

Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen

Synthese eines SZFF-EMPA Forschungsprojektes

[Tina Künniger](#), Empa
[Dr. Klaus Richter](#), ehemals EMPA

Die Studie wird vom [SZFF](#) vertrieben und ist nur in deutscher Sprache erhältlich.

Inhalt

Inhalt

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Hintergrund | 1 |
| 2 | Ziele, Randbedingungen, Abgrenzungen | 2 |
| 2.1 | Ziele | 2 |
| 2.2 | Funktionale Einheit..... | 2 |
| 2.3 | Systemgrenzen..... | 3 |
| 2.4 | Sachbilanz..... | 6 |
| 2.5 | Wirkungsbilanzierung | 6 |
| 3 | Ergebnisse | 8 |
| 4 | Erkenntnisse | 11 |
| 4.1 | Literatur | 12 |

1 Hintergrund

Mit Ökobilanzen lassen sich wichtige Kenndaten zu den durch ein Produkt über dessen gesamten Lebenszyklus ausgelösten Umweltbeeinflussungen ermitteln. Sie werden eingesetzt, um umweltwirksame Verbesserungen bei der Herstellung, Verwendung und Entsorgung zu erkennen respektive umzusetzen, und um unter funktionsgleichen Produkten das ökologisch verträglichste auszuwählen. Für die Durchführung von vergleichenden Ökobilanzen ist es sinnvoll, die derzeit im Rahmen der internationalen Normenvereinigung ISO diskutierten Vorgaben und Grundsätze zu beachten, um den Anforderungen bezüglich Transparenz, Vollständigkeit, Nachvollziehbarkeit und Konsistenz zu genügen.

In der Anfangsphase der Ökobilanzierung wurden Produkte aus dem Konsumbereich, insbesondere Verpackungsmaterialien, mit Abstand am meisten untersucht. Wegen der bedeutenden Umweltwirkungen, die von Bauprozessen und Bautätigkeiten ausgehen, werden seit einigen Jahren auch Baumaterialien und Bauprodukte in Ökobilanzen untersucht. Es ist dabei interessant, dass dem Fenster - und hier vor allen den Rahmenmaterialien - in Ökobilanzen von Bauprodukten eine erhöhte Beachtung zugekommen ist. Dies ist u.a. auf folgende Gründe zurückzuführen:

- zwischen den Rahmenmaterialien besteht gegenwärtig eine große Konkurrenz um Marktanteile
- die Zahl der konkurrierenden Hauptwerkstoffe ist mit Holz, PVC, Stahl und Aluminium überschaubar

- der für Ökobilanzen wichtige Grundsatz einer funktionellen Gleichheit der zu untersuchenden Produkte ist bei Fensterrahmen mehrheitlich gegeben
- gegen einzelne Rahmenwerkstoffe wurden ökologisch motivierte Materialverbote ausgesprochen

Es darf festgestellt werden, dass sich die Ende der achtziger Jahre sehr kontrovers diskutierte Frage des Materialeinsatzes beim Fensterbau in den letzten Jahren etwas versachlicht hat. Dazu haben auch die in den bisherigen Ökobilanzen aufgezeigten Erkenntnisse beigetragen (Richter 1996). Gleichwohl besteht ein weiterhin großer Bedarf nach Informationen über das Für und Wider einzelner Werkstoffe, um die Fragen der umweltgerechten Material- und Systemwahl zu versachlichen. Aus diesem Grund hat die Schweizerische Fachstelle für Fenster- und Fassadenbau (SZFF) die EMPA Dübendorf mit der Durchführung einer erweiterten und hinsichtlich der Beurteilungsgrundlagen aktualisierten Ökobilanz beauftragt (SZFF-EMPA 1996).

2 Ziele, Randbedingungen, Abgrenzungen

2.1 Ziele

Die Studie verfolgte die folgenden Ziele

- Erstellen von Sachbilanzen für sieben unterschiedliche Fensterkonstruktionen unter Berücksichtigung der in ISO TC 207 SC5 diskutierten methodischen Vorgaben
- Darstellung des Einflusses nicht eindeutig begründbarer Annahmen (z.B. Wiederverwertungsanteile, Einsatz-Lebensdauern) über Szenarienrechnungen
- Darstellen der ökologischen Wirkungen durch die Fensterkonstruktionen (Wirkungsbilanz)
- Aufzeigen von Ansatzpunkten für ökologische Verbesserungen

2.2 Funktionale Einheit

Als funktionale Einheit wurde festgelegt:

- Fenster mit 2 Flügeln (einfeldrig, d.h. ohne Sprossen und Kämpfer)
- Außenmaße 1650 mm x 1300 mm
- Flügelteilung je zur Hälfte
- Mittelpartie mit Stulp oder Setzholz
- Anschlag auf Leibung
- Ausführung mit Rahmen-Wetterschenkel
- Bilanzierung ohne Glas, aber mit Verglasungsmaterial

Alle bauphysikalischen und ausführungstechnischen Details wurden in Anlehnung an die Vorgaben in schweizerischen Normen und Richtlinien definiert (EMPA-SZFF, FFF-EMPA). Alle Fenster wurden im Rahmen des Projekts von den beteiligten Unternehmen im 1:1 Maßstab gefertigt, so dass der Material- und Herstellungsaufwand am fertigen Objekt erhoben und verifiziert werden konnte. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die untersuchten Konstruktionen und wichtige Kenngrößen:

Tabelle1: Untersuchte Konstruktionen, Rahmen k-Werte, Rahmenflächen und Rahmengewichte
Konstruktionen k Rahmen (MJ/m²/K) Fläche Rahmen (m²) Gewicht Fenster ohne Glas (kg)

| | | | |
|------------|------|------------|-------|
| Alu | 1.90 | 0.64 | 39.65 |
| Stahl | 1.80 | 0.70 | 75.10 |
| Edelstahl | 2.30 | 0.75 | 62.35 |
| Buntmetall | 2.50 | 0.78 | 91.30 |
| Holz-Alu | 1.50 | 0.96/0.51* | 31.65 |
| Holz | 1.60 | 0.92/0.49* | 26.43 |
| PVC | 1.50 | 0.89/0.49* | 43.73 |

* Nettoflächen bei Einbau auf Leibung

2.3 Systemgrenzen

Die Systemabgrenzung ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt:

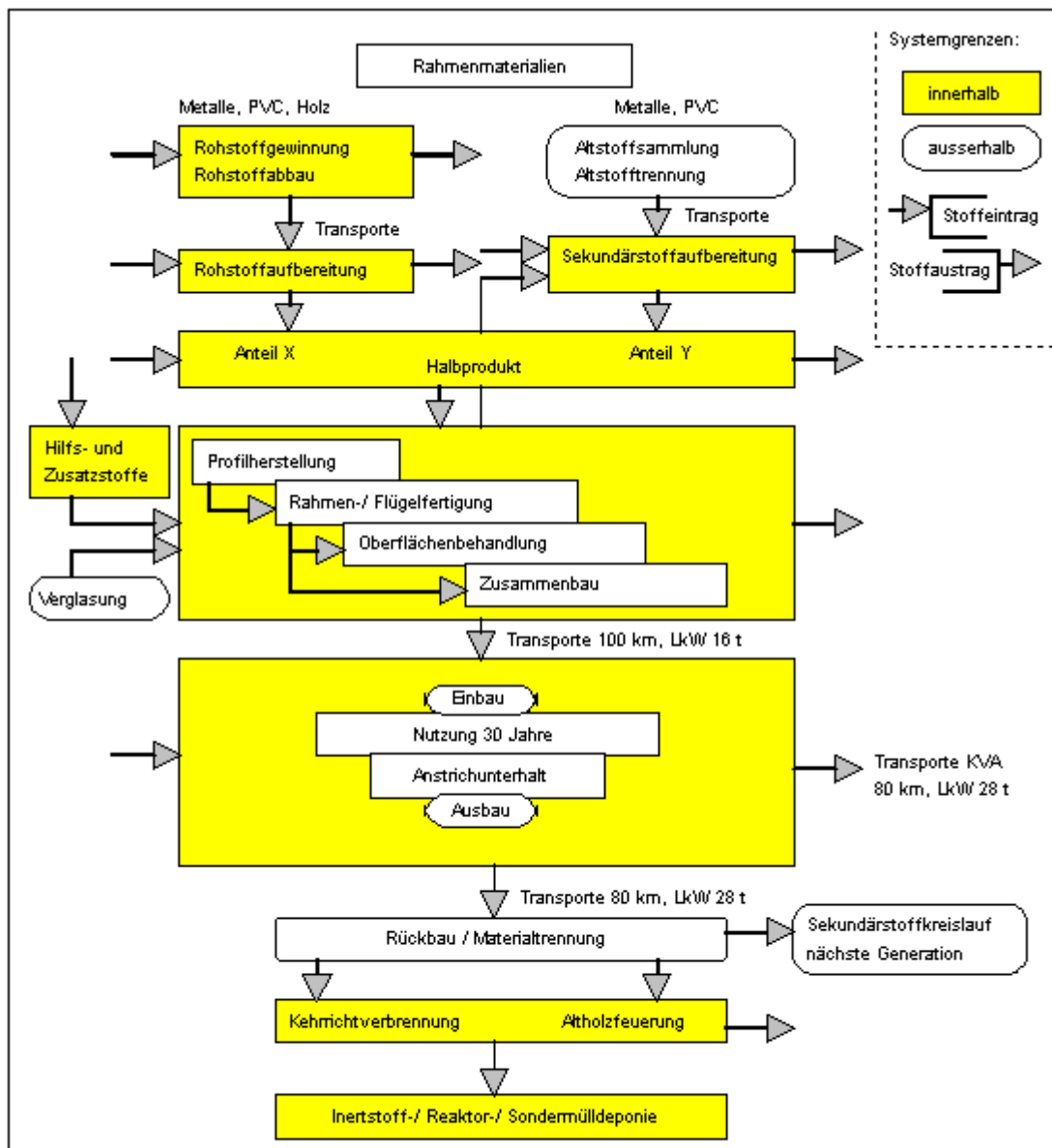


Abbildung 1: Systemgrenzen der Untersuchung

Die Studie untersucht den gesamten Lebensweg der Fenster. Die Umweltwirkungen der Hauptmaterialflüsse und aller eingesetzten Energieträger wurden von der Ressourcenentnahme erfasst und bis zum Rückbau der Fenster verfolgt, ebenso die bei der Fensterherstellung und den Unterhaltsarbeiten verwendeten Hilfs- und Kleinmaterialien. Die Bewertung der Energiebereitstellung erfolgte mit den von Frischknecht et al. (1994) publizierten Modulen, zu den wichtigen bei der Fensterfertigung eingesetzten Materialien und Prozessen wurden neue bzw. aktualisierte Module erstellt.

Wesentliche Festlegungen, die das Ergebnis der Untersuchung mitbestimmen, betreffen:

- Die aktuellen und zukünftigen Splits von Neu- und Altmaterial bei der Metall- und PVC-Profilherstellung. In den letzten Jahren sind insbesondere für Fensterrahmen aus PVC und Aluminium Bestrebungen angelaufen, die eine geschlossene Kreislaufführung (closed loop recycling) anstreben (Frei, AUF). Dies wurde in der Studie durch Untersuchung eines Ist- und Zukunftsszenarios berücksichtigt. Das Ist-Szenario geht von der derzeitigen durchschnittlichen Materialzusammensetzung aus, berücksichtigt aber am Ende des ersten Lebenszyklus die in Zukunft (mindestens 30 Jahre) theoretisch möglichen Rückführungsanteile in eine Wiederverwertung. Alle über Recycling wiederverwertbaren Materialanteile verlassen die Systemgrenze des Ist-Fensters, die Aufbereitungs- und Sammelaufwendungen werden dem nächsten Fenster belastet, das dann mit dem zukünftigen Materialsplit bewertet wird. Das Vorgehen ist am Beispiel des Aluminium Fensters in Abbildung 2 schematisiert dargestellt, Tabelle 2 gibt die eingesetzten Splits an. Bei den Holzprofilen ist ein werkstoffliches Recycling nicht möglich, der Rohstoff regeneriert sich natürlich im Wald. Es wird sowohl beim Ist- als auch beim Zukunftsszenarium von 100% Primärmaterial ausgegangen. Allerdings sind Entwicklungen im Bereich der Verwertung des Altholzes nach der Materialtrennung absehbar, die eine thermische Verwertung in speziell ausgerüsteten Altholzfeuerungen vorsehen, so dass der Heizwert des Holzes unter Berücksichtigung gewisser Wirkungsgradverluste gutgeschrieben werden kann. Im Zukunftsszenarium ist dies bei der Verwertung berücksichtigt (Tabelle 2).

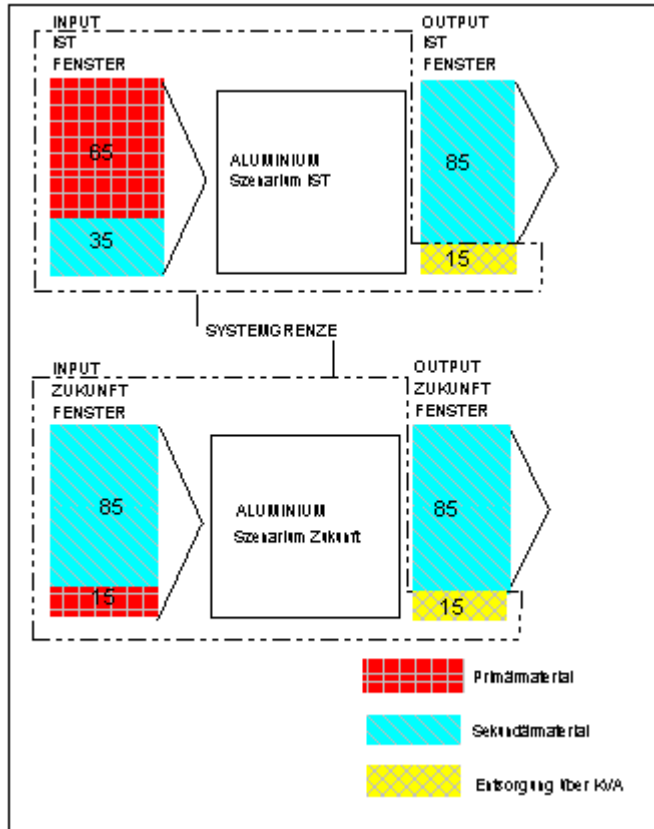


Abbildung 2: Systemgrenzen beim Ist- und Zukunftsszenario für Aluminium

Tabelle 2: Untersuchte Materialzusammensetzungen

| Rahmenmaterial | Input-ist | Rückführung Ende 1. LZ | Input-Zukunft | Rückführung Ende 2. LZ |
|----------------|----------------------------|---|----------------------------|------------------------------|
| Aluminium | 65% Primär 35% Sekundär | 85% 15% KVA | 15% Primär 85% Sekundär | wie Ende 1. LZ |
| Stahl | 60% Primär 40% Sekundär | 85% 15% KVA | 15% Primär 85% Sekundär | wie Ende 1. LZ |
| Edelstahl | 80% Primär 20% Sekundär | 90% 10% KVA | 10% Primär 90% Sekundär | wie Ende 1. LZ |
| Buntmetall | 10% Primär 90% Sekundär | 90% 10% KVA | 10% Primär 90% Sekundär | wie Ende 1. LZ |
| PVC | 98% Primär 2% Sekundär | 70% 30% KVA | 30% Primär 70% Sekundär | wie Ende 1. LZ |
| Holz | 100% Primär | 80% KVA 10% Altholzverbr. 10% Deponie | 100% Primär | 30% KVA 70% Altholzverbr. |

- Trotz gleicher Flächengrößen ist der Servicenutzen der Fenster material- und konstruktionsbedingt unterschiedlich. Dies betrifft insbesondere den k-Wert. Die umweltwirksamen Auswirkungen dieser Unterschiede wurden in der Studie beachtet,

indem die vom k-Wert der Rahmen abhängigen Heizenergieverluste durch die Rahmenflächen über die angenommene Mindestnutzungszeit von 30 Jahren ermittelt wurden. Als Bezugsgrösse wurden die Bruttoreahmenflächen aus den Konstruktionszeichnungen herangezogen, was die praxisübliche Einbauart der metallischen Rahmenmaterialien beschreibt. Die Rahmen aus PVC, Holz- und Holzmetall werden praxisüblich auf Leibung angeschlagen, so dass hier nur die Nettorahmenflächen für die Heizenergieverluste heranzuziehen sind. Um diese wichtigen Unterschiede zu berücksichtigen, wurden für die Konstruktionen Holz-Aluminium, Holz und PVC in Szenarien auch die Heizenergieverluste aufgrund der Nettorahmenflächen berechnet. Da dadurch aber die Längen- und Breitenmasse der Fenster geringfügig erhöht werden müssen, um das Wandloch von 1650 mm x 1300 mm auszufüllen, wurden die entsprechenden Materialmengen der Sachbilanzen der Fenster für dieses Szenarium um 5% erhöht. In der Ökobilanz wurden dann die Umweltwirkungen ermittelt, die durch die Deckung der Heizenergieverluste über eine Erdgas LowNox-Feuerung entstehen.

- Die Unterhaltsaufwendungen zur Gewährleistung einer guten technischen Funktionserfüllung über die Nutzungszeit bei den betroffenen Materialien. Diese betreffen insbesondere das Holzfenster, für das Anstricherneuerungen der Innen- und Aussenflächen nach einem mit den Erfahrungen der EMPA übereinstimmenden Zyklus berücksichtigt wurden. Auch für das Stahlfenster wurden in einem Szenarium die Auswirkungen von Anstrichausbesserungen im Falle von Korrosion ermittelt. Ein Ersatz von Dichtungen und Beschlägen wurde einheitlich nicht betrachtet.

Als weitere Einflussgrössen wurden in den Szenarien untersucht:

- k-Wert Spannweiten (thermisch optimiert/Durchschnitt)
- Auswirkungen verschiedener Oberflächenbehandlungen (Chromatierung/Anodisierung, Lasur/Decklack)
- Länderspezifische Unterschiede (Stromproduktion Schweiz/Deutschland)

2.4 Sachbilanz

Die Ermittlung der Herstellangaben basiert auf einer angenommenen Auftragsgrösse von 20 Fenstern, d.h. alle Verschnitts- und Aufwandermittlungen orientieren sich an diesen Bedingungen. Die Ermittlungsgenauigkeit innerhalb der teilnehmenden Betriebe war unterschiedlich. Bei einigen Betrieben wurden detaillierte Energieerfassungen und Stoffflussberechnungen gemacht, andere haben Durchschnittswerte aus Jahresstatistiken als Grundlage herangezogen. Die Kernangaben zu den Massen- und Energieverbräuchen und herstellungsbedingten Emissionen wurden dann über die Software EMIS (Carbotech 1995) mit den vor- und nachgelagerten Prozessen verknüpft und bewertet.

Nicht durch Daten belegt ist der Montageaufwand beim Fenstereinbau und Rückbau sowie die Zerlegung beim Altstoffhändler. Auch die Verglasung bleibt außerhalb der Systemgrenzen, weil Ökobilanzdaten für Wärmeschutzgläser in einer parallel laufenden Studie erhoben worden sind.

2.5 Wirkungsbilanzierung

Die ökologische Gewichtung der Stoff- und Energieflüsse wurde im Rahmen der Bilanzbewertung über die von (Heijungs et al. 1992) vorgeschlagene wirkungsorientierte Klassifizierung und eine Erfassung des Primärenergieverbrauches bzw. der Deponiemassen durchgeführt.

Der prinzipielle Ansatz der Wirkungsabschätzung ist folgender: Für eine beschränkte Anzahl von Umwelteffekten (Treibhauseffekt, Sommersmog, Versäuerung etc.) werden sogenannte Leitsubstanzen definiert (CO₂, SO₂, Phosphat, Ethylen). Andere Stoffe, von denen eine Wirkung auf denselben Umwelteffekt bekannt ist, werden in Abhängigkeit ihrer potentiellen schädigenden Wirkung auf diese Leitsubstanzen bezogen. Daraus resultieren die Indizes für die jeweilige Gesamtumweltbelastung. Diese Modellbetrachtung strebt somit an, die ökologischen Folgen der in der Sachbilanz ermittelten Stoffe zu parameterisieren, indem den Stoffen jeweils eine definierte ökologische Folgewirkung zugeordnet wird. So können zum Beispiel ozonabbauende Stoffe über ihr Ozonabbaupotential, Treibhausgase über ihr Treibhauspotential aggregiert werden. Es muss hierbei allerdings unterstrichen werden, dass nicht alle der so errechenbaren Wirkungsbeiträge unter Fachleuten akzeptiert sind. In Tabelle 3 ist neben den in der Studie ausgewiesenen Wirkungskategorien eine Beurteilung der derzeitigen Akzeptanz der Methode nach Braunschweig (1996) angegeben. Die Zusammenstellung zeigt, dass insbesondere die Modelle zu den Ursache-Wirkungs Mechanismen der Potentiale Öko- und Humantoxizität umstritten und nur als vorläufiger Ansatz zu betrachten sind.

Tabelle 3: In der Studie ausgewiesene Bewertungsgrößen und Methodenbewertung

| Umweltwirkung | Erfassung als | Einheit | Beurteilung der Bewertungsmethodik nach Braunschweig |
|---|--|--|--|
| Verstärkung des Treibhauseffekts | Treibhauspotential (GWP)* | kg CO ₂ - Äquivalent | 1) |
| Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre | Ozonabbaupotential (ODP)* | kg CFC13- (CFC-11)- Äquivalent | 1) |
| Versäuerung | Versäuerungspotential (AP)* | kg SO ₂ - Äquivalent | 2) |
| Photosmog in der erdnahen Luftschicht | Photochemisches Ozonbildungspotential (POP)* | kg C ₂ H ₄ - (Ethylen)- Äquivalent | 2) |
| Überdüngung von Böden und Gewässern | Eutrophierungspotential (EP)* | kg PO ₄ - Äquivalent | 2) |
| Gefährdung der menschlichen Gesundheit | Potential Humantoxizität*, Klassifikationsfaktoren für Luft, Wasser, Boden | kg kritisch belastetes Körpergewicht | 3) |
| Schädigung von Ökosystemen | Potential Ökotoxizität Wasser* | m ³ kritisch belastetes Wasser | 3) |
| Verbrauch an Energieträgern | Primärenergieinhalt** | MJ | |
| Inanspruchnahme von Deponien | Inertstoffdeponie*** Reaktordeponie*** Sonderabfalldéponie*** | kg | |

* wirkungsorientierte Bewertung nach (Heijungs et al. 1992)

** alle eingesetzten Energieträger und Energieformen werden auf Primärenergie

zurückgerechnet

*** nach den in der Schweizerischen Abfallverordnung (TVA) vorgegebenen Abfallkategorien

- 1) naturwissenschaftlich abgestützte Aggregationsmethodik vorhanden
- 2) naturwissenschaftliche abgestützte Aggregationsmethodik vorhanden, aber überarbeitungsbedürftig
- 3) naturwissenschaftliche abgestützte Aggregationsmethodik noch nicht entwickelt

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind im Schlussbericht für die einzelnen Konstruktionen und deren Szenarien getrennt in graphischer als auch in Tabellenform dargestellt. Insgesamt wurden 32 Szenarien definiert und anhand der elf Bewertungskategorien ökologisch bewertet. Die vorgenommene Aufteilung der Prozessschritte erlaubt die gezielte Ansprache der folgenden Komponenten:

- Rahmenmaterial
- Dichtungsmaterial
- Beschläge
- Herstellung der Fensters
- Oberflächenbehandlung des Fensters
- Nutzung
- Unterhalt
- Rückbau
- Transporte

Die Studie belegt, dass die weitaus größte Zahl der Umweltwirkungen maßgeblich durch die Kompensation der Wärmeverluste während der Nutzungszeit sowie die - bedingt durch den großen massenmässigen Anteil - konstruktiven Rahmenmaterialien verursacht sind. Die Bereitstellung der Heizenergie wirkt sich vor allem auf das Treibhauspotential, den Gesamtverbrauch an Primärenergie und die Abfallmenge zur Inertstoffdeponie aus. Am Beispiel der Szenarien zu den Ist- (Alu/Holz/PVC10) bzw. den Zukunfts-Materialzusammensetzungen (Alu12/Holz/PVC11) der Aluminium, Holz und PVC Fenster wird deutlich, dass die Unterschiede im Rahmenmaterial durch die Heizenergieverluste überdeckt werden, die bei einer 30-jährigen Nutzungszeit mehr als 75% der Treibhauswirkungen verursachen (Abb. 3).

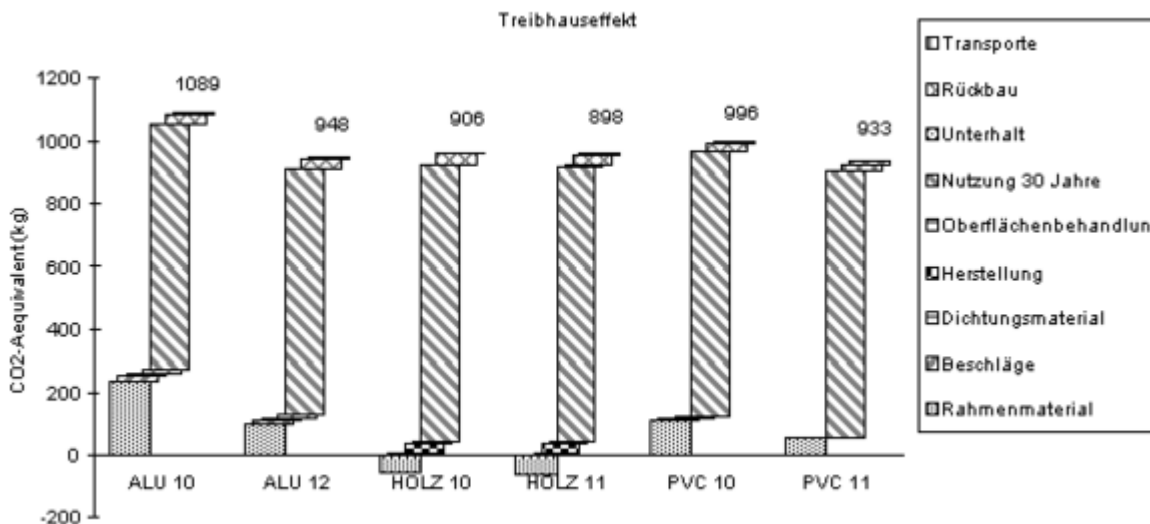


Abbildung 3: Treibhauspotentiale der Ist- und Zukunfts-Szenarien der Aluminium, Holz und PVC Fenster

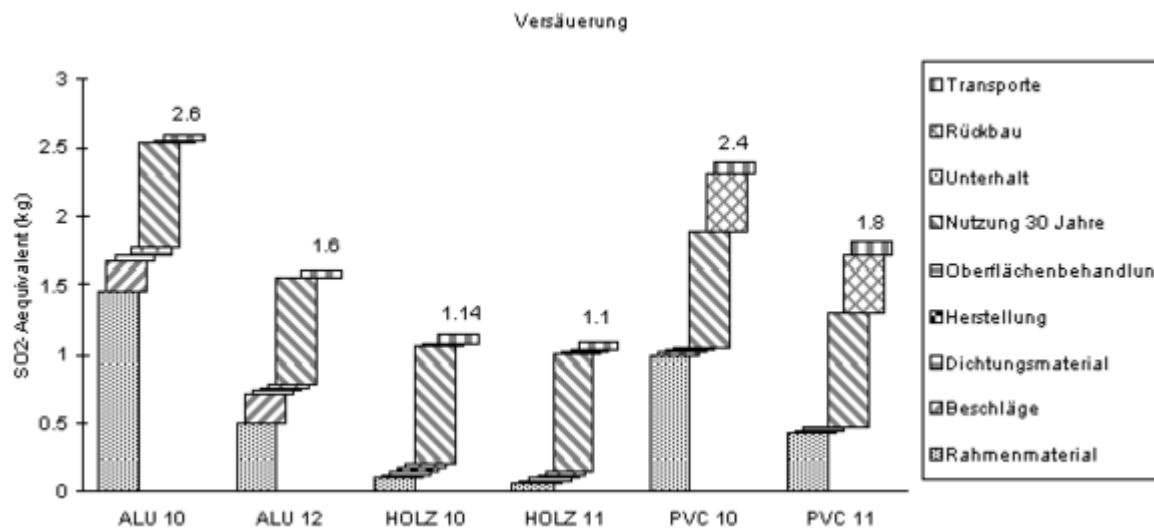


Abbildung 4: Versäuerungspotentiale der Ist- und Zukunfts-Szenarien der Aluminium, Holz und PVC Fenster

Bei anderen Wirkungskategorien, z.B. der Versäuerung, der Human- und Ökotoxizität und den Massen zur Reaktor- und Sondermülldeponie, sinken die Anteile der durch Heizenergie verursachten Umweltwirkungen, so dass hier die konstruktionsbedingten Unterschiede mehr zur Geltung kommen. Als Beispiel sind in Abbildung 4 die Versäuerungspotentiale wiederum der Ist- und Zukunftsvarianten des Aluminium, Holz und PVC Fensters dargestellt. Bei den Ist-Szenarien von Aluminium 10 und PVC 10 sind durch die Rahmen- und Beschlagsmaterialien rund zwei Drittel des Versauerungseffektes ausgelöst, während beim Holzfenster die Beiträge der konstruktiven Materialien gering sind. Deutlich sichtbar werden bei Aluminium 12 und PVC 11 die durch eine optimale Materialrückführung bei den Rahmenwerkstoffen erreichbaren Verbesserungen im Versäuerungspotential, während beim Holzfenster die schon beim Ist-Szenario geringen Versäuerungswerte nur unwesentlich besser werden, ausgelöst durch die Materialrückführung bei der Regenschiene aus Aluminium (Abb. 4).

Die im Bericht dargestellten Ergebnisse erlauben den Betrieben, über eine Detailbetrachtung die Ursachen einzelner Wirkungen anzusprechen. So ist z.B. die Versäuerungswirkung aus den Beschlägen des Aluminium-Fensters auf ein Bauteil aus Messing zurückzuführen, für dessen Bereitstellung in der Vorkette hohe Versäuerungsanteile bilanziert sind. In gleicher Weise lassen sich hohe Versäuerungsanteile des Edelstahl Fensters begründen, die durch die Vorkette der Legierungselemente Chrom und Nickel verursacht sind (Abb. 6). Bei den Holzfenstern wurden hohe Humantoxizitäten errechnet, die durch die Emissionen aus der Hackschnitzelheizung verursacht sind. Alle Farbanstriche wirken sich durch einen hohen Eintrag in die Sondermülldeponie aus, bedingt durch die Bereitstellung der Farben und die Entsorgung der anfallenden Produktionsreste (Abb. 7). In ähnlicher Weise lassen sich die Beziehungen zwischen allen Bauteilkomponenten und deren Umweltwirkungen ansprechen und auf Verbesserungspotentiale prüfen.

Um bestehende Unterschiede zwischen den Materialgruppen darzustellen, werden im zweiten Teil der Studie die jeweils höchsten und tiefsten Wirkungspotentiale der Konstruktionsvarianten herausgegriffen und in graphischer Form für alle Materialgruppen als Spannweiten dargestellt. Wiederum als Beispiele sind das Treibhauspotential (Abb. 5), das Potential zur Versäuerung

(Abb. 6) die photochemische Ozonbildung (Abb. 7) und die auf die Sonderabfalldeponie abzulagernden Massen (Abb. 8) herausgegriffen und dargestellt.

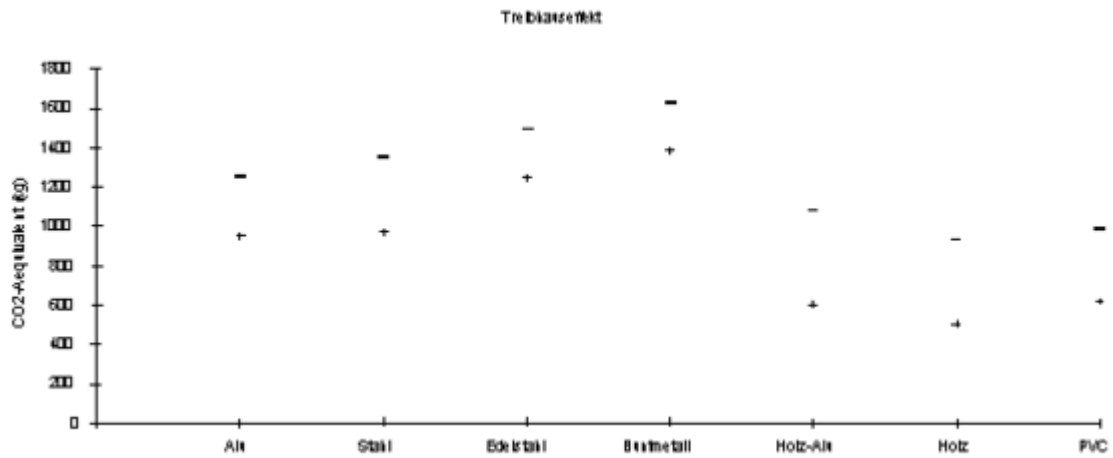


Abbildung 5: Extremwerte zum Treibhauspotential

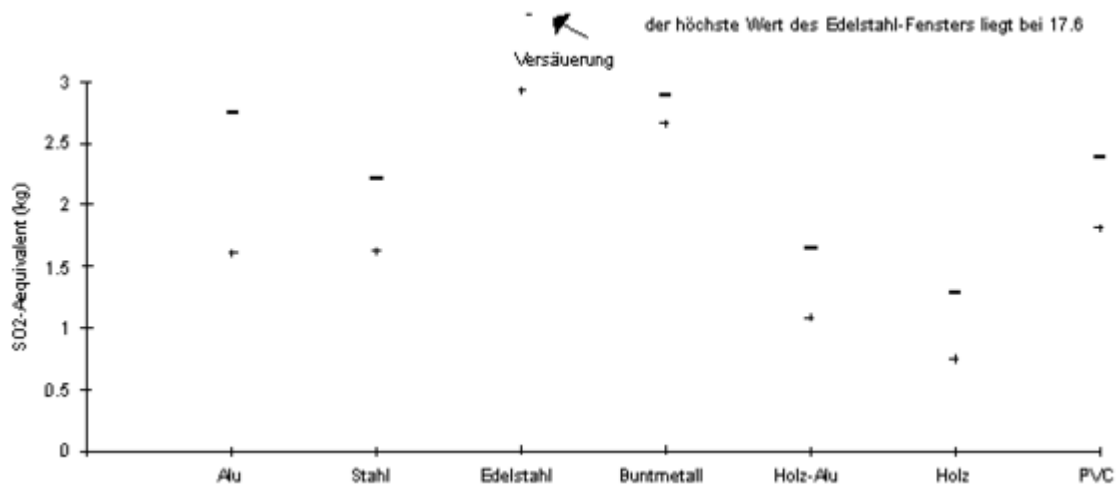


Abbildung 6: Extremwerte zum Versäuerungspotential

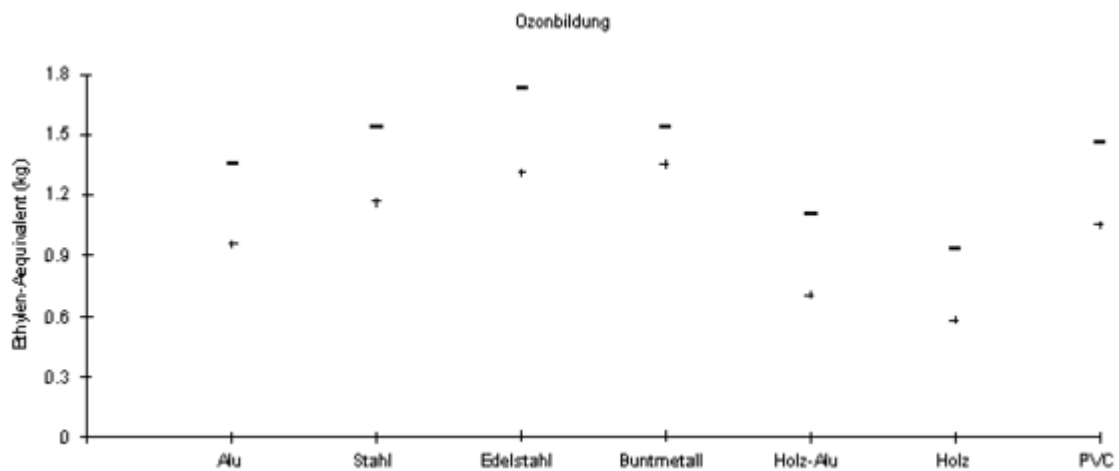


Abbildung 7: Extremwerte zum Ozonbildungspotential

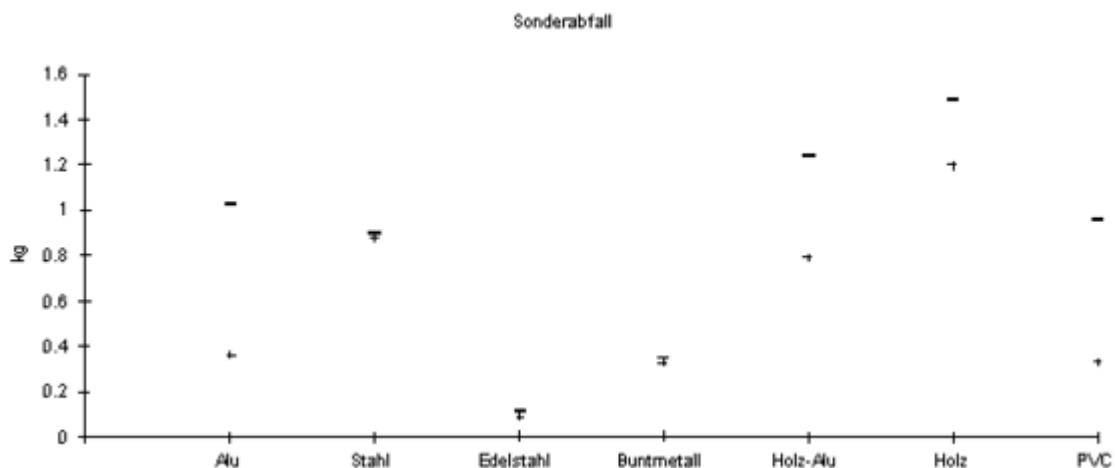


Abbildung 8: Extremwerte zur Sondermülldeponie

4 Erkenntnisse

Die vorliegende Studie untersucht die ökologischen Auswirkungen für sieben in der Schweiz hergestellte Fensterkonstruktionen über alle relevanten Lebensphasen. Bei der Betrachtung der Resultate und deren Diskussion muss beachtet werden, dass die abgeleiteten Zahlenwerte zunächst nur für die zugrundeliegenden Sachbilanzen und die festgelegten Annahmen zutreffen. Insbesondere die Szenarien, durch die zukünftige Entwicklungstrends abgebildet werden, sind vor diesem Hintergrund zu bewerten. Die nachfolgenden Aussagen setzen somit voraus, dass die angenommenen Ziele innerhalb der nächsten Fenstergeneration erreicht werden können. Sollten insbesondere die Bestrebungen der geschlossenen Kreislaufführung bei den Metallen sowie bei PVC aus logistischen oder finanziellen Gründen nicht oder nur unzureichend umgesetzt werden, sind wichtige Schlussfolgerungen aus der Studie hinfällig.

Weiter muss unterstrichen werden, dass einzelne der verwendeten Module nur Teilaspekte der Umweltwirkungen abdecken und hier zukünftige Verbesserungen notwendig sind. Insbesondere fehlen zu spezifischen Aufbereitungsschritten bei Recyclingprozessen (Sekundärschmelzen im Zweikammersystem bei Aluminium) noch Emissionsdaten.

Außerhalb der Systemgrenzen liegen zudem alle Aspekte, die mit dem Risiko von außergewöhnlichen Unfällen oder Störfällen verbunden sind. Öltanker-, Pipeline-, Kraftwerk- oder Chemieunfälle sind aber nie vollständig auszuschließen, so dass zusätzlich zu der Ökobilanz Risikoanalysen erstellt werden müssten. Es liegt aber auf der Hand, dass die in dieser Studie betrachteten Herstellungsketten der Rahmenmaterialien Holz, Stahl, Aluminium und PVC mit in dieser Reihenfolge steigenden Risikopotentialen behaftet sind. Auch die Folgen eines möglichen Brandfalls während der Nutzungsphase und daraus ableitbare Umweltschäden sind in der Studie nicht bewertet.

Ohne auf die einzelnen Materialvarianten einzugehen, können die folgenden generellen Aussagen festgehalten werden.

- Die weitaus größte Zahl der Umweltwirkungen wird massgeblich durch die Kompensation der Wärmeverluste während der Nutzungszeit sowie die - bedingt durch den großen massenmässigen Anteil - konstruktiven Rahmenmaterialien verursacht. Die Bereitstellung der Heizenergie wirkt sich vor allem auf den Treibhauseffekt, den Gesamtverbrauch an Primärenergie und die Volumenmasse zur Inertstoffdeponie aus.

Damit bestätigen die Ergebnisse die auch in anderen Energie- und Umweltstudien gemachten Erkenntnisse, dass die Umweltprobleme durch direkte Energieverluste in vielen Wirkungen die material- und bauteilspezifischen Belastungen übersteigen. Daraus muss für die Fenster ein Trend hin zum k-Wert-optimierten Rahmen bei gleichzeitig schlanken Profilen abgeleitet werden.

- Auch die im Fenster eingesetzten Massen spiegeln sich in vielen Bewertungsfaktoren wieder. Leichte Konstruktionen verursachen weniger Transport und Umweltlasten als schwere. Die Laufmetergewichte sollten minimiert werden.
- Deutlich kann abgesehen werden, dass die Szenarien mit den maximal möglichen Rückführungs- und Wiederverwertungsanteilen erwartungsgemäß die geringsten Umwelteinwirkungen ergeben (bei allen Metallen und PVC). Gemessen an den hiermit erzielbaren Veränderungen (bezogen auf die bauteilspezifischen Komponenten) treten die anderen Szenarien in den Hintergrund. Daraus ist zu folgern, dass die Bestrebungen zu geschlossenen Recyclingkreisläufen bei allen Rahmenmaterialien mit Nachdruck umgesetzt werden müssen. Nur dann erreichen Fenster aus Metallen und PVC ein vergleichbares Ökoprofil wie Fenster aus einheimischem Nadelholz. Erste materialspezifische Initiativen hierzu wurden vorgestellt und müssen umgesetzt werden. Auch materialübergreifende Bemühungen um eine möglichst vollständige Erfassung von Altmaterial aus dem Fenster und Fassadenbereich zur Überführung in die sachgerechten Verwertungsschienen sind vorgestellt (SZFF, FFF, EMPA 1995).
- Bei der Beurteilung der Deponievolumen muss berücksichtigt werden, dass sie stark durch den in den Randbedingungen dargestellten zukunftsorientierten Bewertungsansatz (alle Metalle und das PVC gehen zum optimalen Wiederverwertungsansatz in den nächsten Produktzyklus über) beeinflusst sind. Würde keine Wiederverwertung auf gleicher Funktionsstufe erfolgen, müssten die entsprechenden Fenster Anteile des Downcyclings tragen.
- Die Ergebnisse zeigen zudem, dass es keinen Werkstoff bzw. keine Konstruktion gibt, die in allen untersuchten Effekten deutliche Vorteile und auch deutliche Defizite aufweist. Damit kann, unter den Randbedingungen der Studie, abgeleitet werden, dass Materialboykotte und Anwendungsverbote keine sachlich begründbare Legitimierung haben.
- Die in den Szenarien dargestellten, für sich statisch betrachteten Veränderungen lassen sich in der Praxis kombinieren, so dass durch geschickte Umsetzung der Möglichkeiten für jede der untersuchten Fensterkonstruktionen noch günstigere ökologische Gesamtbewertungen erzielbar sind.

4.1 Literatur

- Braunschweig A 1996. Wirkungskategorien/ Synopse. Stand der Diskussion zur Systematik und Aggregationsmethodik. Thesenpapier 10.6.96
- Carbotech AG 1995. Environmental Management und Information System (Benutzerhandbuch)
- Frischknecht R., Hofstetter P., Knöpfel I. et al. 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Schlussbericht BEW/NEFF Forschungsprojekt 'Umweltbelastung der End- und Nutzenergiebereitstellung, 1. Auflage
- Heijungs R., Guinée J.B. et al 1992. Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide and Background. Centrum for Milieukunde, Leiden
- Richter K. 1996. Vergleichende Ökobilanz für Fenster. Bundesbaublatt 3, 220- 223
- SZFF/FFF/EMPA 1995 Entsorgung und Wiederverwertung von Fenster-, Türen- und Fassadenbau-Materialien. Merkblatt 1995.

- SZFF/EMPA 1996. Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, 187 S.