4 Sachbilanzen und Modellierungsannahmen

In diesem Kapitel werden die Sachbilanzen der Herstellung und Entsorgung von Fensterrahmen vorgestellt. Die Sachbilanzen wurden gemäss den Erfassungsrichtlinien der Plattform „Ökobilanzdaten im Baubereich“ (KBOB et al. 2015) erstellt.

4.1 Herstellung

Die Materialisierung und Herstellungsaufwände der Fensterrahmen basieren auf Werksdaten von G. Baumgartner AG. Die vom Hersteller zur Verfügung gestellten Daten zur Materialisierung umfassen die Fensterrahmen aus Holz und Holz-Metall und die Oberflächenbehandlung «deckend gestrichen». Der Hersteller stellte die Nettomengen der benötigten Produktionsmaterialien pro Standardfensterrahmen und, soweit verfügbar, die Anteile der Produktionsabfälle zur Verfügung. Zur Berechnung der Materialaufwendungen pro Standardfensterrahmen wurden die Bruttomengen pro Fensterrahmen und Oberflächenbehandlung durch die 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 Allokation der Herstellungsaufwände ist in Unterkapitel 2.4 beschrieben.

Die G. Baumgartner AG benötigt zur Fensterrahmenproduktion Holzrohkanteln. Die Sachbilanzen zu Kanteln sind in Ramseier et al. (2020) beschrieben. Neben den Holzrohkanteln beinhalten die Fensterrahmen aus Holz und Holz-Metall ein anodisiertes und 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 niedriglegiertes Stahlblech, Zinkdruckguss und glasfaserverstärkte Kunststoffe eingesetzt. Auch für die Dichtungen und Klebstoffe wird eine Kombination von verschiedenen Materialien eingesetzt (EPDM, TPE, Silikon).

Es wurde angenommen, dass die Produktionsabfälle in der Kehrichtverbrennungsanlage verbrannt werden. Die Produktionsabfälle aus Aluminium und Zink werden recycelt und verlassen das System belastungsfrei (siehe Kapitel 2).

Die Kanteln aus dem Ausland werden 700 km mit einem Lastwagen transportiert.

Werner (2017) bilanziert für den Transport vom Sägewerk zum Verarbeitungswerk für Holzwerkstoffe 150 km. In dieser Studie wurde dieselbe Distanz für den Transport von

Schweizer Kanteln zum Fensterhersteller angenommen. Gemäss der Aussenhandelsstatistik der Schweiz (Eidgenössische Zollverwaltung EZV 2017) wird einfach bearbeitetes Holz zu 98 % mit dem Lastwagen in die Schweiz transportiert. Analog dazu wurde in dieser Studie angenommen, dass 98 % der Kanteln per Lastwagen und 2 % mit der Bahn transportiert werden.

Die Sachbilanzdaten für die Herstellung von Holz-Fensterrahmen und die Transportdistanzen der Materialien sind in der Tabelle 2 dargestellt. Die Sachbilanzdaten für die Herstellung des Holz-Metall-Fensterrahmens und die Transportdistanzen der Materialien sind in der Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 2 Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m² Holz-Fensterrahmen, ohne Oberflächenbehandlung, ab Werk

| | 3702 | 3703 | ## | 3706 | 3707 | 3707 | ## | 3709 | 3792 | | | | |
|----------------|--|------------------------|------------------------|------|--|--|------------------|------------------------|--|-----------------------------|-----------------------|--------|---|
| | Name | Location | Infrastructure Process | Unit | window frame, wood, w/o surface treatment, Baumgartner, m2 visible, at plant | window frame, wood, w/o surface treatment, Baumgartner, wall opening, at plant | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | General Comment | Transport-distanz Lastwagen | Transport-distanz Zug | Quelle | |
| | Location | Infrastructure Process | | | CH | CH | | | | km | km | | |
| | Unit | | | | m2 | m2 | | | | | | | |
| product | window frame, wood, w/o surface treatment, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 1 | 0 | | | | | | | |
| | window frame, wood, w/o surface treatment, Baumgartner, wall opening, at plant | CH | 0 | m2 | 0 | 1 | | | | | | | |
| resource, land | Occupation, industrial area | - | - | m2a | 3.79E-2 | 6.26E-3 | 1 | 1.54 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.5); ; Data from manufacturer | | | | |
| | Occupation, industrial area, vegetation | - | - | m2a | 1.79E-2 | 2.96E-3 | 1 | 1.54 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.5); ; Data from manufacturer | | | | |
| | Transformation, from unknown | - | - | m2 | 2.79E+0 | 4.61E-1 | 1 | 2.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.2); ; Data from manufacturer | | | | |
| | Transformation, to industrial area | - | - | m2 | 3.79E-2 | 6.26E-3 | 1 | 2.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.2); ; Data from manufacturer | | | | |
| | Transformation, to industrial area, vegetation | - | - | m2 | 1.79E-2 | 2.96E-3 | 1 | 2.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.2); ; Data from manufacturer | | | | |
| technosphere | building, hall | CH | 1 | m2 | 2.81E-2 | 4.65E-3 | 1 | 3.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.3); ; Data from manufacturer | | | | |
| | Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant | CH | 0 | m3 | 1.69E-3 | 2.80E-4 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Scantling softwood, origin Switzerland; Data from manufacturer | 147 | | 3 | Transport von Sägewerk zum Verarbeitendwerk aus Werner 2017 |
| | Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant | RER | 0 | m3 | 1.68E-1 | 2.77E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Scantling softwood, origin Europe; Data from manufacturer | 700 | | 0 | Herstellereangaben |
| | aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant | CH | 0 | kg | 4.88E+0 | 8.08E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Aluminium profil (anodised); Data from manufacturer | 10 | | 0 | Herstellereangaben |
| | anodising, aluminium sheet | RER | 0 | m2 | 1.21E+0 | 2.00E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Anodising of aluminium profil; Data from manufacturer | 0 | | 0 | |
| | aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant | CH | 0 | kg | 3.59E-2 | 5.94E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Aluminium profil (powder coated); Data from manufacturer | 10 | | 0 | Herstellereangaben |
| | powder coating, aluminium sheet | RER | 0 | m2 | 8.87E-3 | 1.47E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Powder coating of aluminium profil; Data from manufacturer | 0 | | 0 | |
| | steel, low-alloyed, at plant | RER | 0 | kg | 5.85E+0 | 9.67E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Steel sheet, low-alloyed; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 600 Frischknecht et al. 2007 |
| | section bar rolling, steel | RER | 0 | kg | 5.85E+0 | 9.67E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Processing of steel sheet, low-alloyed; Data from manufacturer | 0 | | 0 | |
| | zinc, primary, at regional storage | RER | 0 | kg | 1.86E+0 | 3.07E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Die cast zinc; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 600 Frischknecht et al. 2007 |
| | casting, brass | CH | 0 | kg | 1.86E+0 | 3.07E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Processing of zinc; Data from manufacturer | 0 | | 0 | |
| | steel, low-alloyed, at plant | RER | 0 | kg | 4.05E-1 | 6.69E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Steel screws, low-alloyed; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 600 Frischknecht et al. 2007 |
| | steel product manufacturing, average metal working | RER | 0 | kg | 4.05E-1 | 6.69E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Processing of steel sheet for steel screws; Data from manufacturer | 0 | | 0 | |
| | synthetic rubber, at plant | RER | 0 | kg | 2.02E+0 | 3.34E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); EPDM; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 200 Frischknecht et al. 2007 |
| | synthetic rubber, at plant | RER | 0 | kg | 3.58E-1 | 5.91E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); TPE; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 200 Frischknecht et al. 2007 |
| | silicone product, at plant | RER | 0 | kg | 2.26E-1 | 3.74E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Silicon; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 200 Frischknecht et al. 2007 |
| | acrylic binder, 34% in H2O, at plant | RER | 0 | kg | 8.10E-2 | 1.34E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Acrylic adhesive; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 600 Frischknecht et al. 2007 |
| | adhesive for metals, at plant | DE | 0 | kg | 8.57E-1 | 1.42E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Metal adhesive; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 600 Frischknecht et al. 2007 |
| | polyethylene, HDPE, granulate, at plant | CH | 0 | kg | 8.02E-2 | 1.33E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Other plastic parts; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 200 Frischknecht et al. 2007 |
| | disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration | RER | 0 | kg | 2.95E+1 | 4.88E+0 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste scantling; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 2.46E-1 | 4.07E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste adhesive in scantling; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | disposal, steel, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 4.01E-3 | 6.63E-4 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste steel screws, low-alloyed; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 2.00E-2 | 3.31E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste EPDM; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 3.54E-3 | 5.66E-4 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste TPE; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 2.24E-3 | 3.70E-4 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste silicon; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 8.03E-4 | 1.33E-4 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste acrylic adhesive; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 8.50E-3 | 1.41E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste metal adhesive; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | electricity, medium voltage, at grid | CH | 0 | kWh | 1.54E+2 | 2.55E+1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Electricity; Data from manufacturer | 0 | | 0 | |
| | wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW | CH | 0 | MJ | 8.66E+1 | 1.43E+1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Wood chips; Data from manufacturer | | | | |
| | chemicals organic, at plant | GLO | 0 | kg | 3.86E-3 | 6.38E-4 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Cleaning agent; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 600 Frischknecht et al. 2007 |
| | tap water, at user | CH | 0 | kg | 3.88E-2 | 6.42E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Water; Data from manufacturer | 0 | | 0 | |
| | lubricating oil, at plant | RER | 0 | kg | 4.24E-3 | 7.02E-4 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Lubricating oil; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 600 Frischknecht et al. 2007 |
| | packaging film, LDPE, at plant | RER | 0 | kg | 7.17E-1 | 1.19E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Packaging PE foil; Data from manufacturer | 50 | | 0 | 200 Frischknecht et al. 2007 |
| | disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | 8.46E-1 | 1.40E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal of packaging PE foil; Data from manufacturer | 10 | | 0 | Frisknecht et al. 2007 |
| | transport, freight, lorry, fleet average | CH | 0 | tkm | 5.54E+1 | 9.15E+0 | 1 | 2.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.2); Transport of materials to production site; data from manufacturer and standard distances | 0 | | 0 | |
| | transport, freight, rail | CH | 0 | tkm | 6.11E+0 | 1.01E+0 | 1 | 2.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.2); Transport of materials to production site; data from manufacturer and standard distances | 0 | | 0 | |
| | transport, municipal waste collection, lorry 21t | CH | 0 | tkm | 3.07E-1 | 5.07E-2 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Transport production waste to municipal incineration; Standard distances | 0 | | 0 | |

Tabelle 3 Sachbilanzdaten für die Herstellung von 1 m² Holz-Metall-Fensterrahmen, ohne Oberflächenbehandlung, ab Werk

| product | Name | Location | Infrastructure | Process | Unit | window frame, wood-metal, w/o surface treatment, Baumgartner, m ² visible, at plant | | General Comment | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | Transport-distanz Lastwagen | Transport-distanz Zug | Quelle |
|----------------|--|----------|----------------|------------------|------|--|---------|-----------------|------------------|---|-----------------------------|-----------------------|--|
| | | | | | | CH | CH | | | | | | |
| | | | | | | 0 | 0 | | | | km | km | |
| product | window frame, wood-metal, w/o surface treatment, Baumgartner, m ² visible, at plant | CH | 0 | m ² | | 1 | 0 | | | | | | |
| | window frame, wood-metal, w/o surface treatment, Baumgartner, wall opening, at plant | CH | 0 | m ² | | 0 | 1 | | | | | | |
| resource, land | Occupation, industrial area | - | - | m ² a | | 3.79E-2 | 6.26E-3 | 1 | 1.54 | (3.3,1,1,4, BU.1.5); | | | Data from manufacturer |
| | Occupation, industrial area, vegetation | - | - | m ² a | | 1.79E-2 | 2.96E-3 | 1 | 1.54 | (3.3,1,1,4, BU.1.5); | | | Data from manufacturer |
| | Transformation, from unknown | - | - | m ² | | 2.79E+0 | 4.61E-1 | 1 | 2.03 | (3.3,1,1,4, BU.2); | | | Data from manufacturer |
| | Transformation, to industrial area | - | - | m ² | | 3.79E-2 | 6.26E-3 | 1 | 2.03 | (3.3,1,1,4, BU.2); | | | Data from manufacturer |
| | Transformation, to industrial area, vegetation | - | - | m ² | | 1.79E-2 | 2.96E-3 | 1 | 2.03 | (3.3,1,1,4, BU.2); | | | Data from manufacturer |
| technosphere | building, hall | CH | 1 | m ² | | 2.81E-2 | 4.65E-3 | 1 | 3.03 | (3.3,1,1,4, BU.3); | | | Data from manufacturer |
| | Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant | CH | 0 | m ³ | | 1.56E-3 | 2.59E-4 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Scantling softwood, origin Switzerland; Data from manufacturer | 147 | | 3 Transport vom Sägewerk zum Verarbeitungswerk aus Werner 2017 |
| | Scantling, softwood, laminated, FFF, at plant | RER | 0 | m ³ | | 1.55E-1 | 2.56E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Scantling softwood, origin Europe; Data from manufacturer | 700 | | 0 Herstellerangaben |
| | sawwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill | CH | 0 | m ³ | | 3.25E-6 | 5.37E-7 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Softwood lath, origin Switzerland; Data from manufacturer | 147 | | 3 Transport vom Sägewerk zum Verarbeitungswerk aus Werner 2017 |
| | sawwood, lath, softwood, dried (u=10%), planed, at sawmill | RER | 0 | m ³ | | 3.22E-4 | 5.32E-5 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Softwood lath, origin Europe; Data from manufacturer | 700 | | 0 Herstellerangaben für Holzkarstein |
| | steel, low-alloyed, at plant | RER | 0 | kg | | 5.85E+0 | 9.67E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Steel sheet, low-alloyed; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | section bar rolling, steel | RER | 0 | kg | | 5.85E+0 | 9.67E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Processing of steel sheet, low-alloyed; Data from manufacturer | 0 | | 0 |
| | zinc, primary, at regional storage | RER | 0 | kg | | 1.86E+0 | 3.07E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Die cast zinc; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | casting, brass | CH | 0 | kg | | 1.86E+0 | 3.07E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Processing of zinc; Data from manufacturer | 0 | | 0 |
| | steel, low-alloyed, at plant | RER | 0 | kg | | 8.10E-1 | 1.34E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Steel screws, low-alloyed; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | steel product manufacturing, average metal working | RER | 0 | kg | | 8.10E-1 | 1.34E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Processing of steel sheet for steel screws; Data from manufacturer | 0 | | 0 |
| | glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant | RER | 0 | kg | | 6.07E-1 | 1.00E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Fibreglass-reinforced polyamide; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | synthetic rubber, at plant | RER | 0 | kg | | 8.08E+0 | 1.34E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); EPDM; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | synthetic rubber, at plant | RER | 0 | kg | | 7.15E-1 | 1.18E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); TPE; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | silicone product, at plant | RER | 0 | kg | | 2.26E-1 | 3.74E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Silicon; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | acrylic binder, 34% in H ₂ O, at plant | RER | 0 | kg | | 8.10E-2 | 1.34E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Acrylic adhesive; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | adhesive for metals, at plant | DE | 0 | kg | | 8.57E-1 | 1.42E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Metal adhesive; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | polyethylene, HDPE, granulate, at plant | RER | 0 | kg | | 6.68E-2 | 1.10E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Other plastic parts; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 2.73E+1 | 4.51E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste scantling; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 2.95E-1 | 4.88E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste adhesive in scantling; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, steel, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 0 | 0 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste steel sheet, low-alloyed; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, steel, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 8.02E-3 | 1.33E-3 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste steel screws, low-alloyed; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | glass reinforced plastic sheet (GFK), in MSW | CH | 0 | kg | | 6.01E-3 | 9.94E-4 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste polyamide; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 8.00E-2 | 1.32E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste EPDM; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 7.08E-3 | 1.17E-3 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste TPE; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 2.24E-3 | 3.70E-4 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste silicon; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 8.03E-4 | 1.33E-4 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste acrylic adhesive; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, polyurethane, 0.2% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 8.50E-3 | 1.41E-3 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal production waste metal adhesive; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | electricity, medium voltage, at grid | CH | 0 | kWh | | 1.54E+2 | 2.55E+1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Electricity; Data from manufacturer | 0 | | 0 |
| | wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300kW | CH | 0 | MJ | | 8.66E+1 | 1.43E+1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Wood chips; Data from manufacturer | 0 | | 0 |
| | chemicals organic, at plant | GLO | 0 | kg | | 3.86E-3 | 6.38E-4 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Cleaning agent; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | tap water, at user | CH | 0 | kg | | 3.88E-2 | 6.42E-3 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Water; Data from manufacturer | 0 | | 0 |
| | lubricating oil, at plant | RER | 0 | kg | | 4.24E-3 | 7.02E-4 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Lubricating oil; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | packaging film, LDPE, at plant | RER | 0 | kg | | 7.17E-1 | 1.19E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Packaging PE foil; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration | CH | 0 | kg | | 8.46E-1 | 1.40E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Disposal of packaging PE foil; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | transport, freight, lorry, fleet average | CH | 0 | tkm | | 5.16E+1 | 8.53E+0 | 1 | 2.03 | (3.3,1,1,4, BU.2); Transport of materials to production site; Data from manufacturer and standard distances | 0 | | 0 |
| | transport, freight, rail | CH | 0 | tkm | | 7.76E+0 | 1.28E+0 | 1 | 2.03 | (3.3,1,1,4, BU.2); Transport of materials to production site; Data from manufacturer and standard distances | 0 | | 0 |
| | transport, municipal waste collection, lorry 21t | CH | 0 | tkm | | 2.85E-1 | 4.72E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1,1,4, BU.1.05); Transport production waste to municipal incineration; Standard distances | 0 | | 0 |

Die Rahmen des Holz-Metall-Fensterrahmens sind aluminiumbeplankt. Die Flügel sind nicht beplankt. Die Herstellung der Aluminiumbeplankung wurde mit dem spezifischen Sachbilanzdatensatz für Aluminiumprofile für den Schweizer Markt abgebildet (Stolz & Frischknecht 2016). Die Aluminiumprofile werden gemäss der G. Baumgartner AG 10 km mit dem Lastwagen transportiert. Die Sachbilanzdaten der Aluminiumbeplankung des Holz-Metall-Fensterrahmens sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4 Sachbilanzdaten der Herstellung der Aluminiumbeplankung des Holz-Metall-Fensterrahmens pro m² Rahmenfläche im Licht und m² Maueröffnung, ab Werk

| Name | Location | Infrastructure Process | Unit | panelling, aluminium, window frame cover, Baumgartner, m2 visible, at plant | | panelling, aluminium, window frame cover, Baumgartner, wall opening, at plant | | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | General Comment | Transport-distanz Lastwagen | Transport-distanz Zug | Quelle |
|--|------------------------|------------------------|------|---|---------|---|------|---|------------------------|-----------------|-----------------------------|--|--------|
| | | | | CH | 0 | m2 | 1 | | | | | | |
| Location | Infrastructure Process | | | CH | 0 | 0 | CH | 0 | | | | | |
| Unit | | | | | m2 | | m2 | | | | km | km | |
| panelling, aluminium, window frame cover, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 1 | 0 | | | | | | | | |
| panelling, aluminium, window frame cover, Baumgartner, wall opening, at plant | CH | 0 | m2 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| technosphere aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant | CH | 0 | kg | 9.69E+0 | 1.60E+0 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Aluminium profil (anodised); Data from manufacturer | | 10 | | Herstellerangaben; 0 Annahme alles LKW Transport | |
| anodising, aluminium sheet | RER | 0 | m2 | 2.40E+0 | 3.97E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Anodising of aluminium profil; Data from manufacturer | | 0 | | 0 | |
| aluminium profile, uncoated, SZFF 2014, recycling share 52%, at plant | CH | 0 | kg | 3.59E-2 | 5.94E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Aluminium profil (powder coated); Data from manufacturer | | 10 | | Herstellerangaben; 0 Annahme alles LKW Transport | |
| powder coating, aluminium sheet | RER | 0 | m2 | 8.87E-3 | 1.47E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Powder coating of aluminium profil; Data from manufacturer | | 0 | | 0 | |
| transport, freight, lorry, fleet average | CH | 0 | tkm | 9.73E-2 | 1.61E-2 | 1 | 2.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.2); Transport of materials to production site; Data from manufacturer | | | | | |

Die Oberflächen der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen sind deckend gestrichen. Dafür wird Lack verwendet. Basierend auf den Herstellerangaben wurden die Sachbilanzen in Tabelle 5 (Holzfensterrahmen) und in Tabelle 6 (Holz-Metall-Fensterrahmen) erstellt. Es wurde angenommen, dass die Produktionsabfälle in einer KVA verbrannt werden. Für die Transportdistanzen wurden Standarddistanzen gemäss Frischknecht et al. (2007) verwendet. Die verwendeten Transportdistanzen sind in Tabelle 5 (Holzfensterrahmen) und Tabelle 6 (Holz-Metall-Fensterrahmen) ersichtlich.

Tabelle 5 Sachbilanzdaten der Oberflächenbehandlung für Holz-Fensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht und m² Maueröffnung, ab Werk

| Name | Location | Infrastructure Process | Unit | surface treatment, wood window, opaquely painted, Baumgartner, m2 visible, at plant | | surface treatment, wood window, opaquely painted, Baumgartner, wall opening, at plant | | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | General Comment | Transport-distanz Lastwagen | Transport-distanz Zug | Quelle |
|---|------------------------|------------------------|------|---|---------|---|------|---|------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|--------|
| | | | | CH | 0 | m2 | 1 | | | | | | |
| Location | Infrastructure Process | | | CH | 0 | 0 | CH | 0 | | | | | |
| Unit | | | | | m2 | | m2 | | | | km | km | |
| surface treatment, wood window, opaquely painted, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 1 | 0 | | | | | | | | |
| surface treatment, wood window, opaquely painted, Baumgartner, wall opening, at plant | CH | 0 | m2 | 0 | 1 | | | | | | | | |
| technosphere acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant | RER | 0 | kg | 2.13E+0 | 3.51E-1 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Top and intermediate varnish; Data from manufacturer | | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) | |
| disposal, building, paint on wood, to final disposal | CH | 0 | kg | 2.10E-2 | 3.48E-3 | 1 | 1.16 | (3.3.1.1.1.4.BU.1.05); Disposal production waste paint; Data from manufacturer | | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) | |
| transport, freight, lorry, fleet average | CH | 0 | tkm | 1.06E-1 | 1.78E-2 | 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 | 1.28E+0 | 2.11E-1 | 1 | 2.03 | (3.3.1.1.1.4.BU.2); Transport of materials to production site; | | | | | |

Tabelle 6 Sachbilanzdaten der Oberflächenbehandlung für Holz-Metall-Fensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht und m² Maueröffnung, ab Werk

| | Name | Location | Infrastructure Process | Unit | | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | General Comment | Transport- distanz Lastwagen | Transport- distanz Zug | Quelle |
|--------------|--|----------|------------------------|---|---|------------------|------------------------|--|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| | | | | surface treatment, wood-metal window, opaquely painted, Baumgartner, m2 visible, at plant | surface treatment, wood-metal window, opaquely painted, Baumgartner, wall opening, at plant | | | | | | |
| | | CH | 0 | m2 | 1 | 0 | | | km | km | |
| | | CH | 0 | m2 | 0 | 1 | | | | | |
| technosphere | alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant | RER | 0 | kg | 0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Wood preservative; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | alkyd filler, at plant | RER | 0 | kg | 0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Acrylic filler; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant | RER | 0 | kg | 0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Primer / impregnation; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | acrylic dispersion, 65% in H2O, at plant | RER | 0 | kg | 0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Wood preservative glaze; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | acrylic dispersion, 65% in H2O, at plant | RER | 0 | kg | 0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Wood glaze; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant | RER | 0 | kg | 2.13E+0 | 3.51E-1 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Top and intermediate varnish; Data from manufacturer | 50 | | 600 Frischknecht et al. (2007) |
| | alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant | RER | 0 | kg | 0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Natural oil; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant | RER | 0 | kg | 0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Oil paint; Data from manufacturer | 50 | | 200 Frischknecht et al. (2007) |
| | disposal, building, paint on wood, to final disposal | CH | 0 | kg | 2.10E-2 | 3.48E-3 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Disposal production waste paint; Data from manufacturer | 10 | | 0 Frischknecht et al. (2007) |
| | transport, freight, lorry, fleet average | CH | 0 | tkm | 1.05E-1 | 1.76E-2 | 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 | 1.28E+0 | 2.11E-1 | 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 7 und Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 7 Sachbilanzen der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen inklusive Ressourcenkorrektur pro m² Rahmenfläche im Licht, ab Werk

| | Name | Location | Infrastructure Process | Unit | | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | General Comment |
|---------------------|---|----------|------------------------|--|--|------------------|------------------------|---|
| | | | | window frame, wood, opaquely painted, U=1.0 W/m2K, Baumgartner, m2 visible, at plant | window frame, wood-metal, opaquely painted, U=1.0 W/m2K, Baumgartner, m2 visible, at plant | | | |
| | | CH | 0 | m2 | 1 | 0 | | |
| | | CH | 0 | m2 | 0 | 1 | | |
| technosphere | window frame, wood, w/o surface treatment, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 1.00E+0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); ; Data from manufacturer |
| | window frame, wood-metal, w/o surface treatment, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 0 | 1.00E+0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); ; Data from manufacturer |
| | surface treatment, wood window, opaquely painted, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 1.00E+0 | 0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); ; Data from manufacturer |
| | surface treatment, wood-metal window, opaquely painted, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 0 | 1.00E+0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); ; Data from manufacturer |
| | panelling, aluminium, window frame cover, Baumgartner, m2 visible, at plant | CH | 0 | m2 | 0 | 1.00E+0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); ; Data from manufacturer |
| resource, biotic | Energy, gross calorific value, in biomass, resource correction | - | - | MJ | -4.81E+2 | -4.45E+2 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Recycling of wooden components (50%); |
| resource, in ground | Aluminium, resource correction | - | - | kg | -2.38E+0 | -4.67E+0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Recycling of aluminium components; |
| | Zinc, resource correction | - | - | kg | -1.86E+0 | -1.86E+0 | 1 | 1.16 (3.3,1,1,1,4,BU:1.05); Recycling of zinc components; |

Tabelle 8 Sachbilanzen der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen inklusive Ressourcenkorrektur pro m² Maueröffnung, ab Werk

| Name | Location | Infrastructure Process | Unit | window frame, wood, opaquely painted, U=1.0 W/m2K, Baumgartner, wall opening, at plant | window frame, wood-metal, opaquely painted, U=1.0 W/m2K, Baumgartner, wall opening, at plant | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | General Comment |
|---------------------|----------|------------------------|------|--|--|------------------|------------------------|---|
| | | | | | | | | |
| | CH | 0 | m2 | 1 | 0 | | | |
| | CH | 0 | m2 | 0 | 1 | | | |
| technosphere | CH | 0 | m2 | 1.00E+0 | 0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Data from manufacturer |
| | CH | 0 | m2 | 0 | 1.00E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Data from manufacturer |
| | CH | 0 | m2 | 1.00E+0 | 0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Data from manufacturer |
| | CH | 0 | m2 | 0 | 1.00E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Data from manufacturer |
| | CH | 0 | m2 | 0 | 1.00E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Data from manufacturer |
| resource, biotic | - | - | MJ | -7.95E+1 | -7.36E+1 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Recycling of wooden components (50%); |
| resource, in ground | - | - | kg | -3.90E-1 | 0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Recycling of aluminium components; |
| | - | - | kg | -3.07E-1 | -3.07E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Recycling of zinc components; |

4.2 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 einer KVA zugeführt werden. Der Transport der Materialien in die KVA wurde gemäss Frischknecht et al. (2007) mit 10 km (Lastwagen) modelliert.

Die Sachbilanzen zur Entsorgung der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen sind in Tabelle 9 ersichtlich.

Tabelle 9 Sachbilanzen zur Entsorgung der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen pro m² Rahmenfläche im Licht und m² Maueröffnung

| Name | Location | Infrastructure Process | Unit | disposal, building, window frame, wood, opaquely painted, Baumgartner, m2 visible, to final disposal | disposal, building, window frame, wood-metal, opaquely painted, Baumgartner, m2 visible, to final disposal | disposal, building, window frame, wood, opaquely painted, Baumgartner, wall opening, to final disposal | disposal, building, window frame, wood-metal, opaquely painted, Baumgartner, wall opening, to final disposal | Uncertainty Type | Standard Deviation 95% | General Comment |
|--------------|----------|------------------------|------|--|--|--|--|------------------|------------------------|---|
| | | | | | | | | | | |
| | CH | 0 | m2 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | |
| | CH | 0 | m2 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | |
| | CH | 0 | m2 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | |
| | CH | 0 | m2 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | |
| technosphere | CH | 0 | kg | 3.45E+1 | 3.19E+1 | 5.70E+0 | 5.27E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); wood in scantling; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | kg | 8.04E-1 | 7.44E-1 | 1.33E-1 | 1.23E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Glue in scantling; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | kg | 6.25E+0 | 6.65E+0 | 1.03E+0 | 1.10E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); steel sheet and steel screws; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | kg | 0 | 6.01E-1 | 0 | 9.94E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Fibreglass-reinforced polyamide; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | kg | 9.46E-2 | 7.89E-2 | 1.57E-2 | 1.30E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Nylon, ABS and polyethylene parts; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | kg | 2.58E+0 | 8.93E+0 | 4.26E-1 | 1.48E+0 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Silicon, EPDM and TPE; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | kg | 9.30E-1 | 9.30E-1 | 1.54E-1 | 1.54E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); various glue; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | kg | 2.10E+0 | 2.10E+0 | 3.48E-1 | 3.48E-1 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); paint from surface treatment; Data from manufacturer |
| | CH | 0 | tkm | 4.72E-1 | 5.19E-1 | 7.81E-2 | 8.59E-2 | 1 | 1.16 | (3.3,1.1,1.4, BU:1.05); Transportation, standard distances; |

5 Wirkungsabschätzung

5.1 Überblick

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

5.2 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» (Tabelle 10) und «Rahmenfläche im Licht» (Tabelle 11) ausgewertet. Die Resultate der beiden Bezugsgrössen unterscheiden sich durch einen konstanten Faktor.

Der Holz-Fensterrahmen weist gegenüber dem Holz-Metall-Fensterrahmen bei allen Indikatoren ausser dem erneuerbaren Primärenergiebedarf tiefere Umweltkennwerte auf. Dies ist hauptsächlich auf die zusätzlich verwendete Menge an Aluminium (Aluminiumbeplankung des Rahmens) zurückzuführen.

Der Beitrag der Entsorgung zu den Umweltauswirkungen ist sowohl bei den Holz- als auch bei den Holz-Metall-Fensterrahmen deutlich kleiner als der Beitrag der Herstellung.

Tabelle 10 Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG ab Werk pro m² Maueröffnung

| | | 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 |
| Fensterrahmen Holz, U=1.0 W/m ² K, Baumgartner | Total | m² Mauer- öffnung | 46'800 | 274 | 120 | 154 | 24.0 |
| | Herstellung | m ² Mauer- öffnung | 44'700 | 273 | 120 | 153 | 20.8 |
| | Entsorgung | m ² Mauer- öffnung | 2'110 | 1.09 | 0.02 | 1.08 | 3.21 |
| Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.0 W/m ² K, Baumgartner | Total | m² Mauer- öffnung | 59'300 | 327 | 119 | 209 | 36.3 |
| | Herstellung | m ² Mauer- öffnung | 55'500 | 326 | 119 | 208 | 29.7 |
| | Entsorgung | m ² Mauer- öffnung | 3'790 | 1.3 | 0.02 | 1.28 | 6.57 |

Tabelle 11 Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG ab Werk pro m² Rahmenfläche im Licht

| | | Bezug | Gesamtumweltbelastung | Primärenergie | | | Treibhausgasemissionen |
|---|--------------|--|-----------------------|---------------------|-------------------------|--|------------------------|
| | | | UBP | gesamt kWh Öl-eq | erneuerbar kWh Öl-eq | nicht erneuerbar (Graue Energie) kWh Öl-eq | kg CO ₂ -eq |
| Fensterrahmen Holz, U=1.0 W/m ² K, Baumgartner | Total | m² Rahmenfläche im Licht | 283'000 | 1'660 | 727 | 931 | 145 |
| | Herstellung | m ² Rahmenfläche im Licht | 270'000 | 1'650 | 727 | 925 | 125 |
| | Entsorgung | m ² Rahmenfläche im Licht | 12'700 | 6.59 | 0.09 | 6.50 | 19.4 |
| Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.0 W/m ² K, Baumgartner | Total | m² Rahmenfläche im Licht | 359'000 | 1'980 | 717 | 1'260 | 219 |
| | Herstellung | m ² Rahmenfläche im Licht | 336'000 | 1'970 | 717 | 1'260 | 180 |
| | Entsorgung | m ² Rahmenfläche im Licht | 22'900 | 7.84 | 0.13 | 7.71 | 39.7 |

5.3 Gesamtumweltbelastung

In Abbildung 2 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 Holzfensterrahmens beträgt 46'800 UBP pro m² Maueröffnung. Davon werden 28 % von den Beschlägen (19 % Zinkdruckguss, 9 % Stahl) und je 17 % vom Holz und vom Strom verursacht. Die Aluminiumprofile tragen 15 % zur Gesamtumweltbelastung bei. Die Anteile des Transports (4 %) und der Oberflächenbehandlung (2 %) sind gering. In den restlichen Aufwänden sind die Infrastruktur, die übrigen Materialien zur Herstellung (z.B. Dichtungen) und die Energieträger zur Wärmeproduktion zusammengefasst. Die restlichen Aufwände tragen 13 % zur Gesamtumweltbelastung bei. Die Entsorgung des Holz-Fensterrahmens verursacht 5 % der Gesamtumweltbelastung.

Die Gesamtumweltbelastung des Holz-Metall-Fensterrahmens beträgt 59'300 UBP pro m² Maueröffnung. Der Holz-Metall-Fensterrahmen weist damit eine um 27 % höhere Gesamtumweltbelastung auf als der Holz-Fensterrahmen. Hauptverantwortlich dafür ist die Aluminiumbeplankung des Rahmens, welche 23 % der Gesamtumweltbelastung verursacht. Die Beschläge sind für 23 % (15 % Zinkdruckguss, 8 % Stahl) und das Holz und der Stromverbrauch für je 13 % verantwortlich. Die Anteile des Transportes sind mit 3 % resp. 1 % gering. Die restlichen Aufwände verursachen 17 % und die Entsorgung 6 % der Gesamtumweltbelastung des Holz-Metall Fensterrahmens.

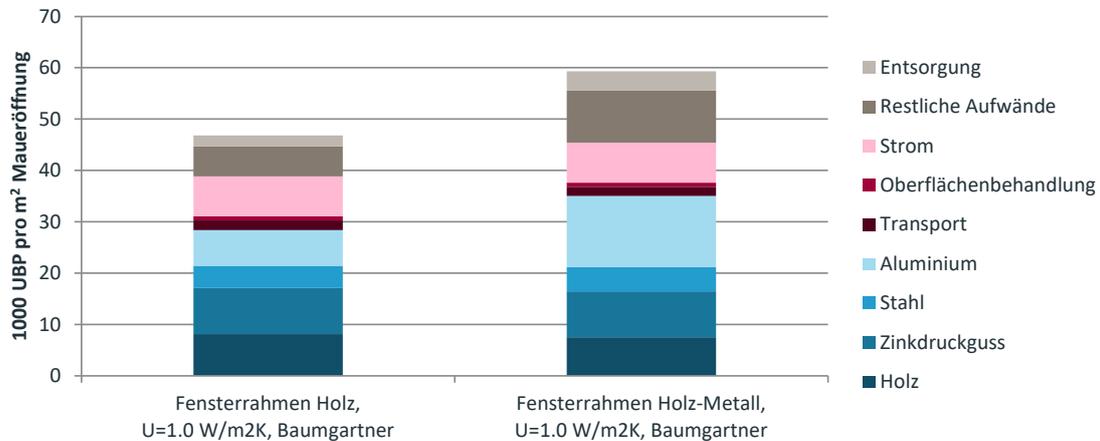


Abbildung 2 Gesamtumweltbelastung in UBP pro m² Maueröffnung der Herstellung und Entsorgung des Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmens der G. Baumgartner AG

5.4 Treibhausgasemissionen

Die Anteile der verschiedenen Materialien und Prozesse an den Treibhausgasemissionen des Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmens sind in Abbildung 3 dargestellt. Bei der Herstellung und der Entsorgung des Holz-Fensterrahmens werden 24 kg CO₂-eq. pro m² Maueröffnung verursacht. Hauptverantwortlich für die Treibhausgasemissionen sind die Aluminiumprofile (23 %), das Holz (16 %) und die Entsorgung (13 %) des Holz-Fensterrahmens. Die Beschläge tragen 13 % (9 % Stahl, 4 % Zinkdruckguss) und der Strom 10 % zu den Treibhausgasemissionen bei. Ähnlich wie bei der Gesamtumweltbelastung sind die Beiträge der Transporte (5 %) und der Oberflächenbehandlung (3 %) gering. Die restlichen Aufwände verursachen insgesamt 17 % der Treibhausgasemissionen des Holz-Fensterrahmens.

Die Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung des Holz-Metall-Fensterrahmens verursachen 36 kg CO₂-eq. pro m² Maueröffnung und sind damit 51 % höher als die Treibhausgasemissionen des Holz-Fensterrahmens. Wie bei der Gesamtumweltbelastung ist auch bei den Treibhausgasemissionen die Aluminiumbeplankung des Rahmens der Hauptgrund für die höheren Treibhausgasemissionen. Die Aluminiumbeplankung trägt 30 % zu den Treibhausgasemissionen bei. Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen der Aluminiumbeplankung sind auch die Treibhausgasemissionen der restlichen Aufwände beim Holz-Metall-Fensterrahmen höher als beim Holz-Fensterrahmen. Beim Holz-Metall Fensterrahmen wird mehr Dichtungsmaterial eingesetzt, was zu den höheren Treibhausgasemissionen führt. Die restlichen Aufwände verursachen insgesamt 22 % der Treibhausgasemissionen. Die Entsorgung ist für 18 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Das Holz und die Beschläge verursachen je ca. 10 % der Treibhausgasemissionen. Der Strom (7 %), der Transport (3 %) und die Oberflächenbehandlung (2 %) tragen geringfügig zu den Treibhausgasemissionen bei.

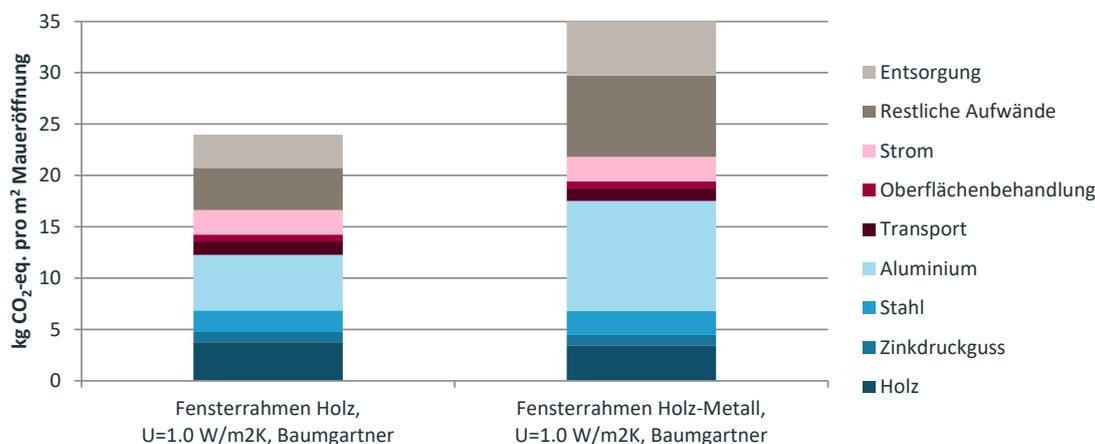


Abbildung 3 Treibhausgasemissionen in kg CO₂-eq pro m² Maueröffnung der Herstellung und Entsorgung des Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmens der G. Baumgartner AG

5.5 Vergleich mit Umweltkennwerten des Schweizer Marktmittes

In Tabelle 12 werden die Umweltkennwerte der Holz- und Holz-Metall Fensterrahmen der G. Baumgartner AG den Umweltkennwerten der Schweizer Marktmitte gegenüber gestellt. Die Umweltkennwerte der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen des Schweizer Marktes stammen aus Ramseier et al. (2020).

Die Holz- und Holz-Metall-Fenster der G. Baumgartner AG erfüllen zwar die gleiche deklarierte Einheit von 1 m² Maueröffnung. Jedoch ist beim Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG nur der Rahmen mit Aluminium beplankt während beim Schweizer Marktmitte Rahmen und Flügel beplankt sind. Der Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG kann daher nicht direkt mit dem Schweizer Marktmitte Fensterrahmen verglichen werden. Zudem weisen die Fenster unterschiedliche U-Werte auf. Die Fenster der G. Baumgartner AG weisen einen U-Wert von 1.0 W/m²K und diejenigen des Schweizer Marktmittes einen U-Wert von 1.2 W/m²K (Holz-Fensterrahmen) resp. 1.1 W/m²K (Holz-Metall-Fensterrahmen) auf.

Der Holz-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG weist eine um 17 % tiefere Gesamtumweltbelastung auf als der Holz-Fensterrahmen des Schweizer Marktes. Hauptverantwortlich dafür ist der Unterschied in der Gesamtumweltbelastung des Holzes, der Oberflächenbehandlung und des Transportes. Die Gründe dafür können in der verwendeten Bruttomenge an Holz und Materialien für die Oberflächenbehandlung oder auch in der verschiedenen Zusammensetzung der Holzbestandteile und Materialien für die Oberflächenbehandlung liegen. Die G. Baumgartner AG benötigt jedoch mehr Strom zur Fertigung der Fenster als der Schweizer Marktdurchschnitt.

Die Treibhausgasemissionen des Holz-Fensterrahmens der G. Baumgartner AG sind um 28 % tiefer als die des Schweizer Marktdurchschnitts. Die Gründe dafür liegen wie bei der Gesamtumweltbelastung auch, in den tieferen Treibhausgasemissionen des Holzes, der Oberflächenbehandlung und des Transportes.

Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des Holzfensterrahmens der G. Baumgartner AG ist 15 % und der erneuerbare Primärenergiebedarf 40 % tiefer als der nicht erneuerbare resp. erneuerbarer Primärenergiebedarf des Schweizer Marktdurchschnitts.

Tabelle 12 Vergleich Umweltkennwerte der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG und des Schweizer Marktmitxes aus der Studie Ramseier et al. (2020)

| | Bezug | Gesamtumweltbelastung | Primärenergie | | | Treibhausgasemissionen | | |
|---|---|-----------------------|------------------------|---------------|----------------------------------|------------------------|------------|-------------|
| | | | gesamt | erneuerbar | nicht erneuerbar (Graue Energie) | | | |
| | | UBP | kWh oil-eq | kWh oil-eq | kWh oil-eq | kg CO2-eq | | |
| G. Baumgartner AG | Fensterrahmen Holz, U=1.0 W/m2K, Baumgartner | Total | m2 Maueröffnung | 46'800 | 274 | 120 | 154 | 24.0 |
| | | Herstellung | m2 Maueröffnung | 44'700 | 273 | 120 | 153 | 20.8 |
| | | Entsorgung | m2 Maueröffnung | 2'110 | 1.09 | 0.02 | 1.08 | 3.21 |
| Marktmix Schweiz Ramseier et al. (2020) | Fensterrahmen Holz, U=1.2 W/m2K, Durchschnitt | Total | m2 Maueröffnung | 56'300 | 382 | 201 | 181 | 33.3 |
| | | Herstellung | m2 Maueröffnung | 52'600 | 380 | 201 | 179 | 27.9 |
| | | Entsorgung | m2 Maueröffnung | 3'680 | 1.48 | 0.02 | 1.46 | 5.40 |
| G. Baumgartner AG | Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.0 W/m2K, Baumgartner (Rahmen beplankt) | Total | m2 Maueröffnung | 59'300 | 327 | 119 | 209 | 36.3 |
| | | Herstellung | m2 Maueröffnung | 55'500 | 326 | 119 | 208 | 29.7 |
| | | Entsorgung | m2 Maueröffnung | 3'790 | 1.30 | 0.02 | 1.28 | 6.57 |
| Marktmix Schweiz Ramseier et al. (2020) | Fensterrahmen Holz-Metall, U=1.1 W/m2K, Durchschnitt (Rahmen und Flügel beplankt) | Total | m2 Maueröffnung | 92'900 | 503 | 188 | 314 | 62.8 |
| | | Herstellung | m2 Maueröffnung | 88'600 | 501 | 188 | 313 | 56.2 |
| | | Entsorgung | m2 Maueröffnung | 4'260 | 1.72 | 0.02 | 1.69 | 6.63 |

5.6 Datenqualität

Die vorliegende Ökobilanz beruht auf aktuellen und belastbaren Informationen, welche direkt von der G. Baumgartner AG stammen. Insbesondere die Materialisierungs- und Herstellungsaufwände für die Produktion der Holz- und Holz-Metall-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG konnten mit hoher Genauigkeit ermittelt werden. Die Ökobilanzdaten für die Kanteln stammen aus einer Studie von Ramseier et al. (2020) und werden als genügend beurteilt. Insgesamt wird die Datenqualität als gut eingestuft.

6 Folgerungen und Empfehlungen

Der Holz-Fensterrahmen der G. Baumgartner AG weist bei allen untersuchten Umweltkennwerten tiefere Umweltbelastungen auf als der Schweizer Marktdurchschnitt. Der Holz-Metall-Fensterrahmen kann nicht direkt mit dem Schweizer Marktdurchschnitt verglichen werden, da beim Fensterrahmen der G. Baumgartner AG nur der Rahmen beim Schweizer Marktdurchschnitt jedoch Rahmen und Flügel mit Aluminium beplankt sind.

Verglichen mit dem Schweizer Marktdurchschnitt fällt auf, dass die G. Baumgartner AG Verbesserungspotential beim Stromverbrauch aufweist. Wir empfehlen den Verarbeitungsprozess hinsichtlich der Stromeffizienz zu überprüfen und wo möglich zu verbessern. Zusätzlich ist es aus Umweltsicht empfehlenswert ein Stromprodukt aus erneuerbaren Energien zu beziehen. Zudem empfehlen wir, das Holz für die Fensterrahmen aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und von lokalen Anbietern zu beziehen.

Nebst den Verbesserungen in der Produktion empfehlen wir der G. Baumgartner AG eine umfassende Unternehmens-Treibhausgasbilanz gemäss den Richtlinien des Treibhausgas-Protokolls zu erstellen und basierend darauf Reduktionsziele für die Zukunft zu formulieren. Die Bilanz und Reduktionsziele könnten auch gemäss den Richtlinien der «Science based Targets»-Initiative³ erstellt und verbindlich eingereicht werden.

Wir empfehlen diese Ökobilanz zu publizieren.

.

³ <https://sciencebasedtargets.org/>

Literatur

- Eidgenössische Zollverwaltung EZV (2017) Aussenhandelsstatistik. Eidgenössische Zollverwaltung EZV, Bern, retrieved from: <https://www.swiss-impex.admin.ch/>.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischer 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 (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 (2016) 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.
- PRé Consultants (2019) SimaPro 9.0.0, Amersfoort, NL.
- Ramseier L., Stolz P. and Frischknecht R. (2020) Ökobilanz von Holzfenstern und Holztüren. treeze Ltd., Uster, CH. Im Auftrag des Bundesamts für Energie (energieSchweiz) und Lignum.
- 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.
- Werner F. (2017) Background report for the life cycle inventories of wood and wood based products for updates of ecoinvent 2.2. Werner Environment & Development, Zürich, CH.