

Studie

**FENSTER -
WERKSTOFFE**

**EINE ÖKOLOGISCHE
BEWERTUNG**

GREENPEACE

Dipl. - Ing. Herwig Schuster

Wien, im März 1998

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	1
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	2
TABELLENVERZEICHNIS	2
KURZFASSUNG/HEADLINES	3
AUFGABENSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	4
DATENGRUNDLAGE	5
METHODIK DIESER ARBEIT	7
Die Methode der Kritischen Volumina und ihre Auswertung	7
SETAC-Methode	8
BASISDATEN UND ERGEBNISSE	8
Auswertung der FICU-Studie <1> (Variante 1: Methode der Kritischen Volumina)	9
Auswertung der FICU-Studie < 1 > (Variante 2: SETAC)	13
Auswertung der EMPA-Studie < 2 > „Rahmenwerkstoffe (ohne Verglasung)“	19
Variante A: Vergleich der Ist-Werte bei einheitlicher, praxisunüblicher Einbauart (Bruttorahmenfläche)	21
Variante B: Vergleich des Ist-Zustandes bei praxisüblicher Einbauart	23
Variantenvergleich - Sonstige wichtige Punkte beim Kauf eines Fensters	27
k-Wert	27
Rahmenbreite	28
Fenstersprossen	28
Holzbehandlungsmittel	29
Alu-Oberflächenbeschichtung	29
Auswertung der EMPA-Kurzstudie „Rahmenwerkstoffe und Verglasung“ < 4 > unter spezieller Berücksichtigung der Studie „Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern“ < 3 >	29
SONSTIGE UMWELTGEFAHREN, DIE VON ÖKOBILANZEN NICHT ERFAßT WERDEN	34
RESÜMEE	35

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABB. 1: VERGLEICH D. WERKSTOFFE BEI DEN EINZELNEN FAKTOREN FÜR DIE KRIT. VOL. NACH < 1 >	10
ABB. 2: PROZENTSUMMEN (KRITISCHE VOLUMINA) NACH < 1 >	10
ABB. 3: PROZENTSUMMEN NACH < 1 > (SETAC)	16
ABB. 4: BELASTUNGSKLASSEN NACH < 1 >	18
ABB. 5: PROZENTSUMMEN NACH < 2 > (PRAXISUNÜBL. EINBAUART)	23
ABB. 6: PROZENTSUMMEN NACH < 2 > (PRAXISÜBL. EINBAUART)	25
ABB. 7: BELASTUNGSKLASSEN NACH < 2 > (PRAXISÜBL. EINBAUART)	27
ABB. 8: GEGENÜBERSTELLUNG DER VERSCHIEDENEN K-WERTE NACH < 4 >	31
ABB. 9: PROZENTSUMMEN NACH < 4 >	32
ABB. 10: AUSWIRKUNG DES GLAS-K-WERTES AUF DEN TREIBHAUSEFFEKT NACH < 4 >	32

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: BASISDATEN UND RELATIVE UMWELTBELASTUNGEN (KRITISCHE VOLUMINA) NACH < 1 >	9
TABELLE 2: IN < 1 > BETRACHTETE UMWELTWIRKUNGEN	13
TABELLE 3: BASISDATEN NACH < 1 > (SETAC-METHODE)	14
TABELLE 4: RELATIVE UMWELTEINWIRKUNGEN NACH < 1 > (SETAC-METHODE)	15
TABELLE 5: ZUSAMMENGEFAßTE RELATIVE UMWELTEINWIRKUNGEN NACH < 1 > (SETAC)	15
TABELLE 6: RELATIVE UMWELTEINWIRKUNGEN DER IST-ZUSTÄNDE NACH < 1 > (SETAC)	17
TABELLE 7: ANZAHL BESTER/SCHLECHTESTER WERKSTOFF NACH < 1 >	17
TABELLE 8: BELASTUNGSKLASSEN NACH < 1 >	18
TABELLE 9: UMWELTEINWIRKUNGEN NACH < 2 >	21
TABELLE 10: BASISDATEN NACH < 2 > (IST-WERTE ABSOLUT; PRAXISUNÜBL. EINBAUART)	22
TABELLE 11: GEWICHTETE UMWELTEINWIRKUNGEN NACH < 2 > (IST-WERTE)	22
TABELLE 12: BASISDATEN NACH < 2 > (PRAXISÜBL. EINBAUART)	24
TABELLE 13: GEWICHTETE UMWELTEINWIRKUNGEN NACH < 2 > (PRAXISÜBL. EINBAUART)	24
TABELLE 14: BESTE/SCHLECHTESTE-ZÄHLUNG NACH < 2 > (PRAXISÜBL. EINBAUART)	26
TABELLE 15: BELASTUNGSKLASSEN NACH < 2 > (PRAXISÜBL. EINBAUART)	26
TABELLE 16: VERGLEICH ZWEIER K-WERT-VARIANTEN NACH < 2 >	28
TABELLE 17: BASISDATEN UND RELATIVE UMWELTEINWIRKUNGEN NACH < 4 > (HÖHERER K-WERT)	30
TABELLE 18: BASISDATEN UND REL. UMWELTEINWIRKUNGEN NACH < 4 > (NIEDRIGERER K-WERT)	31

KURZFASSUNG/HEADLINES

- Allen zitierten Studien ist gemeinsam, daß sie in **Zusammenarbeit mit Fensterherstellern** bzw. deren Fachverbänden erstellt wurden.

• Unabhängig von allen gewählten Randbedingungen hat sich **Holz** als das eindeutig **umweltverträglichste** Rahmenmaterial erwiesen.

- Auch eine Erhöhung des Recyclinganteils von derzeit 35-40 auf 85 % bei Aluminium bzw. von 2 auf 70 % bei PVC würde nichts an der ökologischen Überlegenheit des Holzfensters ändern.
- Holz ist je nach ausgewerteter Studie bei 18 von 19 bzw. bei 9 von 11 Umwelteinwirkungen der umweltverträglichste Werkstoff.

• Bei praxisüblicher Einbauart ist nicht nur das Holz- sondern auch das **Holz-Alu-Fenster** dem PVC-Fenster ökologisch deutlich überlegen.

- Für **Sonderfälle**, in denen die regelmäßige Wartung des Holzfensters nicht möglich ist, ist das Holz-Alu-Fenster die umweltschonendste Alternative.

• Das neben der Rahmenwerkstoffauswahl mit Abstand wichtigste ökologische Kriterium beim Fensterkauf ist die **Wärmeisolierung**. Eine schlechte Wärmeisolierung kann eine Entscheidung für einen ökologischeren Rahmenwerkstoff ad absurdum führen.

- Vor allem bei der Umweltwirkung „**Treibhauseffekt**“ bringt eine **Verbesserung** der Wärmeisolierung eine Reduktion um **mehr als 20 %**.
- Beim Fensterkauf ist in bezug auf die Isolationswirkung unbedingt auf den sogenannten k-Wert zu achten. Für südseitig gelegene Fenster ist derzeit ein k-Wert von ca. 1,1 als ökologisch optimal anzusehen. Noch besser isolierte Fenster sind aber jedenfalls bei geringer bis gar keiner Sonneneinstrahlung aus ökologischer Sicht zu empfehlen.
- Werden auch die **Umweltgefahren** durch außergewöhnliche Vorfälle (Unfälle) berücksichtigt, wird die Überlegenheit der Werkstoffe Holz und (für Sonderfälle) Holz-Alu als Fensterwerkstoff noch eindeutiger.

AUFGABENSTELLUNG und ZIELSETZUNG

In den letzten Monaten wurden von zwei Instituten unabhängig voneinander vergleichende Studien zu verschiedenen Fensterrahmenwerkstoffen durchgeführt. Allen unten angeführten Fensterrahmenstudien ist jedoch gemeinsam, daß sie aus politischen Gründen auf eine Bewertung bzw. ein Ranking der einzelnen Werkstoffe verzichten und nur die einzelnen Umwelteinwirkungen der Rahmenwerkstoffe miteinander vergleichen.

Mit anderen Worten und anhand eines Beispiels ausgedrückt heißt das: der Leser der Studien erkennt, daß ein bestimmter Werkstoff in bezug auf eine Umweltwirkung (z.B. Ozonbildung) besser ist als ein anderer. Welcher Werkstoff aber in Summe in bezug auf alle untersuchten Umwelteinwirkungen am günstigsten abschneidet, kann aus den Studien nicht ohne weiterer Berechnungen herausgelesen werden.

Dies soll nun diese Arbeit in einem vergleichenden und bewertenden Überblick ermöglichen. Auch in dieser Arbeit wurde bewußt von einer Gewichtung der einzelnen Umwelteinwirkungen Abstand genommen. Es ist eine Sache der politischen Diskussion, ob z.B. der Treibhauseffekt wichtiger als der Anfall von gefährlichen Abfällen ist. In dieser Bewertung wurde daher von der Gleichwertigkeit aller betrachteten Umwelteinwirkungen ausgegangen.

Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines **Leitfadens für das ökologische Beschaffungswesen** im öffentlichen Bereich sowie in privaten Haushalten. Daher wurden nur die vier in diesem Bereich relevanten Rahmenmaterialien betrachtet (Holz, Alu, PVC, und Innen Holz/Außen Alu [„Holz-Alu-Fenster“]). Die in den Schweizer Studien analysierten Sonderkonstruktionen aus Stahl, Edelstahl und Buntmetall wurden daher außer acht gelassen, auch zumal diese drei Rahmenwerkstoffe ökologisch sehr schlecht abschneiden.

DATENGRUNDLAGE

Die folgenden aktuellen Studien standen für die Erstellung dieser Arbeit zur Verfügung:

- < 1 > „Ökologische Betrachtung von Fenstern aus verschiedenen Werkstoffen“, FICU (Forschungsinstitut für Chemie und Umwelt - TU Wien), Doz. Windsperger und Dipl.-Ing. Steinlechner, Wien, 1997, im Auftrag der niederösterreichischen Landesregierung
- < 2 > „Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung)“, EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt), Dr. Klaus Richter et al., Dübendorf (CH), 1996, im Auftrag der Schweizerischen Fachstelle für Fenster- und Fassadenbau
- < 3 > „Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern“, EMPA, Dr. Klaus Richter et al., Dübendorf, 1996, im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Energiewirtschaft
- < 4 > „Ökologischer Vergleich von Fenstern: Rahmenwerkstoffe und Verglasung“ (Kurzstudie), EMPA, Dr. Klaus Richter et al., Dübendorf, ohne Jahresangabe, präsentiert anlässlich der Kunststoffensterfachtagung im Jänner 1998 in Wien

Alle diese Studien beinhalten umfassende Sammlungen an Basisdaten, die in dieser Arbeit ausgewertet wurden.

Allen zitierten Studien ist gemeinsam, daß sie in Zusammenarbeit mit Fensterherstellern bzw. deren Fachverbänden erstellt wurden.

Die Grundmethodik aller Studien ist die Life-Cycle-Analysis oder Lebenszyklusanalyse. Dabei werden die Umweltbeeinflussungen auf alle Kompartimente von der Gewinnung der Rohstoffe über die Nutzung des Produktes bis hin zur Entsorgung betrachtet. Etwaige Störfälle oder Risikoanalysen werden bei dieser Methode nicht betrachtet bzw. durchgeführt, da sie zahlenmäßig nicht erfaßt werden können.

In allen Studien unterschiedlich ist die Zahl der betrachteten und aufgeschlüsselten Umwelteinwirkungen¹. In < 1 > wurden 22, in < 2 > elf, in < 3 > vier und in < 4 > neun Umwelteinwirkungen betrachtet. Dieser Umstand erschwert grundsätzlich einen direkten Vergleich der Studien. Da jedoch immer alle Kompartimente (Wasser, Luft, Boden) ganzheitlich erfaßt wurden, wirkt sich diese teilweise Zusammenfassung von Umwelteinwirkungen nicht wesentlich auf die in dieser Arbeit erhaltenen Ergebnisse aus.

Auch der Einfluß der Rahmenbedingungen (Schweiz bzw. Niederösterreich) wirkt sich nicht entscheidend auf die Ergebnisse aus. Der Hauptunterschied in den äußeren Rahmenbedingungen zwischen beiden Ländern liegt in der Bereitstellung des elektrischen Stromes. Dieser wird in der Schweiz zu einem großen Teil aus nuklearen Energiequellen gewonnen, während in Österreich der Anteil an erneuerbarer Energie (Wasserkraft) wesentlich höher ist. Die Erzeugung von Primäraluminium, der energieintensivste Schritt bei der Rahmenherstellung, geht ohnehin mit einem internationalen Energieträgermix in die Berechnungen ein.

Unabhängig von allen gewählten Randbedingungen hat sich Holz als das eindeutig ökologisch beste Rahmenmaterial erwiesen.

Alle Daten basieren auf der Verwendung von einheimischem Nadelholz. Beim Fensterkauf ist speziell darauf zu achten, daß keine tropischen, kanadischen oder sibirischen Hölzer eingesetzt werden. Besonders ökologisch günstig ist nur der Kauf von FSC-Gütesiegel ausgezeichnetem Holz, das aus garantiert nachhaltig genutzten Wäldern stammt.

Sowohl die EMPA als auch das FICU haben sowohl den Ist-Zustand als auch zukünftige Szenarien berechnet. Diese berücksichtigen vor allem einen höheren Recycling-Anteil bei PVC und Alu bzw. eine gezielte thermische Verwertung von Altholz. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Variantenvergleiche werden auch in dieser Arbeit zusammengefaßt.

¹ In den EMPA-Studien < 2 > bis < 4 > werden die Umwelteinwirkungen auch als „Wirkungspotentiale“ bezeichnet.

METHODIK DIESER ARBEIT

Die vorhandenen Studien wurden je nach der vorhandenen Datenlage nach zwei verschiedenen Modellen ausgewertet: mit der Methode der Kritischen Volumina und mit der SETAC-Methode.

Die Methode der Kritischen Volumina und ihre Auswertung

Die dafür notwendige Datenbasis wird nur in der FICU-Studie < 1 > zur Verfügung gestellt. Dabei wird für jeden einzelnen, während des gesamten Lebenszyklus entstehenden Schadstoff berechnet, wieviele m³ Luft bzw. Wasser er mit dem jeweils zulässigen Immissionsgrenzwert belastet. Die errechneten Kritischen Luft- und Wasservolumina stellen reine Rechengrößen dar. In der Praxis werden die einzelnen Schadstoffmengen vermischt in die Umwelt abgegeben, sodaß der Zahlenwert nicht die tatsächlich belastete Luft- bzw. Wassermenge wiedergibt.

Die Kritischen Volumina berechnen sich wie folgt:

$$V_{\text{krit}}[\text{m}^3/\text{Fenster}] = \text{Emission} [\text{g}/\text{Fenster}] / \text{Immissionsgrenzwert} [\text{g}/\text{m}^3]$$

Da für das Kompartiment „Boden“ keine geeigneten Grenzwerte vorhanden sind, wurden in < 1 > die Kritischen Volumina mit dem Verbrauch an Rohstoffen sowie der Menge an festen Abfällen ergänzt.

Nachteilig an dieser Methode ist die Abhängigkeit von politisch festgesetzten Grenzwerten, die von Land zu Land unterschiedlich sind. Im Extremfall kann es daher zu länderweise verschiedenen Ergebnissen kommen. In < 1 > wurde von in Österreich gültigen Grenzwerten und Normen ausgegangen.

Um nun die verschiedenen Größen bzw. Einheiten miteinander vergleichen zu können, wurden in dieser Arbeit die Werte der einzelnen Werkstoffe von jeweils einer Umweltwirkung miteinander verglichen und der Höchstwert gleich 100 % gesetzt. Alle anderen Werkstoffe wurden dann in Relation zu diesem Wert gesetzt („relative

Umweltbelastung“). Weist ein Werkstoff in einer Kategorie z.B. 50 % auf, so bedeutet das, daß dieser Werkstoff eine halb so hohe Umweltbelastung in dieser Kategorie zeigt wie der in dieser Kategorie schlechteste. Dies wurde für alle Umwelteinwirkungen durchgeführt.

Abschließend wurde durch Addition der einzelnen Prozentwerte das Ranking erstellt. Je kleiner diese Prozentsumme, umso umweltverträglicher ist der Werkstoff.

Es muß hier nochmals darauf hingewiesen werden, daß in dieser Arbeit von einer völligen Gleichrangigkeit aller einzeln betrachteten Umwelteinwirkungen ausgegangen wird. Es steht jedem Leser dieser Arbeit frei, die relativen Umweltbelastungen mit einem persönlichen Gewichtungsfaktor zu multiplizieren und so eine politische Bewertung vorzunehmen.

SETAC-Methode

Um eine Summierung der einzelnen Daten zu ermöglichen, wurden zunächst, wie bei der Methode der Kritischen Volumina, die relativen Umweltbelastungen im Vergleich zum jeweils schlechtesten Rahmenwerkstoff ermittelt und in Tabellenform dargestellt.

In einem nächsten Schritt wurde ermittelt, welcher Werkstoff bei wievielen Kriterien der am besten bzw. am schlechtesten abschneidende ist.

Zur Erhöhung der Aussagekraft wurden außerdem die Ergebnisse aller Werkstoffe in Belastungsklassen unterteilt. Für jedes Material wurde ermittelt, bei wievielen der in die jeweilige Bewertung eingehenden SETAC-Kriterien (Umwelteinwirkungen) das jeweilige Material wie oft in welchem Prozentbereich im Vergleich zum jeweils am schlechtesten abschneidenden Material liegt. Aus Gründen einer übersichtlichen Darstellung wurden diese Prozentklassen in 20 %-Schritte unterteilt.

Das abschließende Ranking wurde durch die Ermittlung der Prozentsummen wie bei der Methode der Kritischen Volumina durchgeführt.

BASISDATEN UND ERGEBNISSE

Auswertung der FICU-Studie <1> (Variante 1: Methode der Kritischen Volumina)

Basisdaten²:

Die Ist-Werte spiegeln den aktuellen, über alle marktüblichen Fenster gemittelten Zustand wieder. Die beiden Zukunftsvarianten sind mit wesentlich höheren Recyclinganteilen gerechnet: 85 % statt derzeit 35-40 % bei Aluminium sowie 70 % statt derzeit 2 % bei PVC.

		Alu Ist	Holz Ist	PVC Ist	Alu Recyc.	PVC Recyc.
Krit. Vol. Luft	[1000 m ³]	41778	1889	20429	13951	10187
Krit. Vol. Wasser	[m ³]	1048	39	3703	369	1513
Rohstoffverbrauch	[kg]	49	114	54	18	39
Feste Abfälle	[kg]	22	2	24	16	21
		Alu Ist	Holz Ist	PVC Ist	Alu Recyc.	PVC Recyc.
Krit. Vol. Luft		100 %	5 %	49 %	33 %	24 %
Krit. Vol. Wasser		28 %	1 %	100 %	10 %	41 %
Rohstoffverbrauch		43 %	100 %	47 %	16 %	34 %
Feste Abfälle		92 %	8 %	100 %	67 %	88 %
	Prozentsumme:	263 %	114 %	296 %	126 %	187 %
Ranking Ist		2	1	3		
Ranking Ist und Zukunft		4	1	5	2	3

Tabelle 1: Basisdaten und relative Umweltbelastungen (Kritische Volumina) nach < 1 >

² Alle Werte wurden ungerundet aus < 1 > übernommen. Die Inkonsequenz in der Anzahl der signifikanten Stellen liegt außerhalb des Einflusses des Autors dieser Studie. Alle Daten beziehen sich auf ein einflügeliges, weißes Lochfenster der Größe 1,23 x 1,48 m mit zweifacher Isolierverglasung.

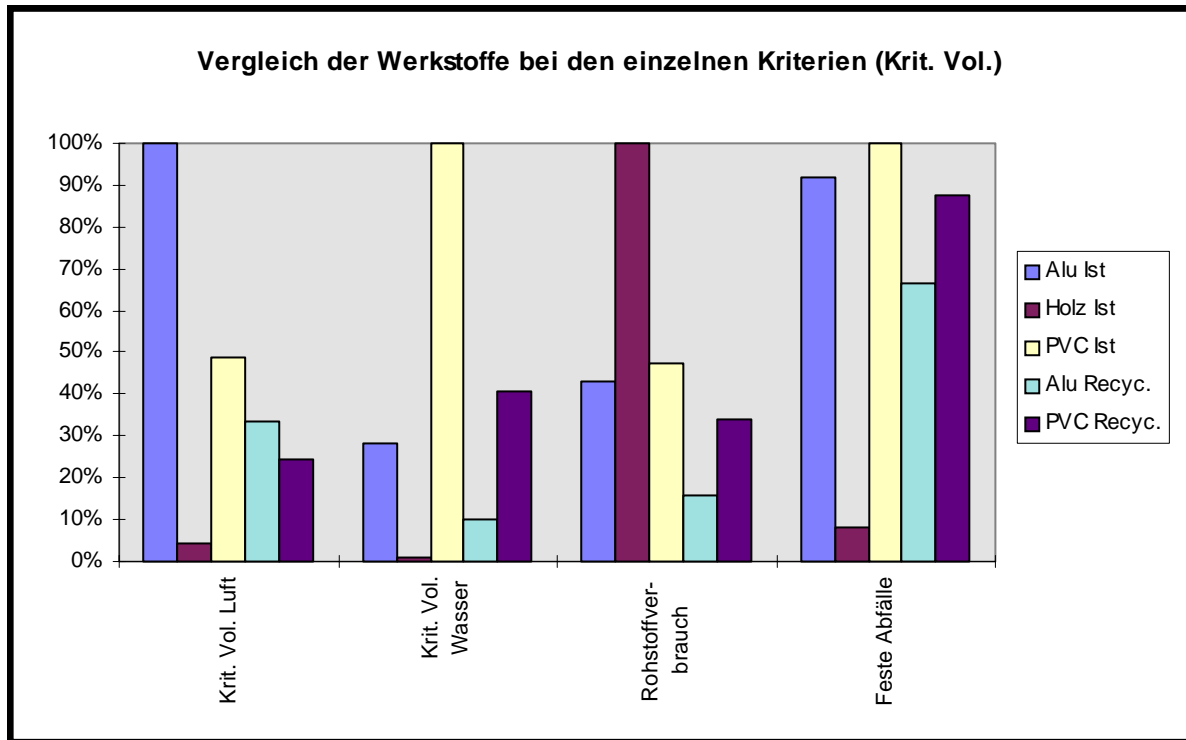


Abb. 1: Vergleich d. Werkstoffe bei den einzelnen Faktoren für die Krit. Vol. nach < 1 >

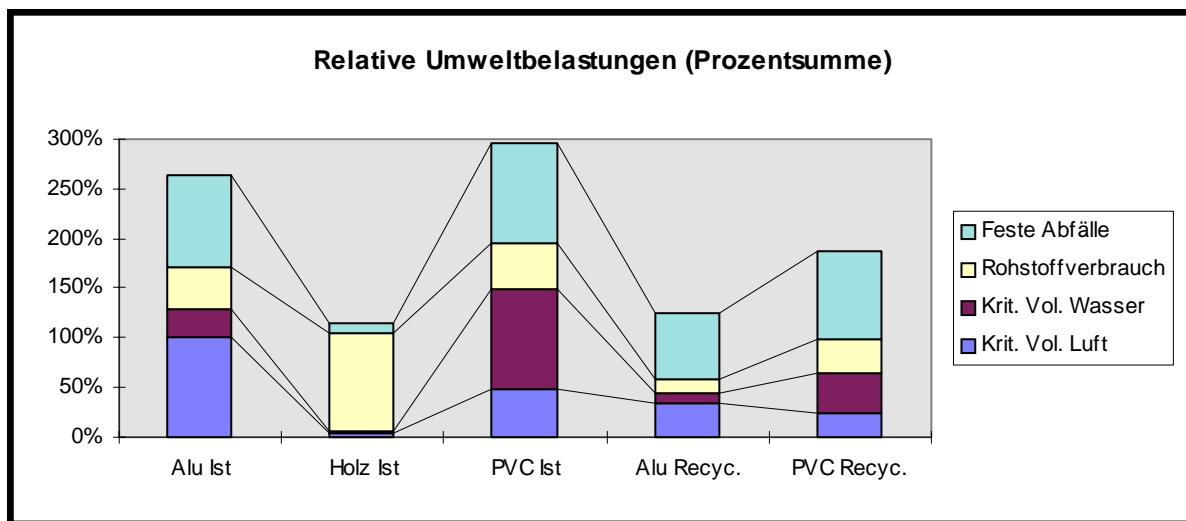


Abb. 2: Prozentsummen (Kritische Volumina) nach < 1 >

Wie das Ranking zeigt, ist Holz eindeutig der umweltverträglichste Werkstoff. Einzig beim Faktor Rohstoffverbrauch zeigt Holz Nachteile.

Bei den Rohstoffen des Holzfensters handelt es sich zu 95 % um den nachwachsenden, heimischen Rohstoff Holz, während bei PVC und Alu der mineralische und der fossile Rohstoffeinsatz dominieren.

Im direkten Vergleich Alu mit PVC schneidet PVC bei drei von vier ökologischen Kriterien schlechter ab. Nur bei der Kritischen Luftmenge zeigt Alu schlechtere Werte. Dies liegt vor allem an der notwendigen hohen Energiebereitstellung sowie an der Aluminium-Gewinnung aus Bauxit.

Bei dieser Methode könnte nur das Alu-Fenster bei einem wesentlich höheren Recycling-Anteil aus ökologischer Sicht in die Nähe des Holzfensters kommen. Der Hauptgrund dafür ist der wesentlich geringere Energiebedarf bei der Herstellung des Sekundäraluminiums. Bei Alu gibt es wie bei den meisten Metallen bereits ein gut funktionierendes Sammel- und Recyclingsystem. Eine weitere Erhöhung der Recyclingquote scheidet daher derzeit an den vorhandenen Altaluminiummengen. Speziell für hochwertige Aluminiumanwendungen³ wie Fensterprofile werden hohe Anforderungen an die Reinheit des Sekundäraluminiums gestellt. Besonders das in jedem Alufenster z.B. als Beschläge vorhandene Eisen hat sich als sehr störend bei der Aluaufbereitung erwiesen⁴.

Auch bei PVC dürfte die angenommene Recyclingrate kaum zu erreichen sein. Dafür gibt es drei wesentliche Gründe:

- Durch die Alterung des Kunststoffes durch UV-Strahlen, Temperatur und andere Umwelteinflüsse nimmt die Qualität ab.
- Durch Neuentwicklungen von Kunststoffzusätzen wie Farbstoffen oder Stabilisatoren wird die chemische Zusammensetzung im Laufe der Jahre verändert. So ist zum Beispiel das bis vor kurzem als Stabilisator eingesetzte Cadmium in Österreich mittlerweile verboten.
- Die Sammlung und Zerlegung des Fensters in die Einzelkomponenten ist mit einem großen technischen und finanziellen Aufwand verbunden.

³ Unter hochwertigen Anwendungen sind Knetlegierungen gemeint. Minderwertigere Anwendungen sind Gußlegierungen (z.B. Motorenpreßteile).

⁴ Quelle: „Metallrecycling“, Vorlesungsskript, Inst. für Nichteisen-Metalle, Leoben, 1996

Daher ist PVC-Altmaterial wesentlich teurer als vergleichbares Neumaterial. Für die Rezyklierung eines einzelnen Fensters muß allein für die Aufbereitung mit Kosten bis zu 280 ÖS gerechnet werden (ohne Sammel- und Transportkosten) < 2 >. Und auch angesichts der Tatsache, daß die PVC-Industrie sich schon seit fast einem Jahrzehnt um Recycling bemüht und gerade 2 % erreicht hat, ist nicht zu erwarten, daß in absehbarer Zeit 70 % erreicht werden.

Auch eine Erhöhung des Recyclinganteils von derzeit 35-40 auf 85 % bei Aluminium bzw. von 2 auf 70 % bei PVC würde nichts an der ökologischen Überlegenheit des Holzfensters ändern.

Auswertung der FICU-Studie < 1 > (Variante 2: SETAC)

Insgesamt gingen in die FICU-Studie < 1 > 19 Umwelteinwirkungen ein, die in die folgenden acht Gruppen zusammengefaßt werden:

1. Einsatzstoffe	1.1 Fossile Einsatzstoffe		
	1.2 Mineralische Einsatzstoffe		
	1.3 Erneuerbare Einsatzstoffe		
	1.4 Sekundäre Einsatzstoffe		
2. Energie	2.1 Fossile Energie	wird als Erdöl-Äquivalent berechnet	
	2.2 Wasserkraft		
	2.3 Nukleare Energie		
3. Treibhauseffekt		wird als CO ₂ -Äquivalent berechnet.	Dieses gibt an, um wieviel mehr eine Substanz zum Treibhauseffekt beiträgt als CO ₂ .
4. Gesundheitsgefährdung	4.1 durch Staub		
	4.2 durch Kohlenmonoxid		
	4.3 durch Schwefeldioxid		
	4.4 durch Metallstäube		
5. Human- und Ökotoxizität	5.1 Emission an Chlorwasserstoff		
	5.2 Stickoxide		
	5.3 Schwefeloxide		
6. Bildung von Photooxidantien		berechnet als photochemisches Ozonbildungspotential	Dafür wurde nur der Einfluß der Kohlenwasserstoffe berücksichtigt.
7. Versauerung von Gewässern und Böden		berechnet als Versauerungspotential (SO ₂ -Äquivalent)	berücksichtigt wurden: SO ₂ , NO, NO ₂ , NO _x , NH ₃ , HCl und HF
8. Euthrophierung		berechnet als Euthrophierungspotential (Phosphatäquivalent)	berücksichtigt wurden: NO, NO ₂ , NO _x , NH ₄ , N, PO ₄ ³⁻ , P und CSB

Tabelle 2: In < 1 > betrachtete Umweltwirkungen

Basisdaten:

		pro Fenster	Alu Ist	Holz Ist	PVC Ist	Alu Zukunft	PVC Zukunft
1	Einsatzstoffe fossil	kg	6,5	5	12,8	5,7	7,1
2	Einsatzstoffe mineralisch	kg	42,1	0	41	12,5	31,7
3	Einsatzstoffe erneuerbar	kg	0	108,8	0,3	0	0,3
4	Einsatzstoffe sekundär	kg	8,6	0	0	18,3	9,2
5	Energie fossil	kg	18	2	10	9	6
6	Energie Wasser	MJ	423	64	80	177	72
7	Energie nuklear	MJ	292	0	120	76	47
8	Treibhauseffekt	kg	122	9	46	49	28
9	Gesundheitsgefährdung Staub	g	220	9	80	64	42
10	Gesundheitsgefährdung CO	g	656	41	693	170	665
11	Gesundheitsgefährdung SO ₂	g	893	13	237	283	115
12	Gesundheitsgefährdung Metalle	g	20	0	3	20	2
13	Emissionen HCl	mg	58	3	3490	110	1389
14	Emissionen NO _x	g	261	40	320	107	162
15	Emissionen SO _x	g	893	13	237	283	115
16	Emissionen H ₂ S	mg	0	0	142	0	56
17	Photooxidantien	g	236	88	267	108	175
18	Versauerung	g	1075	40	464	357	230
19	Eutrophierung	g	34	5	42	14	21

Tabelle 3: Basisdaten nach < 1 > (SETAC-Methode)

		Alu Ist	Holz Ist	PVC Ist	Alu Zukunft	PVC Zukunft
1	Einsatzstoffe fossil	51 %	39 %	100 %	45 %	55 %
2	Einsatzstoffe mineralisch	100 %	0 %	97 %	30 %	75 %
3	Einsatzstoffe erneuerbar	0 %	100 %	0,3 %	0 %	0 %
4	Einsatzstoffe sekundär	47 %	0 %	0 %	100 %	50 %
5	Energie fossil	100 %	11 %	56 %	50 %	33 %
6	Energie Wasser	100 %	15 %	19 %	42 %	17 %
7	Energie nuklear	100 %	0 %	41 %	26 %	16 %
8	Treibhauseffekt	100 %	7 %	38 %	40 %	23 %
9	Gesundheitsgefährdung Staub	100 %	4 %	36 %	29 %	19 %
10	Gesundheitsgefährdung CO	95 %	6 %	100 %	25 %	96 %
11	Gesundheitsgefährdung SO ₂	100 %	1 %	27 %	32 %	13 %
12	Gesundheitsgefährdung Metalle	100 %	0 %	15 %	100 %	10 %
13	HCl	2 %	0 %	100 %	3 %	40 %
14	NO _x	82 %	13 %	100 %	33 %	51 %
15	SO _x	100 %	1 %	27 %	32 %	13 %
16	H ₂ S	0 %	0 %	100 %	0 %	39 %
17	Photooxidantien	88 %	33 %	100 %	40 %	66 %
18	Versauerung	100 %	4 %	43 %	33 %	21 %
19	Eutrophierung	81 %	12 %	100 %	33 %	50 %
	Prozentsumme:	1445 %	247 %	1099 %	693 %	688 %
	Ranking Ist	3	1	2		
	Ranking Ist und Zukunft	5	1	4	3	2

Tabelle 4: Relative Umwelteinwirkungen nach < 1 > (SETAC-Methode)

Der besseren Übersichtlichkeit wegen wurden, den Vorgaben durch die FICU-Studie folgend, für die graphische Darstellung einige Umwelteinwirkungen zusammengefaßt. An der Prozentsumme ändert dies nichts.

		Alu Ist	Holz Ist	PVC Ist	Alu Zukunft	PVC Zukunft
(Summe 1-4)	Einsatzstoffe	198 %	139 %	198 %	174 %	181 %
(Summe 5-7)	Energie	300 %	26 %	116 %	118 %	66 %
	Treibhauseffekt	100 %	7 %	38 %	40 %	23 %
(Summe 9-12)	Gesundheitsgefährdung	395 %	11 %	178 %	185 %	138 %
(Summe 13-16)	Human- und Ökotoxizität	183 %	14 %	327 %	68 %	143 %
	Bildung von Photooxidantien	88 %	33 %	100 %	40 %	66 %
	Versauerung	100 %	4 %	43 %	33 %	21 %
	Eutrophierung	81 %	12 %	100 %	33 %	50 %
	Prozentsumme:	1445 %	247 %	1099 %	693 %	688 %

Tabelle 5: Zusammengefaßte relative Umwelteinwirkungen nach < 1 > (SETAC)

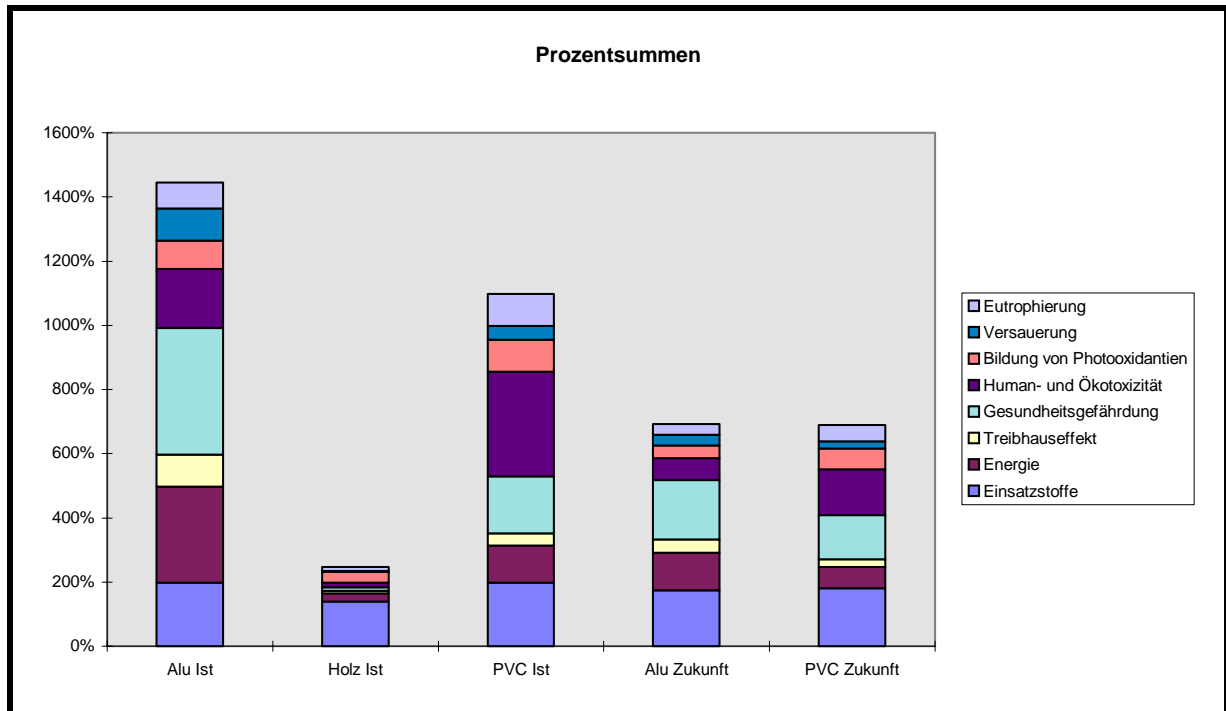


Abb. 3: Prozentsummen nach < 1 > (SETAC)

Auch nach der SETAC-Methode ist Holz mit großem Abstand der umweltverträglichste Werkstoff. Eine Erhöhung des Recyclinganteils bei PVC und Alu verbessert zwar deutlich deren ökologisches Profil, an der Überlegenheit von Holz ändert das jedoch nichts. Holz ist dann statt 5-6 mal „nur“ mehr 2,5 mal so ökologisch wie PVC bzw. Alu.

Im Gegensatz zur Auswertung der Methode der Kritischen Volumina schneidet nach der SETAC-Methode PVC besser als Alu ab. Der Grund dafür ist, daß die Luftemissionen bei der SETAC-Methode einen höheren prozentuellen Anteil ausmachen. Hier ist knapp die Hälfte aller Umwelteinwirkungen luftbezogen, während bei den Kritischen Volumina die Luftbelastung nur zu einem Viertel eingeht.

Vergleicht man die relativen Umwelteinwirkungen der Ist-Zustände miteinander und zählt, wie oft ein Werkstoff der beste bzw. schlechteste ist, ergibt sich folgende Verteilung⁵.

⁵ Bei der Zählung der besten Werkstoffe ergibt sich eine Summe, die größer ist als die Anzahl der Umwelteinwirkungen. Grund: Bei einigen Kriterien zeigen zwei Werkstoffe gleiche Werte.

		Alu Ist	Holz Ist	PVC Ist
1	Einsatzstoffe fossil	51 %	39 %	100 %
2	Einsatzstoffe mineralisch	100 %	0 %	97 %
3	Einsatzstoffe erneuerbar	0 %	100 %	0 %
4	Einsatzstoffe sekundär	100 %	0 %	0 %
5	Energie fossil	100 %	11 %	56 %
6	Energie Wasser	100 %	15 %	19 %
7	Energie nuklear	100 %	0 %	41 %
8	Treibhauseffekt	100 %	7 %	37 %
9	Gesundheitsgefährdung Staub	100 %	4 %	36 %
10	Gesundheitsgefährdung CO	95 %	6 %	100 %
11	Gesundheitsgefährdung SO ₂	100 %	1 %	27 %
12	Gesundheitsgefährdung Metalle	100 %	0 %	15 %
13	Emissionen HCl	2 %	0 %	100 %
14	Emissionen NO _x	82 %	13 %	100 %
15	Emissionen SO _x	100 %	1 %	27 %
16	Emissionen H ₂ S	0 %	0 %	100 %
17	Photooxidantien	88 %	33 %	100 %
18	Versauerung	100 %	4 %	43 %
19	Eutrophierung	81 %	12 %	100 %
		1498 %	246 %	1097 %
	Ranking:	3	1	2

Tabelle 6: Relative Umwelteinwirkungen der Ist-Zustände nach < 1 > (SETAC)

	Alu Ist	Holz Ist	PVC Ist
bester	2	18	1
schlechtester	11	1	7

Tabelle 7: Anzahl bester/schlechtester Werkstoff nach < 1 >

Holz ist in 18 von 19 ökologischen Bewertungskategorien der umweltverträglichste Werkstoff.

Aufgrund der SETAC-Methode und der ausgewählten Parameter ergibt sich, daß Holz bei den erneuerbaren Rohstoffen die relativ höchsten Umwelteinwirkungen aufweist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß bei den anderen Werkstoffen fast gar keine erneuerbaren Rohstoffe eingesetzt werden. Aus Gründen der Konsequenz wird jedoch in dieser Arbeit auch hier keine politische Bewertung in die Rechnung miteinbezogen. Es liegt jedoch auf der Hand und es ist

auch politisch unbestritten, daß erneuerbare Rohstoffe gegenüber fossilen aus ökologischer Sicht zu bevorzugen sind.

Die schlechtesten Werte bei allen anderen Umwelteinwirkungen verteilen sich auf PVC und Aluminium.

Belastungsklassen:

Diese geben an, wie oft ein Werkstoff wieviele Prozent in bezug auf die Umweltwirkung des schlechtesten Werkstoffes bei dieser Umweltwirkung erreicht. 50 % bedeutet z.B., daß ein Werkstoff bei dieser Umwelteinwirkung halb so umweltschädlich ist wie der bei dieser Umwelteinwirkung schlechteste.

	Holz Ist	PVC Ist	Alu Ist
0-20 %	16	4	3
20-40 %	2	4	0
40-60 %	0	3	1
60-80 %	0	0	0
80-100 %	1	8	15

Tabelle 8: Belastungsklassen nach < 1 >

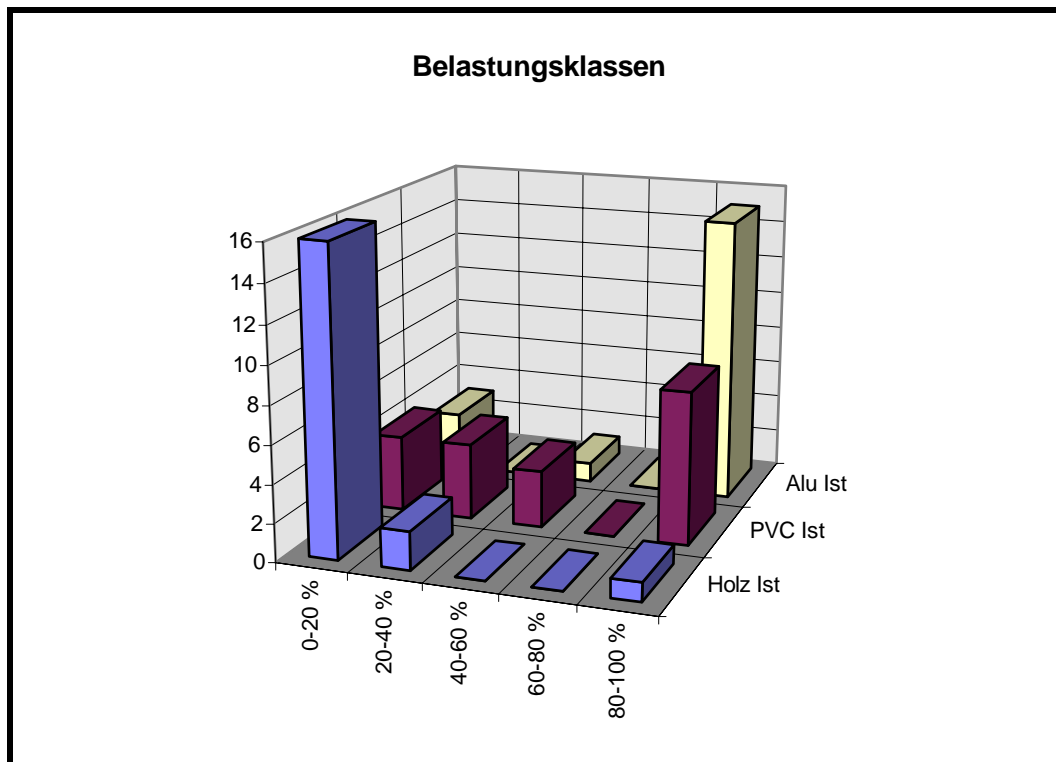


Abb. 4: Belastungsklassen nach < 1 >

Alu liegt bei 15 von 19 Umwelteinwirkungen in der höchsten Belastungsklasse, PVC immerhin auch bei acht.

Auswertung der EMPA-Studie < 2 > „Rahmenwerkstoffe (ohne Verglasung)“

Diese EMPA-Studie stellt ein sehr umfassendes, detailliertes Datenmaterial über die einzelnen Fensterwerkstoffe zur Verfügung. Interessant für eine Auswertung sind vor allem die durchgerechneten Varianten⁶ bei den einzelnen Fenstern.

Im Gegensatz zur FICU-Studie wurde jedoch nicht von gleich guter Isolierung und gleichen Rahmenbreiten bei allen Fenstern ausgegangen. Dies wurde mit den unterschiedlichen Konstruktionen und Normen bei den einzelnen Fensterrahmen begründet. Dadurch ergeben sich je nach Fensterrahmen unterschiedlich hohe Umweltbelastungen während der jeweils 30-jährigen Nutzungsdauer.

Die Güte der Isolierung wird durch den sogenannten k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) beschrieben. Dieser gibt an, welche Wärmeverluste während der Nutzung des Fensters auftreten. Je höher der k-Wert, umso höher sind die Wärmeverluste. Der k-Wert des Gesamtfensters setzt sich aus den k-Werten des Rahmens sowie des Glases zusammen. Meistens wird bereits der Gesamt-k-Wert angegeben. Der k-Wert wird einheitlich in $W/m^2 \cdot K$ angegeben.

Je höher nun der k-Wert und je größer die Rahmenbreite ist, umso mehr Verlustwärme geht durch den Rahmen verloren. Andererseits nimmt durch eine größere Rahmenbreite die Fensterfläche ab und somit ändern sich die Wärmeverluste bzw. -gewinne durch das Glas. Bei allen betrachteten Rahmen geht die Verlustwärme (d.h. die zusätzliche Energiebereitstellung durch die Heizung) bei mehr als der Hälfte der Umwelteinwirkungen zahlenmäßig zu über 50 % ein. Unterschiedliche k-Werte und Rahmenbreiten wirken sich daher deutlich auf die ökologische Bewertung der einzelnen Werkstoffe aus.

Auch wurden in < 2 > je nach Rahmenwerkstoff unterschiedliche Einbauarten berücksichtigt. In dieser Arbeit werden im folgenden je eine Variante mit einheitlicher Einbauart und eine mit der jeweils praxisüblichen Einbauart berechnet.

⁶ Die Zahlen hinter den Werkstoffen, z.B. „Alu 10“, wurden aus der EMPA-Studie übernommen und stellen die Nummer für die jeweilige Variante dar.

Ein Ranking ist nur bei praxisüblicher Einbauart und dies nur unter bestimmten Einschränkungen sinnvoll⁷. Bei praxisunüblicher Einbauart ergeben sich rechnerische Umwelteinwirkungen, die ein reelles Fenster niemals zeigt.

Für eine wirklich ganzheitliche Betrachtung muß auch das Fensterglas mitberücksichtigt werden. Dies geschieht in einem folgenden Kapitel unter Bezugnahme auf die EMPA-Studien < 3 > und < 4 >. Leider stellen diese Studien nicht ein so umfassendes Datenmaterial zur Verfügung wie die Rahmenstudie. Daher wird auch der Studie „Rahmenwerkstoffe (ohne Verglasung)“ in dieser Arbeit ein eigenes Kapitel gewidmet. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die vielen durchgerechneten Varianten und weniger auf ein Ranking gelegt.

In den EMPA-Studien wurden folgende Umwelteinwirkungen behandelt:

Umweltwirkung	angegeben als bzw. in:	berücksichtigt wurden:
Treibhauseffekt	Treibhauspotential [kg CO ₂ -Äqu.]	CH ₄ , CO ₂ , N ₂ O, R134a, R22, Halon 1301
Ozonabbau	Ozonabbaupot. [kg CFC-11-Äqu.]	alle wichtigen ozonabbauenden Stoffe
Versäuerung	Versäuerungspot. [kg SO ₂ -Äqu.]	HCl, HF, NH ₃ , NO _x , SO _x
Eutrophierung	Eutrophierungspot. [kg PO ₄ -Äqu.]	NH ₃ , NH ₄ ⁺ , NO _x , Phosphor
Ozonbildung	Photochem. Ozonbildungspot. [kg C ₂ H ₄ -Äqu.]	alle wichtigen Kohlenwasserstoffe
Humantoxizität	kg kritisch belastetes Körpergewicht	Metalle, Staub, organ. und chlororganische Verbindungen,...
Ökotoxizität Wasser	m ³ kritisch belastetes Wasser	Mineralöle, Benzol, CKWs, Metallionen, PAHs,...
Primärenergieinhalt	MJ	
Inertstoffdeponie ⁸	kg inerte Abfälle	

⁷ Diese Annahme wurde auch vom Autor der Studie in einem Telefonat (2/98) bestätigt.

⁸ Entspricht der österr. Baurestmassendeponie

Reaktordeponie ⁹	kg Reststoffe	
Sonderabfalldeponie ¹⁰	kg gefährliche Abfälle	

Tabelle 9: Umwelteinwirkungen nach < 2 >

Variante A: Vergleich der Ist-Werte bei einheitlicher, praxisunüblicher Einbauart (Bruttorahmenfläche)

Holz-, Holz-Alu- und PVC-Fenster werden praxisüblich auf Leibung, d.h. innen auf den Fenstervorsprung, angeschlagen, nicht hingegen Alufenster. Durch den Anschlag auf Leibung wird die für die Wärmeverluste relevante Rahmenbreite geringer, die Glasfläche bei gleichen Fensterlochdimensionen größer.

Bei dieser Variante werden einheitlich alle Fenster mit der Bruttorahmenfläche berechnet, was gegenüber dem Anschlag auf Leibung höhere Wärmeverluste ergibt. Diese Variante wird hier auch deshalb erwähnt, weil sie in der EMPA-Studie als Grundvariante bezeichnet wird und somit fälschlicherweise als „die“ Ist-Variante interpretiert werden könnte.

Die Aussagekraft der Variante B ist jedoch eine viel größere!

⁹ Entspricht der österr. Reststoffdeponie („Hausmülldeponie“)

¹⁰ Der Begriff der „Sonderabfälle“ entspricht in Österreich den „gefährlichen Abfälle“

Basisdaten (Ist-Werte absolut)¹¹¹²:

Kriterium	Einheit	Alu 10	Holz-Alu 10	Holz 10	PVC 10
Treibhauseffekt	CO ₂ -Äqu. [kg]	1090	1053	906,1	996,8
Ozonabbau	CFC-11-Äqu. [kg]	0,0001568	0,00009659	0,00007084	0,00008175
Versäuerung	SO ₂ -Äqu. [kg]	2,597	1,512	1,145	2,397
Überdüngung	PO ₄ -Äqu. [kg]	0,1513	0,1285	0,1093	0,168
Ozonbildung	C ₂ H ₂ -Äqu. [kg]	1,229	1,0539	0,8958	1,464
Humantoxizität	kg	28,65	40,37	37,08	31,76
Ökotoxizität Wasser	m ³	36220	17400	11790	14670
Primärenergie	MJ	26650	23770	19760	20800
Inertstoffdeponie	kg	67,87	80,33	71,81	82,57
Reaktordeponie	kg	3,714	5,706	5,494	5,395
Sonderabfalldeponie	kg	1,026	1,191	1,199	0,9217

Tabelle 10: Basisdaten nach < 2 > (Ist-Werte absolut; praxisunübl. Einbauart)

Basisdaten (Ist-Werte relativ):

Kriterium	Alu 10	Holz-Alu 10	Holz 10	PVC 10
Treibhauseffekt	100 %	97 %	83 %	91 %
Ozonabbau	100 %	62 %	45 %	52 %
Versäuerung	100 %	58 %	44 %	92 %
Überdüngung	90 %	76 %	65 %	100 %
Ozonbildung	84 %	72 %	61 %	100 %
Humantoxizität	71 %	100 %	92 %	79 %
Ökotoxizität Wasser	100 %	48 %	33 %	41 %
Primärenergie	100 %	89 %	74 %	78 %
Inertstoffdeponie	82 %	97 %	87 %	100 %
Reaktordeponie	65 %	100 %	96 %	95 %
Sonderabfalldeponie	86 %	99 %	100 %	77 %
Prozentsumme	978 %	899 %	780 %	905 %

Tabelle 11: Gewichtete Umwelteinwirkungen nach < 2 > (Ist-Werte)

¹¹ Die Daten in den EMPA-Studien < 2 > und < 4 > beziehen sich auf ein zweiflügeliges, weißes Lochfenster der Größe 1,65 x 1,30 m.

¹² In dieser Arbeit wurden die EMPA-Daten einheitlich auf vier signifikante Stellen gerundet.

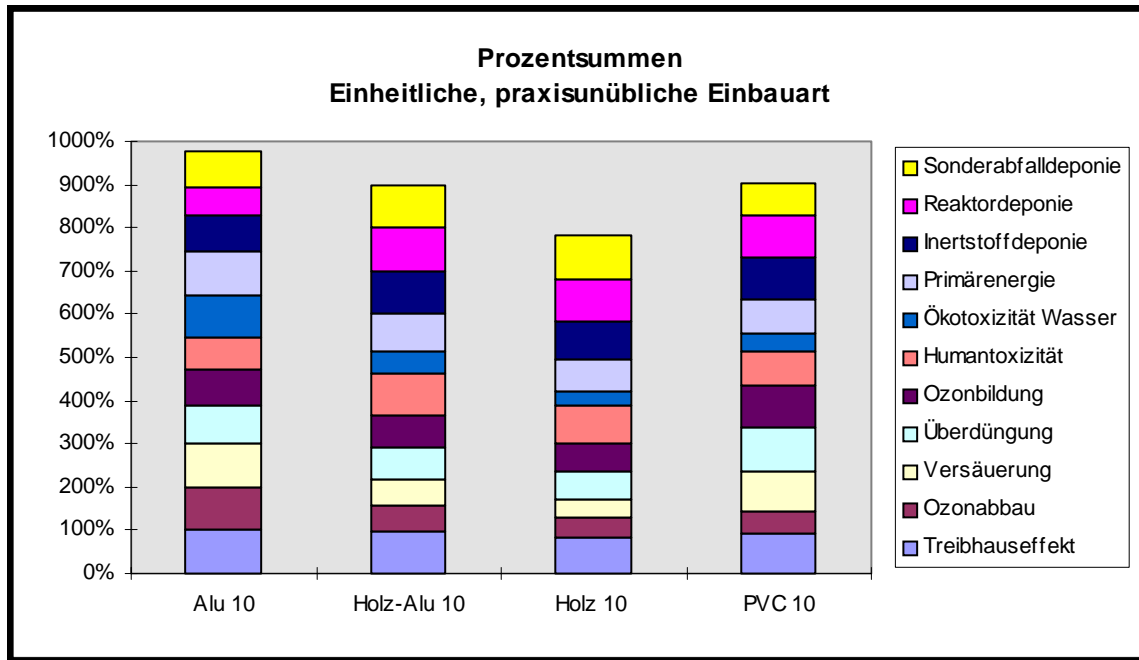


Abb. 5: Prozentsummen nach < 2 > (Praxisunübl. Einbauart)

Trotz der angenommenen, mit höheren Verlustwärmern verbundenen, unüblichen Einbauart erweist sich Holz als der mit Abstand umweltverträglichste Werkstoff für Fensterrahmen.

Gegenüber PVC ist Holz nur bei den Umwelteinwirkungen Sonderabfalldeponie (aufgrund der Lacke) und Humantoxizität (durch die Entsorgung) schlechter.

Variante B: Vergleich des Ist-Zustandes bei praxisüblicher Einbauart

Mit Ausnahme der Einbauart und einer dadurch bewirkten geringfügigen Verlängerung der Profile entsprechen die Fenster jenen in Variante A.

Basisdaten (Ist-Zustand, absolut):

		Alu 10	Holz-Alu 16	Holz 15	PVC 13
Treibhauseffekt	CO ₂ -Äqu. [kg]	1090	602,8	499,1	623
Ozonabbau	CFC-11-Äqu. [kg]	0,0001568	0,00007522	0,00004967	0,00006375
Versäuerung	SO ₂ -Äqu. [kg]	2,597	1,088	0,7516	2,096
Überdüngung	PO ₄ -Äqu. [kg]	0,1513	0,08706	0,0718	0,136
Ozonbildung	C ₂ H ₂ -Äqu. [kg]	1,229	0,7066	0,5784	1,199
Humantoxizität	kg	28,65	38,07	35,18	29,71
Ökotoxizität Wasser	m ³	36220	14020	8140	11820
Primärenergie	MJ	26650	14960	11670	13410
Inertstoffdeponie	kg	67,87	46,22	42,18	54,57
Reaktordeponie	kg	3,714	4,749	4,701	4,617
Sonderabfalldeponie	kg	1,026	1,24	1,244	0,9589

Tabelle 12: Basisdaten nach < 2 > (praxisübl. Einbauart)

	Brutorahm.	Nettorahm.	Nettorahm.	Nettorahm.
	Alu 10	Holz-Alu 16	Holz 15	PVC 13
Treibhauseffekt	100 %	55 %	46 %	57 %
Ozonabbau	100 %	48 %	32 %	41 %
Versäuerung	100 %	42 %	29 %	81 %
Überdüngung	100 %	58 %	47 %	90 %
Ozonbildung	100 %	57 %	47 %	98 %
Humantoxizität	75 %	100 %	92 %	78 %
Ökotoxizität Wasser	100 %	39 %	22 %	33 %
Primärenergie	100 %	56 %	44 %	50 %
Inertstoffdeponie	100 %	68 %	62 %	80 %
Reaktordeponie	78 %	100 %	99 %	97 %
Sonderabfalldeponie	82 %	100 %	100 %	77 %
	1036 %	723 %	621 %	782 %
Ranking	4	2	1	3

Tabelle 13: Gewichtete Umwelteinwirkungen nach < 2 > (praxisübl. Einbauart)

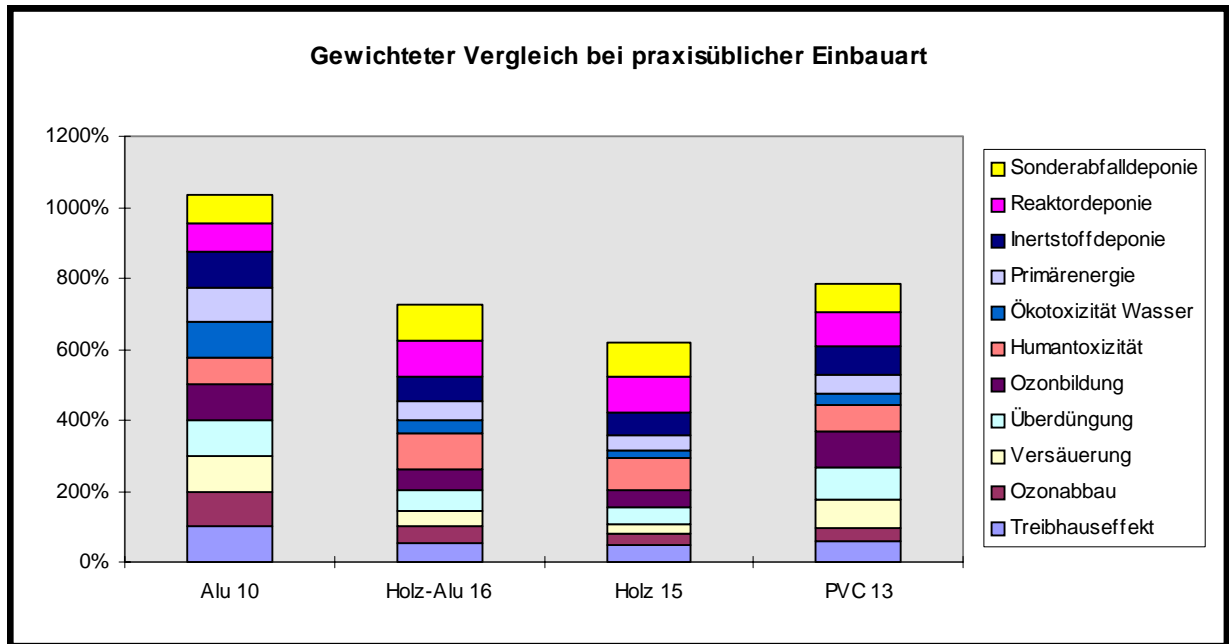


Abb. 6: Prozentsummen nach < 2 > (praxisübl. Einbauart)

Bei praxisüblicher Einbauart ist nicht nur das Holz- sondern auch das Holz-Alu-Fenster dem PVC-Fenster ökologisch deutlich überlegen. Für Anwendungsfälle, in denen aus baulichen oder anwendungstechnischen Gründen die regelmäßige Wartung der Holzfenster nicht in Frage kommt, ist das Holz-Alu-Fenster die ökologisch beste Alternative.

In < 2 > wurde beim Holz-Alu-Fenster von einem Masseverhältnis von Holz zu Alu von rund 3:1 ausgegangen. Modernere Fenster werden mittlerweile bei gleicher Funktion und gleichem Komfort mit einem geringeren Aluanteil konstruiert¹³.

Da das Aluminium stark in die Ökobilanzen eingeht, verbessert sich das ökologische Profil des Holz-Alu-Fensters bei einem geringeren Aluanteil (dünnere Bleche).

¹³ Quelle: Persönliche Auskunft von der Fa. Gaulhofer, Übelbach, Februar 1998

Betrachtet man, wie oft ein Werkstoff in bezug auf eine Umweltwirkung der beste oder schlechteste ist, ergibt sich nach < 2 > bei praxisüblicher Einbauart folgendes Bild:

	Alu 10	Holz-Alu 16	Holz 15	PVC 13
bester	2	0	9	1
schlechtester	8	2	1	0

Tabelle 14: Beste/Schlechteste-Zählung nach < 2 > (praxisübl. Einbauart)

Holz ist in neun von elf Kriterien der beste Werkstoff, Alu in acht der schlechteste. Wie bereits erwähnt, schneidet Holz nur beim Faktor „Sonderabfalldeponie“ schlechter ab als alle anderen Werkstoffe.

Belastungsklassen:

Diese geben an, wie oft ein Werkstoff wieviele Prozent in bezug auf die Umweltwirkung des schlechtesten Werkstoffes bei dieser Umweltwirkung erreicht.

% vom schlechtesten	Holz 15	Holz-Alu 16	PVC 13	Alu 10
0-20 %	0	0	0	0
20-40 %	3	1	1	0
40-60 %	4	6	3	0
60-80 %	1	1	2	2
80-100 %	3	3	5	9

Tabelle 15: Belastungsklassen nach < 2 > (praxisübl. Einbauart)

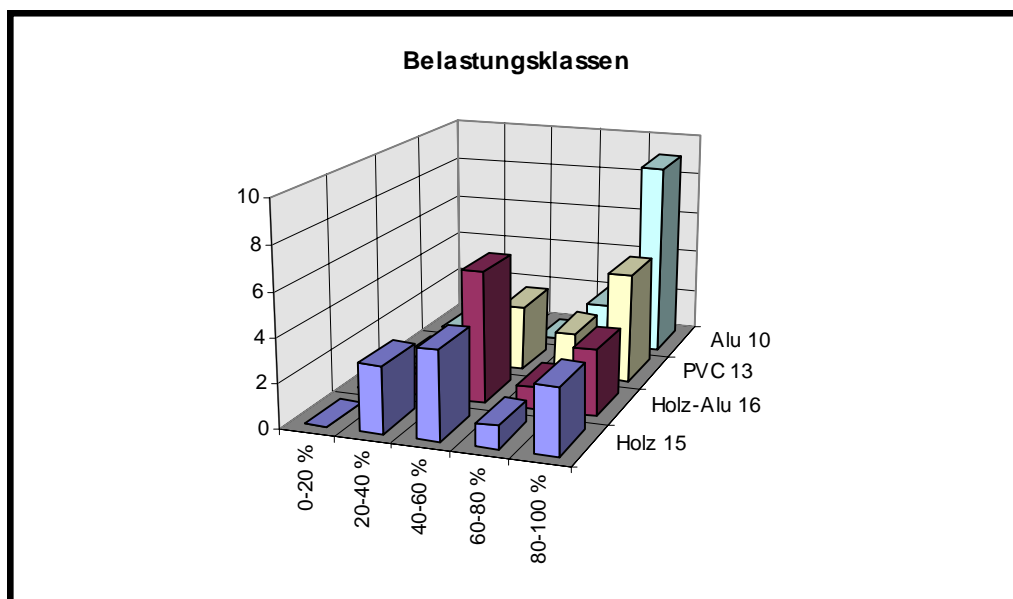


Abb. 7: Belastungsklassen nach < 2 > (praxisübl. Einbauart)

PVC und Alu befinden sich deutlich öfter als Holz und Holz-Alu in den beiden schlechtesten Belastungsklassen. Auch hier zeigt sich die eindeutige Überlegenheit von Holz vor Holz-Alu und deutlich dahinter PVC und Aluminium.

Variantenvergleich - Sonstige wichtige Punkte beim Kauf eines Fensters

Insgesamt wurden in der EMPA-Studie 22 Varianten bei den hier betrachteten vier Rahmenwerkstoffen berechnet.

Im folgenden werden die interessantesten Ergebnisse zusammengefaßt. Alle Varianten wiederzugeben, würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

k-Wert

Das neben der Rahmenwerkstoffauswahl mit Abstand wichtigste ökologische Kriterium beim Fensterkauf ist der k-Wert.

Der k-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) gibt an, welche Wärmeverluste während der Nutzung des Fensters auftreten. Je höher der k-Wert, umso höher sind die Wärmeverluste.

Der k-Wert des Gesamtfensters setzt sich aus den k-Werten des Rahmens sowie des Glases zusammen. Meistens wird bereits der Gesamt-k-Wert angegeben.

Ein schlechter k-Wert kann eine Entscheidung für einen ökologischen Rahmenwerkstoff ad absurdum führen.

Eine Investition in niedrigere k-Werte rechnet sich nicht nur im ökologischen Sinne, sondern auch wirtschaftlich durch verringerte Heizungskosten.

Die ökologischen Auswirkungen eines niedrigeren k-Wertes soll folgendes Beispiel verdeutlichen: die beiden Fensterrahmen Alu 10 und 13 sind bis auf den k-Wert ident. Dieser beträgt bei Alu 10 1,9 und bei Alu 13 2,3. Bei allen Umwelteinwirkungen zeigt der niedrigere k-Wert Vorteile:

		Alu 10	Alu 13	Alu 10	Alu 13
Treibhauseffekt	CO ₂ -Äqu. [kg]	1090	1253	87,0 %	100 %
Ozonabbau	CFC-11-Äqu. [kg]	0,0001568	0,0001654	94,8 %	100 %
Versäuerung	SO ₂ -Äqu. [kg]	2,597	2,761	94,1 %	100 %
Überdüngung	PO ₄ -Äqu. [kg]	0,1513	0,167	90,6 %	100 %
Ozonbildung	C ₂ H ₂ -Äqu. [kg]	1,229	1,36	90,4 %	100 %
Humantoxizität	kg	28,65	30,06	95,3 %	100 %
Ökotoxizität Wasser	m ³	36220	37610	96,3 %	100 %
Primärenergie	MJ	26650	29910	89,1 %	100 %
Inertstoffdeponie	kg	67,87	80,32	84,5 %	100 %
Reaktordeponie	kg	3,714	4,118	90,2 %	100 %
Sonderabfalldeponie	kg	1,026	1,029	99,7 %	100 %
Prozentsumme:				1012 %	1100 %

Tabelle 16: Vergleich zweier k-Wert-Varianten nach < 2 >

Rahmenbreite

Bei sonst gleichwertigen Fenstern ist jenes mit dem schmälere Rahmen aus ökologischer Sicht zu bevorzugen.

Ein schmälere Rahmen bedeutet eine größere Glasfläche. Bei Sonneneinstrahlung kann daher ein größerer Energienutzen durch das Glas erzielt werden.

Fenstersprossen

Aus energetischer und ökologischer Sicht sind Unterteilungen der Scheibe durch Sprossen zu vermeiden.

Wenn aus architektonischen oder baurechtlichen Gründen Unterteilungen erforderlich sind, sind aufgeklebte oder aufgeklickste Sprossen zu bevorzugen. Der Glasrand, an dem die Scheiben mit einer Aluminiumkonstruktion verbunden sind, bildet nämlich eine sogenannte Wärmebrücke, über die Verlustwärme entweichen kann¹⁴.

¹⁴ Quelle: „52 Energiespartips“, Energie Tirol, 3. Auflage, Innsbruck, 1997

Holzbehandlungsmittel

Beim Holzfenster zeigt die Variante mit weißem Decklack gegenüber jener mit heller Lasur Vorteile; beim Holz-Alu-Fenster ist die Lasur die ökologisch bessere Variante.

Decklack muß an Außenflächen nur alle zehn, die Lasur hingegen alle vier Jahre erneuert werden. Auf Innenseiten zeigt die Lasur hingegen deutliche Vorteile. Beim Holz-Alu-Fenster entfällt der Anstrich auf der Außenseite.

Alu-Oberflächenbeschichtung

Der Einfluß der Oberflächenbeschichtung beim Alu-Fenster auf die Bilanzen ist eher gering. Grundsätzlich ist das Anodisieren dem Chromatieren vorzuziehen.

Eine wirkungsvolle Verbesserung beim Alu-Fenster könnte nur durch eine signifikante Erhöhung des Recyclinganteils erzielt werden. Trotzdem bleibt das Alu-Fenster ökologisch deutlich ungünstiger als das Holz- bzw. Holz-Alu-Fenster.

Auswertung der EMPA-Kurzstudie „Rahmenwerkstoffe und Verglasung“ < 4 > unter spezieller Berücksichtigung der Studie „Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern“ < 3 >

In der EMPA-Kurzstudie „Rahmenwerkstoffe und Verglasung“ wurden die Daten aus den beiden Studien „Rahmenmaterialien ohne Verglasung“ < 1 > und „Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern“ < 3 > verknüpft. Dabei wurde von der praxisüblichen Einbauart der Fenster ausgegangen.

Im Rahmen der Kurzstudie wurden zwei Wärmeschutzgläser mit unterschiedlichem k-Wert (nämlich 1,3 und 1,6) betrachtet. Unter einem Wärmeschutzglas wird ein Fensterglas verstanden, das aus mindestens zwei, mit Luft oder Edelgas gefüllten Scheiben besteht, von denen die innenseitige (meist) mit Silber beschichtet ist. Dies ist der Unterschied zu einer normalen Isolierverglasung. Üblicherweise wird bereits standardmäßig ein Wärmeschutzglas

eingesetzt. Daher wird der in < 3 > berechneten Isolierverglasung sowie der nicht fest verbundenen Doppelverglasung in dieser Arbeit keine Beachtung geschenkt.

Die beiden in < 4 > betrachteten Gläser unterscheiden sich nur durch die Füllung (Argon bzw. Luft) voneinander. Im folgenden werden die jeweiligen Rahmen-Glas-Kombinationen als „Alu 1,3“, „Holz 1,6“ u.s.w. bezeichnet.

Bei der Füllung der Fenster ist jedenfalls darauf zu achten, daß sie aus Luft oder einem Edelgas (z.B. Argon oder Xenon) besteht. In seltenen Fällen werden nämlich auch halogenierte Kohlenwasserstoffe, die ein Ozonabbaupotential besitzen, verwendet.

Aufgrund des großen Rechenaufwandes wurden von den Autoren in < 4 > leider nur vier Umwelteinwirkungen betrachtet. Dabei wurden jene ausgewählt, welche den Autoren am wichtigsten erschienen sind¹⁵: Treibhauseffekt, Versäuerung, Ozonbildung und gefährliche Abfälle. Mit Ausnahme der gefährlichen Abfälle handelt es dabei um Summenparameter, sodaß die Aussagekraft höher ist als es auf den ersten Blick erscheinen mag. Trotzdem muß diese subjektive Auswahl der Umwelteinwirkungen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Das Ranking selbst wird hier analog den vorangegangenen Auswertungen durchgeführt.

Basisdaten aus < 4 > und deren prozentuelle Gewichtung:

		Alu 1,6	Holz-Alu 1,6	Holz 1,6	PVC 1,6
Treibhauseffekt	CO ₂ -Äqu. [kg]	490	235	140	260
Versäuerung	SO ₂ -Äqu. [kg]	2,4	1,2	0,8	2,2
Ozonbildung	C ₂ H ₂ -Äqu. [kg]	1,05	0,67	0,58	1,2
Sonderabfalldeponie	[kg]	1,03	1,25	1,24	0,96
Treibhauseffekt		100 %	48 %	29 %	53 %
Versäuerung		100 %	50 %	33 %	92 %
Ozonbildung		88 %	56 %	48 %	100 %
Sonderabfalldeponie		82 %	100 %	99 %	77 %
		370 %	254 %	209 %	322 %
Ranking		4	2	1	3

Tabelle 17: Basisdaten und relative Umwelteinwirkungen nach < 4 > (höherer k-Wert)

¹⁵ Persönl. Auskunft von Klaus Richter, Februar 1998

		Alu 1,3	Holz-Alu 1,3	Holz 1,3	PVC 1,3
Treibhauseffekt	CO ₂ -Äqu. [kg]	385	165	110	230
Versäuerung	SO ₂ -Äqu. [kg]	2,3	1,1	0,75	2,15
Ozonbildung	C ₂ H ₂ -Äqu. [kg]	0,95	0,63	0,55	1,16
Sonderabfalldeponie	[kg]	1,03	1,25	1,24	0,96
		Alu 1,3	Holz-Alu 1,3	Holz 1,3	PVC 1,3
Treibhauseffekt		79 %	34 %	22 %	47 %
Versäuerung		96 %	46 %	31 %	90 %
Ozonbildung		79 %	53 %	46 %	97 %
Sonderabfalldeponie		82 %	100 %	99 %	77 %
		336 %	232 %	199 %	310 %
Ranking		4	2	1	3

Tabelle 18: Basisdaten und rel. Umwelteinwirkungen nach < 4 > (niedrigerer k-Wert)

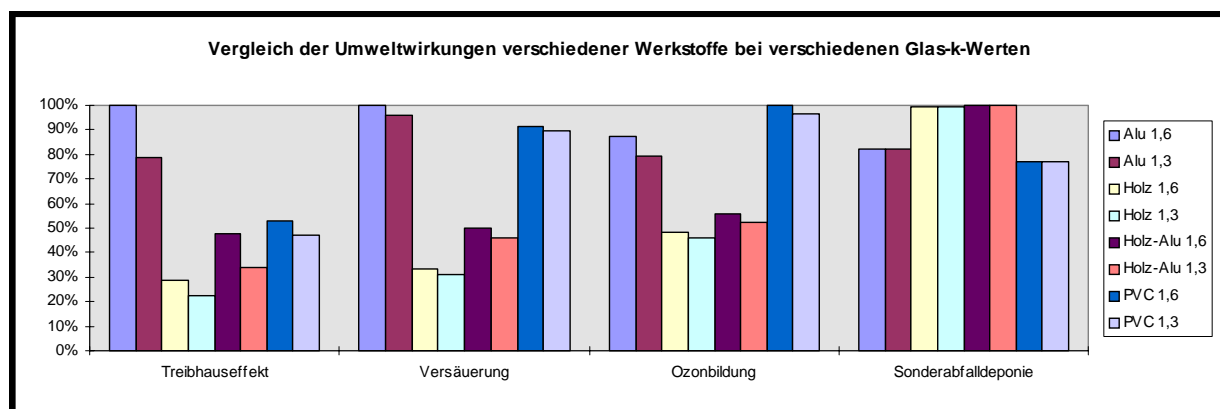


Abb. 8: Gegenüberstellung der verschiedenen k-Werte nach < 4 >

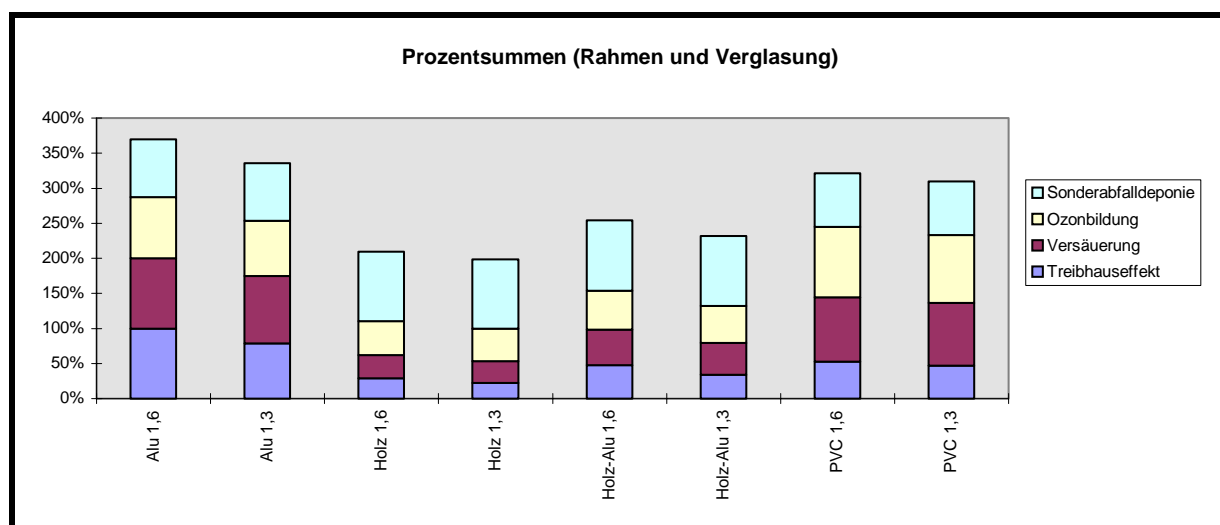


Abb. 9: Prozentsummen nach < 4 >

Auch eine Auswertung der EMPA-Kurzstudie „Rahmenwerkstoffe und Verglasung“ zeigt Holz als das ökologisch günstigste Material. Für Sonderfälle, in denen die regelmäßige Wartung des Holzfensters nicht in Frage kommt, erweist sich das Holz-Alu-Fenster als die umweltverträglichste Alternative.

Der unterschiedliche k-Wert der Verglasung ändert am Ranking nichts, jedoch wird der Einfluß der Verlustwärmern bzw. Energiegewinne durch das Glas an den Absolutwerten deutlich.

Beim Wärmeschutzglas ergibt sich durch die Sonneneinstrahlung in Summe ein Energiegewinn, sodaß bei einem Glas-k-Wert von 1,3 die Absolutwerte der meisten Umwelteinwirkungen unter Berücksichtigung der Verglasung geringer sind als jene nur für den Rahmen. Dabei wurde von einer den tatsächlichen Verhältnissen entsprechenden Verteilung der Fenster in bezug auf die Himmelsrichtungen ausgegangen.

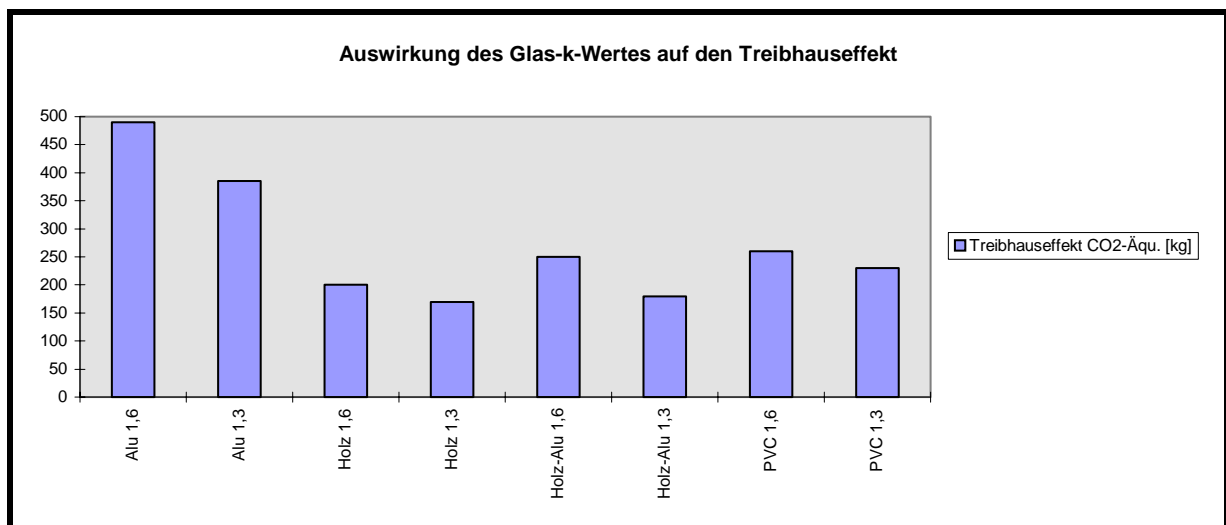


Abb. 10: Auswirkung des Glas-k-Wertes auf den Treibhauseffekt nach < 4 >

Vor allem bei der Umweltwirkung „Treibhauseffekt“ bringt ein um 0.3 verbesserter k-Wert des Glases eine Reduktion um rund 20 %.¹⁶

¹⁶ Diese Aussage gilt nur für k-Werte zwischen 1,3 und 1,6 .

Bei allen neun¹⁷ in der Verglasungsstudie betrachteten Umwelteinwirkungen ergeben sich bei einem k-Wert von 1,3 günstigere Werte als bei einem k-Wert von 1,6.

Die Aufwendungen für die Produktion der Fenster mit extrem niedrigem k-Wert steigen jedoch stark an.

Für durchschnittliche mitteleuropäische Lagen ist derzeit für südseitig gelegene Fenster ein k-Wert von ca. 1,1 als ökologisch optimal anzusehen.

Für niedrigere k-Werte sind die Aufwendungen für die Produktion und Entsorgung größer als der zusätzliche Energiegewinn während der Nutzungsdauer, zumal der Energiegewinn durch die Sonneneinstrahlung mit sinkendem k-Wert abnimmt. Für südseitig gelegene Fenster ist daher ein doppeltverglastes Wärmeschutzglas zu empfehlen, während für schattige Lagen eine Dreifachwärmeschutzverglasung mit k-Werten unter 1,0 ökologisch günstig sind.

K-Werte unter 1,1 sind aber jedenfalls für Fenster mit geringer bis gar keiner Sonneneinstrahlung oder für extrem kalte Gegenden aus ökologischer Sicht zu empfehlen¹⁸.

¹⁷ Die drei Abfallparameter der Rahmenstudie wurden zusammengefaßt. Ansonsten sind alle Parameter ident.

¹⁸ Quellen: Persönl. Auskunft von Klaus Richter, Februar 1998 sowie „52 Energiespartips“, Energie Tirol, 3. Auflage, Innsbruck, 1997

Sonstige Umweltgefahren, die von Ökobilanzen nicht erfaßt werden

Allen Ökobilanzen liegt zugrunde, daß sie nur den normalen zu erwartenden Lebenszyklus bilanzieren. Etwaige Störfälle oder Unfallgefahren sind nicht quantifizierbar und können daher mit diesen Methoden nicht erfaßt werden.

Die folgende Auflistung soll daher ergänzend auf die außergewöhnlichen Umweltgefahren hinweisen, die von den einzelnen Rahmenwerkstoffen ausgehen.

Vom Werkstoff PVC gehen dabei besondere Gefahren für die Umwelt aus:

- Tanker- und Pipelineunfälle beim Transport des Rohmaterials Erdöl.¹⁹
- Hohe Emissionen von langlebigen, schlecht abbaubaren chlororganischen Verbindungen wie z.B. Dioxine bei Chemieunfällen bei der Vinylchlorid-²⁰ und PVC-Herstellung
- Unfallgefahr beim Transport von Chlorgas sowie Vinylchlorid (Beispiel: Schönebeck 1996).
- Zusätzliche Dioxin- und Chlorwasserstoffgasbildung bei Wohnungsbränden sowie bei unsachgemäßer bzw. unerlaubter Verbrennung von ausgedienten Fenstern²¹.

Berücksichtigt man auch die Umweltgefahren durch außergewöhnliche Vorfälle (Unfälle), wird die Überlegenheit der Werkstoffe Holz und (für Sonderfälle) Holz-Alu als Fensterwerkstoff noch eindeutiger.

¹⁹ Diese Umweltgefahr betrifft auch den Werkstoff Aluminium, für den zur Energiebereitstellung ungefähr dieselbe Menge fossiler Einsatzstoffe benötigt wird wie für den Grundstoff Erdöl bei PVC < 1 >.

²⁰ Vinylchlorid ist der chemische Grundstoff für PVC.

²¹ Auch beim Holz- bzw. Holz-Alu-Fenster geht eine nicht unerhebliche Gefahr bei unsachgemäßer Verbrennung aus (Hausbrand, Brauchtumsfeuer,...).

RESÜMEE

Unabhängig von den unterschiedlich gewählten Randbedingungen hat sich aufgrund der vorliegenden Ökobilanzen bzw. ökologischen Bewertungen übereinstimmend folgende Reihenfolge der Fensterwerkstoffe ergeben:

1. Holz
2. Holz-Alu
3. PVC und Alu²²

Die wichtigsten Punkte dieser Arbeit nochmals in drei Sätzen zusammengefaßt:

1. Das Holzfenster hat sich als das ökologisch eindeutig beste Material erwiesen.
2. Für Anwendungsfälle, bei denen aus baulichen oder anwendungstechnischen Gründen ein Holzfenster nicht in Frage kommt, ist das Holz-Alu-Fenster die ökologisch beste Alternative.
3. Neben der Rahmenwerkstoffauswahl muß der k-Wert, der die Wärmeverluste während der Nutzung beschreibt, das entscheidende Kriterium beim Fensterkauf sein.

²² Je nach Randbedingungen und Studie ist entweder PVC oder Alu knapp besser als der andere dieser beiden Werkstoffe.

Impressum:

GREENPEACE Österreich
Siebenbrunnengasse 44,
A-1050 Wien
Tel.: +43-1-5454580
Fax: +43-1-5454588
e-mail: Greenpeace@inmedias.at
Internet: <http://www.greenpeace.at>