

# Fenster in der Gebäudehülle

Qualität, Energiebilanz, Ökologie



## Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung.....	1
2 Beiträge zur Energiebilanz.....	1
2.1 Lichteinfall.....	1
2.2 Transmissionswärmeverluste.....	2
2.3 Konvektion und Luftdichtheit.....	4
3 Praxisbeispiele.....	5
3.1 U vs. g.....	5
3.2 Einbausituation.....	7
4 Kosten von Fenstererneuerungen.....	9
5 Qualitätssicherung und Anforderungen.....	10
6 Ökobilanz.....	11
6.1 Holz vs. PVC -Vergleichende Betrachtung der EPD-Werte.....	11
6.2 Fazit.....	13
7 Aspekte ausserhalb der Energie- und Ökobilanz.....	14

## 1 Zusammenfassung

Die Augen des Hauses sind die komplexesten Bauteile in der Gebäudehülle. Fenster, Türen und Festverglasungen sorgen neben ihren Schutzfunktionen auch für die Anbindung zur Aussenwelt und haben dadurch einige exklusive Funktionen unter den Bauteilen...

Ohne Weiteres liesse sich ein dickes Buch über Fenster schreiben, das auch noch vom Anfang bis zum Ende interessant wäre. Ich will mich aber auf die Aspekte beschränken, die für die Energie- und Ökobilanz bedeutend sind und noch ein paar Fragen für die individuelle Beratung übrig lassen...

Der Volltext des Artikels untersucht energetische Aspekte der Fensterkonstruktionen und der Einbausituation und versucht einen ökologischen Vergleich von Rahmensystemen.

## 2 Beiträge zur Energiebilanz

### 2.1 Lichteinfall

Ja, es wird gerne verdreht: durch die Verglasung der Fenster fällt im Wesentlichen nicht (unsichtbare) Wärmestrahlung, sondern Licht in das Gebäude. Die Wärme entsteht erst da, wo das Licht auf dunkle Oberflächen trifft. Dadurch entstehen immer dann, wenn im Gebäude Wärme gebraucht wird (wenn also die Temperatur, die sich ohne Tätigkeit einer Heizung einstellt, niedriger wäre als die gewünschte Temperatur) positive Beiträge zur Energiebilanz. Im

Jargon der Energieeinsparverordnung heisst das „solare Gewinne“. Es ist einfach nachzuvollziehen, welche Ausführungsdetails der Fenster für den Energieeintrag förderlich sind:

- grosse Fensteröffnungen (Rohbauöffnungen)
- unverbauter Ausblick
- Südorientierung (im Winter aber auch Ost- und Westorientierung)
- geringe Einbautiefe (Lage der Fenster weit aussen) wegen der Verschattung durch die Laibungen
- schmale Rahmenprofile (hoher Glasanteil in der Ansicht)
- sehr lichtdurchlässige Verglasungen

Teilweise handelt es sich um Vorgaben, die in der Rohbauplanung umzusetzen sind, ansonsten um Merkmale der Konstruktion des Fensters selbst und um seinen Einbau.

Auf Seite der Verglasung heisst der Mass gebende Kennwert Gesamtenergiedurchlassgrad, abgekürzt  $g$ , nicht zu verwechseln mit  $U_g$ . Typisch für aktuelle dreifach-Verglasungen: nur noch 50% (oder 0,5) gegenüber annähernd 100% bei einer plumpen Einfachverglasung! Es gibt Sonnenschutzverglasungen mit deutlich niedrigeren Werten und es lässt sich bei der Optimierung eine Gratwanderung zwischen „Lichtgewinn“ und „Wärmeverlust“ veranstalten. Von beidem das richtige Mass finden.

## 2.2 Transmissionswärmeverluste

Das Wort Verlust gefällt mir im Jargon der Energiebilanzen nicht. Es müsste heissen „abgehender Wärmestrom“. In einer wirtschaftlichen Bilanz den Ausgaben entsprechend. Verlust ergibt sich ja erst bei der Gegenrechnung der „Einnahmen“. Leider ein eingebürgerter Begriff. Aber es beisst keine Maus keinen Faden ab: durch Bauteile und eben auch durch Fenster fliesst ein Wärmestrom, wenn es aussen kälter ist als innen und zwar unabhängig davon, ob das Bauteil dicht hinsichtlich der Luftströmung ist. Der Vorgang heisst Wärmeleitung bzw. Transmission und die Eigenschaft, die dem entgegen wirkt Wärmedämmung bzw. Wärmedurchgangswiderstand. In der Berechnung zur Energiebilanz wird der Kehrwert dieses Widerstandes, nämlich Wärmedurchgangskoeffizient verwendet, der mit dem Kennbuchstaben  $U$  abgekürzt wird und deshalb als „U-Wert“, früher einmal „k-Wert“, Karriere gemacht hat. Dass er auch eine Einheit hat, zum Beispiel Watt je Quadratmeter und Kelvin (es wurde durchaus auch schon Kilokalorie je Quadratmeter und Grad verwendet) und dass sich aus dieser Einheit ungefähr erfassen lässt, was das Wesen der physikalischen Grösse ist, wird selten erwähnt. Die Betrachtung wird auf eine Zahlenschlacht reduziert... Erreichbar ist heute bei **dreifach-Wärmeschutzverglasungen** 0,5  $W/m^2K$ , eine alte „Standard-Isolierverglasung“ (zweifach) erreicht 2,7  $W/m^2K$ . Aber langsam! Wie sind denn moderne Verglasungen aufgebaut? Als es nur Einfachverglasungen gab, war der Begriff „Glasscheibe“ einfach verständlich. Das war ein flaches Teil in 4 mm

Dicke, in der Ansicht rechteckig, einfach nur aus Glas. Nun besteht der transparente Anteil von Fenstern nicht mehr aus einer Glasscheibe, sondern einem Element aus mehreren Scheiben, Zwischenräumen und einem Randverbund. Das Glas selbst hat eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit – was zu dem extrem hohen Wärmedurchgangskoeffizienten (dem U Wert) von fast  $6 \text{ W/m}^2\text{K}$  einer Einfachverglasung führt. Allerdings ist eine Beschichtung der Glasscheibe möglich, die zwar nicht unmittelbar die Wärmeleitung verändert, aber die Wärmeabstrahlung von der Oberfläche verringert. In „Wärmeschutzverglasungen“ werden diese Metall- bzw. Metalloxid- (speziell: Silber) Beschichtungen auf mechanisch nicht beanspruchten Innenoberflächen zum Zwischenraum hin aufgebracht. Eine Beschichtung bei Zweifachverglasungen, zwei bei Dreifachverglasungen.

Besser brauchbar als Glas ist die Luft zwischen zwei Glasscheiben, besonders wenn der Hohlraum nicht zu breit ausgeführt wird und zwischen den Scheiben wenig Verwirbelung (Konvektion) entsteht. Und noch besser als Luft dämmen Edelgase. Deshalb weisen Dreifach-Wärmeschutzverglasungen zwei solche Zwischenräume, mit Argon oder Krypton gefüllt, auf. Übrigens herrscht in den Zwischenräumen (ausser bei Vakuum-Verglasungen, die sich bisher nicht durchsetzen) ein Druck, der auf den geplanten Umgebungs-Luftdruck eingestellt wird. Etwa 1 bar also. Eine Dreifachverglasung ist zum Beispiel 4-12-4-12-4, zusammen 36 mm dick.

Auch die **Rahmenanteile** von Fenstern verursachen Transmissions-Wärmeströme. Einst war das „schlechte“ Glas ( $5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) die Schwachstelle der Fenster, die Rahmen aus „gutem“ Holz ( $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) hatten. Die komplexen Verglasungen haben die Fensterrahmen (es ist immer sowohl der fest eingebaute Blendrahmen als auch der bewegliche Flügelrahmen gemeint) inzwischen „überholt“. Schmale Rahmenprofile bzw. Überdeckung der Rahmenanteile durch die hochwertige Verglasung sind daher lukrative Optimierungsansätze. Für Selberrechner: schon älter, aber noch kostenlos: Berechnungstool [fenestra](#).

Nach Material werden Holzrahmen von Aluminiumrahmen (selten: Stahl) und Kunststoffrahmen (meines Wissens ausschliesslich PVC!) unterschieden. Bei allen Materialien sind Optimierungen möglich. In Holz geht es zunächst um die Dicke (von innen Richtung aussen gemessen, nicht in der Ansicht der Fenster). Viel hilft viel. Bei Aluminium und PVC ist eine Aufteilung der Profile in Kammern, mit Luft oder Dämmstoff gefüllt und ggf. die thermische Trennung metallischer Innen- und Aussenseiten der Profile der Ansatz. Aber auch Holz-basierte Rahmen können mittlerweile nützliche Hohlkammern oder Dämmstoffeinlagen enthalten. Es gibt auch Kombinationen der Werkstoffe, vor allem Holz-Aluminium mit schützender Aussenbekleidung des dämmenden Holzrahmens.

Die Scheiben der Verglasung werden durch „Streifen“ aus Metall oder Kunststoff am Rand der Verglasung verbunden bzw. auf Abstand gehalten. Die **Randprofile**, **Randverbund**, **Abstandshalter** waren in der ersten Zeit der Isolierverglasungen

immer aus thermisch ungünstig wirkendem Aluminium, dann aus Edelstahl und heute schon vorwiegend aus Kunststoff. In der Theorie der Energiebilanz spricht man von Linien-förmigen Wärmebrücken, welche diese Streifen an allen Rändern der Verglasung bilden. Ihr Verlustbeitrag wird daher in Watt je Meter und Kelvin<sup>1</sup> angegeben und beträgt für Aluminium-Randprofile etwa 0,07 W/mK, Edelstahl 0,05 W/mK, Kunststoff 0,04 W/mK, Tendenz fallend. Die Wärmeströme (Produkte dieser Kennwerte mit der jeweiligen Länge) sind zu jenen durch die Fläche der Verglasung zu addieren. Die Schwachzone am Rand der Verglasungen wirkt sich tatsächlich so aus, dass die innere Oberflächentemperatur dort im Heizbetrieb niedriger ist als in der Fläche, weshalb bevorzugt dort das Tauwasser anfällt.

Mit diesen drei Komponenten: Verglasung, Randverbund, Rahmen lässt sich das Fenster hinsichtlich seines Transmissionsverhaltens „basteln“.

**WICHTIG:** es muss unbedingt zwischen den Kennwerten für die Verglasung ( $U_G$ , das G für „glass“) und für das Fenster ( $U_W$ , das W für „window“) unterscheiden werden. Äpfel und Birnen. Das Passivhaus-Institut, Vorreiter für hocheffiziente Bauweise, bietet auch Pflaumen an:  $U_{W, eingebaut}$ . Hier wird der Wärmestrom des Anschlussdetails zum Rohbau auch in den Kennwert für das Fenster einbezogen. Zur Orientierung unter den Obstarten gibt es ja Ingenieure.

Die **Einbausituation** hat also ebenfalls Einfluss auf die Energiebilanz. Immer noch sind die Fenster hinsichtlich der Wärmeströme die „schlechteren“ Bereiche in der Gebäudehülle, weshalb – vereinfacht – alles am Fenster, was kein Licht durchlässt, „überdämmt“ sein sollte. Die Platzierung des Fensters weiter innen oder weiter aussen hat ebenfalls einen Einfluss darauf, wie mühsam es für die Wärme wird, den Weg nach aussen zu finden. Ganz genau kann das mit einer „Wärmebrücken-Simulation“, die eigentlich Wärmestrom-Simulation heisst, untersucht werden und es wird üblicher Weise sehr bunt illustriert. Ähnlich wie auf Thermografie-Aufnahmen erscheinen die Zonen mit bestimmten Temperaturen in zugeordneten Farbe, wie Regenbögen.

## 2.3 Konvektion und Luftdichtheit

Erst mal ganz unabhängig von der Wärmeleitung kann es Wärmetransport durch bewegte Luft geben – überall, wo die Gebäudehülle nicht komplett dicht ist und Druckunterschiede herrschen. Bewegliche Fensterflügel sind natürlich einladend für solche Vorgänge. Deshalb haben Fenster Dichtungen. Heute zwei komplett umlaufende (alles andere wäre keine Dichtung!) elastische Formteile in den „Funktionsfugen“, also zwischen Flügelrahmen und Blendrahmen. Da die beiden „Dichtungsebenen“ Abstand zu einander haben, ist zwischen ihnen ein „Luftpolster“, das als

---

<sup>1</sup> ein Kelvin ist das „Abstandsmass zwischen 19°C und 20° C etc. Da die Celsiusskala die Eigenart aufweist, ihren Nullpunkt „mitten drin“ zu haben, wurde für die Rechnerei mit Temperaturen das kelvin aus der absoluten Temperaturskala, die bei 0 beginnt, und nicht das Grad Celsius übernommen und dann ist zwei mal zwanzig auch wieder vierzig...

Wärmedämmung wirksam ist. Bei **einfacher** Dichtung ist hingegen das hauchdünne Kunststoffmaterial die einzige Barriere zwischen innen und aussen! Einige Fenster liefern drei Dichtungsebenen, wobei die äussere aber auch teilweise unvollständig ist und nur der Wasserableitung dient.

Sowohl die Qualität der Dichtungen und der Fensterprofile (Präzision) als auch die genaue Einstellung der Fensterbeschläge (die „Bänder“, im Volksmund „Scharniere“, und Schliesselemente) haben Einfluss darauf, ob Dichtung nur Absicht oder reale Funktion dieser Ebenen ist. Weiterhin kann der **Einbau** der Fenster mehr oder weniger dicht erfolgen. Dabei ist zu bedenken, dass in den Montagefugen Bewegungen stattfinden, die über Jahrzehnte möglichst gut von den Dichtungsmaterialien aufgenommen werden sollten, dass also in jedem Zustand auch nach langer Zeit ausreichende Dichtheit vorliegt. Da diese Aufgabe keine Kleinigkeit ist, hat die RAL Gütegemeinschaft Fenster und Haustüren einen Leitfaden nur für die Planung und Ausführung der Montage herausgegeben, der – Moment – 263 nummerierte Seiten umfasst.

Die Auswirkungen der real erreichten Luftdichtheit auf die Energiebilanz sind nicht mit gleicher Präzision im Voraus berechenbar wie die Transmissionsströme. Bei einer Prognose zur Energieeinsparung durch Fenster-Erneuerung bleibt an dieser Stelle eine gewisse Unsicherheit. Allemal bringt der Fenstertausch mehr als nur die Verringerung der Transmissionsströme!

**Wie dicht ist gut?** Eine Frage, bei deren Beantwortung „Religion“ eine Rolle spielt...

Ein hochwertiges Gebäude kostet eine Menge Geld. Aus meiner Sicht ist anzustreben, dass die Kontrolle über den Luftwechsel bei den Nutzern liegt. Nicht bei zufälligen Windverhältnissen oder der Thermik durch Temperaturunterschiede. Das heisst: prinzipiell so dicht wie möglich bei weitgehenden Eingriffsmöglichkeiten. Lüftung ist ein eigenes komplexes Thema. Hier nur noch der Hinweis: wenn eine Teilsanierung „schlechte“ Wände unbearbeitet lässt und durch Fensteraustausch die Luftdichtheit erheblich erhöht wird, können Tauwasserschäden an den (kalten) Innenoberflächen der Wände die Folge sein, weil weniger Luftfeuchte durch Fugen „exfiltriert“. Den Luftwechsel zu optimieren und dabei Sicherheit gegen Bauschäden zu bekommen, ist eine anspruchsvolle Aufgabe<sup>2</sup>...

## 3 Praxisbeispiele

### 3.1 U vs. g

Worum geht's? Die oben schon erwähnte Gratwanderung: ein Fenster soll so viel wie möglich nutzbare Sonnenenergie als Licht herein lassen, gleichzeitig wenig Wärme über Transmission abführen – so dass in der Bilanz das Optimum heraus kommt. In diesem Fall real von mir geplante Dachfenster, teilweise in einer West-Dachfläche, teilweise nach Süden orientiert. Zum Wettbewerb

---

<sup>2</sup> Die wichtigsten Norm dazu heissen DIN 1946-6, Raumluftechnik Teil 6 \_ Lüftung von Wohnungen und DIN 4108-3 Klimabedingter Feuchteschutz

traten einerseits das dreifach-Wärmeschutz-verglaste „Niedrigenergie-Dachfenster“ Roto Designo R8 NE und das weniger spektakuläre, zweifach-Wärmeschutz-verglaste VELUX ThermoStar 1.1 an.

The screenshot shows a dialog box titled "Eingabe von Fensterdaten" with a close button (X) in the top right corner. The form contains the following fields and options:

- Firma/Fenstergruppe: Roto (dropdown menu)
- Glastype: Designo R8 NE (dropdown menu)
- UWert-Glas: 0.84 W/m<sup>2</sup>K (text input)
- Energiedurchlaßgrad: 30 % g-Wert 0.3 (text input)
- Lichtdurchlaßgrad: 40 % τ<sub>D65</sub> 0.4 (text input)
- inklusive Rahmen:  (checkbox)
- Buttons: "Dialog verlassen" (bottom left), "Kennwerte nach DIN 10077" (bottom right), "angezeigte Fenster aus der Datendatei löschen" (bottom right)
- Footer: "Fensterdatei" section with "Anzahl der bisher eingegebenen Fenster: 6826"

The screenshot shows a dialog box titled "Eingabe von Fensterdaten" with a close button (X) in the top right corner. The form contains the following fields and options:

- Firma/Fenstergruppe: Velux (dropdown menu)
- Glastype: Thermo-Star 1,1 (dropdown menu)
- UWert-Glas: 1.4 W/m<sup>2</sup>K (text input)
- Energiedurchlaßgrad: 60 % g-Wert 0.6 (text input)
- Lichtdurchlaßgrad: 70 % τ<sub>D65</sub> 0.7 (text input)
- inklusive Rahmen:  (checkbox)
- Buttons: "Dialog verlassen" (bottom left), "Kennwerte nach DIN 10077" (bottom right), "angezeigte Fenster aus der Datendatei löschen" (bottom right)
- Footer: "Fensterdatei" section with "Anzahl der bisher eingegebenen Fenster: 6826"

Es sind erhebliche Unterschiede hinsichtlich **beider** Kennwerte erkennbar. Etwas schlampig sind die Texte der Eingabemaske formuliert: es wird einerseits der „U-Wert“ des Glases abgefragt, andererseits eine Wahloption „inklusive Rahmen“ angeboten. Durch diese Eingabe wird der Wärmestrom auf der gesamten Öffnungsfläche mit diesem Wert gerechnet, faktisch ist es also ein „U<sub>w</sub>-Wert“. Ob dabei auch der Fensterrahmen als Licht-durchlässig angenommen wird, habe ich nicht geprüft. Die Bilanz stellt sich mit der Auswahl für das realisierte Projekt folgendermassen dar:



	Bauteil	Bez.	Ri.	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Fak.	abs. Gewinn [kWh/a]	abs. Verlust [kWh/a]
2.15	Designo R6 zertifiziert	AltW	W	1.77	0.840	1.00	74	161
2.16	Designo R8 NE	Neu W	W	1.27	0.840	1.00	100	116
2.17	Thermo-Star 1,1	NeuS	S	1.09	1.400	1.00	389	165
2.18	Thermo-Star 1,1	NeuS	S	2.18	1.400	1.00	778	330

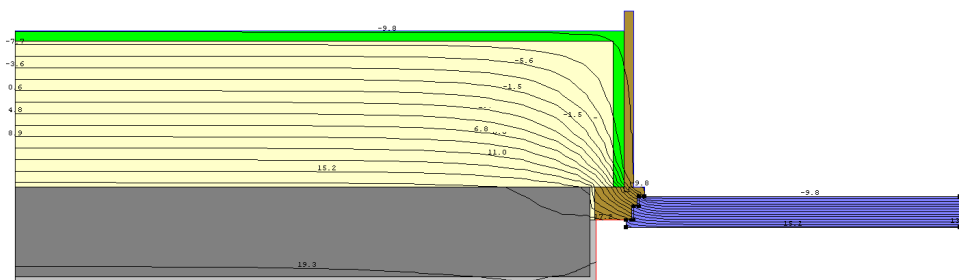
Sowohl die dreifachen im Westdach als auch die zweifachen im Süden bringen mehr nutzbare Solarenergie ein, als sie Wärme verlieren! Der Bilanzwert dieser vier Fenster ist 569 kWh/a Gewinn, erwirtschaftet durch die Fenster im Süden. Nun wäre es ja denkbar, statt dessen dreifach im Süden und zweifach im Westen einzubauen:

	Bauteil	Bez.	Ri.	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]	Fak.	abs. Gewinn [kWh/a]	abs. Verlust [kWh/a]
2.15	Thermo-Star 1,1	AltW	W	1.77	1.400	1.00	151	268
2.16	Thermo-Star 1,1	Neu W	W	1.27	1.400	1.00	177	193
2.17	Designo R6 zertifiziert	NeuS	S	1.09	0.840	1.00	197	99
2.18	Designo R8 NE	NeuS	S	2.18	0.840	1.00	394	198

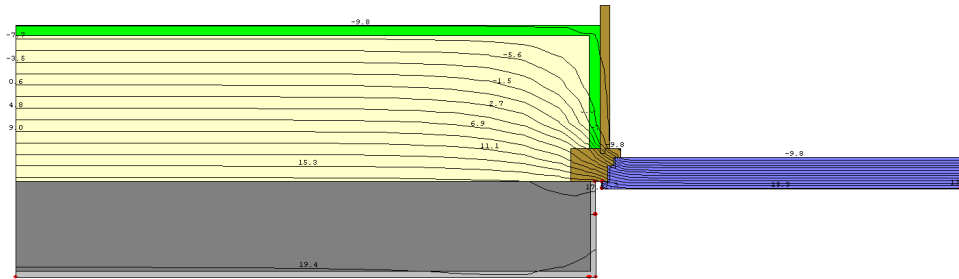
Die schlechtere Wahl! Nur noch 161 kWh Einnahmen-Überschuss. Durchgängig dreifach-verglaste Fenster einzubauen, wäre die schlechteste Wahl, überall zweifach verglaste auch noch knapp schlechter als die gewählte Kombination. In diesem Fall kostet die zweifach-Verglasung erheblich weniger. Anzumerken ist, dass 30% ein extrem niedriger Wert für den Gesamtenergiedurchlassgrad ist. Es ist die Herstellerangabe für dieses Dachfenster. Viele dreifach-Verglasung erreichen deutlich höhere Werte.

### 3.2 Einbausituation

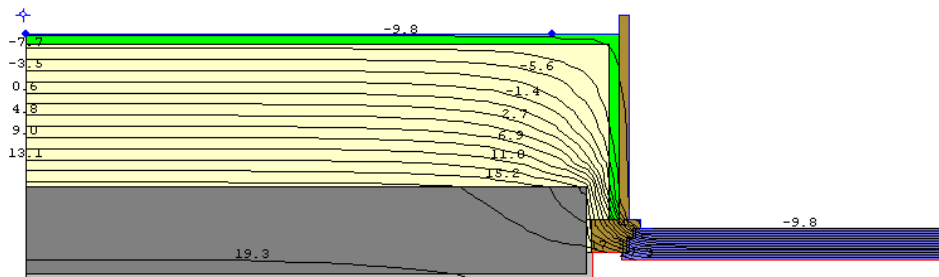
Auch bezüglich der Wirkung verschiedener Einbauvarianten kursieren Halbwahrheiten. Die folgende Untersuchung bezieht sich aber nicht auf den Energieeintrag durch Sonnenlicht, sondern ausschliesslich auf die Transmission. Die Zeichnungen stellen waagrechte Schnitte dar.



WB 1: Sowohl Fenster als auch Wandaufbau sind hier vereinfacht modelliert. Es geht nur um die Einbausituation. Das dargestellte Prinzip wird häufig bei Sanierungen gewählt: das Fenster schliesst aussen eben mit der alten Wandkonstruktion (grau, ungedämmtes Mauerwerk) ab („ausen bündig“). Die Dämmung – das ist wichtig – wird so weit wie möglich über den Fensterblendrahmen „gezogen“, (gelb, ohne Darstellung der Unterkonstruktion) hier limitiert durch das Anschlussdetail für die hölzerne Fensterlaibung.



WB 2: Alternativ kommt diese Platzierung in Frage, wenn die Lage der Fensterbeschläge dieses zulässt (verdeckt liegende Bänder). Das Fenster wird also aussen auf die bestehende Wand montiert, daher ist es nun auch grösser – mehr Lichteinfall und nun auch innenseitig eine gewisse Einbindung in die Konstruktion. ABER: die innere Überdeckung des Blendrahmens besteht nicht aus Dämmstoff, sondern aus plumpem Mauerwerk. Daher „geben sich die beiden Varianten energetisch nicht viel“, ein erheblicher Unterschied ist hingegen zur „traditionellen“ Einbauvariante, mitten in der alten Fensteröffnung zu erkennen:



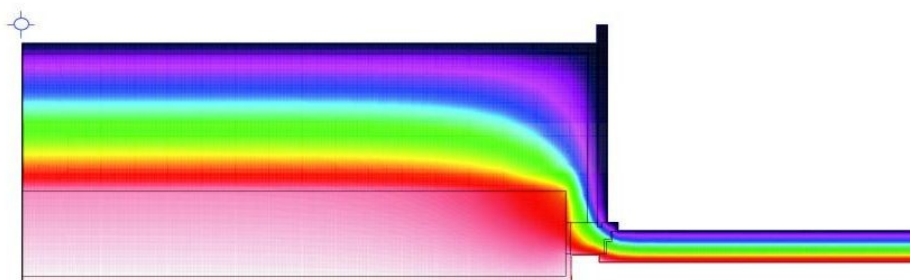
WB3: die traditionelle Montage

Nr.	Name	Beschreibung	$\Psi$ (PSI):	Thermischer Leitwert L
WB 1	aussen aussen Rohbau	Die Aussenfläche des Fensterblendrahmens ist mit der Aussenfläche der bisherigen Fassade in einer Ebene. Die Wärmedämmung schliesst aussen direkt an diese Ebene an	-0,024 W/mK	1,03 W/mK
WB2	aussen auf Rohbau	Das Fenster wird aussen vor die bisherige Fassadenöffnung montiert und ist dadurch etwas grösser als in WB1	0,025 W/mK	1,08 W/mK
WB2 alternativ	aussen auf Rohbau	Die Einbausituation ist unverändert, jedoch werden die Flächen für die „EnEV-Berechnung“ anders gemessen: statt der Rohbauöffnung wird das Blendrahmen-Aussenmass als Fenstergrösse angesehen. So wird die Berechnung dem Umstand gerecht, dass tatsächlich ein grösseres Fenster eingebaut wird als in WB1	-0,032 W/mK	1,06 W/mK
WB3	mitten in Laibung	Das Ergebnis ist noch moderat, da die Laibungsdämmung dick ausgeführt ist.	0,025 W/mK	1,08 W/mK

In Variante WB2 ist das Fenster, auch die transparente Fläche, grösser als in den alternativen Varianten. Daher ist es für die Bilanz richtig, auch ein grösseres Mass für das Fenster einzurechnen und



dadurch die Korrektur aus Spalte WB2a,  $-0,32 \text{ W/mK}$ , zu erhalten. Was ist dieses  $\Psi_{\text{ext}}$ ? Ein Korrekturwert für den Wärmestrom, der sich durch genauere Untersuchung gegenüber der vereinfachten Berechnung nach EnEV mit dem sogenannten Aussenmass-Bezug ergibt. Es wird also zunächst plump gerechnet und dann genauer hingeschaut. An Wärmebrücken ergeben sich so manchmal Zuschläge, bei guter Konstruktion aber durchaus auch Abzüge! Daher kann eine (relativ aufwändige) detaillierte Berechnung der Wärmebrücken die Bilanz erheblich verbessern: ein pauschaler Zuschlag auf die Bauteil-U-Werte bleibt dann aus und im günstigsten Fall entstehen zusätzlich Abzüge beim Transmissionswärmebedarf! Die beste Beurteilungsgrundlage für die drei verglichenen Details ist aber nicht der Korrekturwert für den ursprünglichen Fehler, sondern der Kennwert für den tatsächlichen Wärmestrom (bezogen auf die Länge der Wärmebrücke). Er wird in der obigen Tabelle als thermischer Leitwert bezeichnet. Der gesamte abgebildete Bauteilausschnitt hat je Kelvin Temperaturdifferenz und je Meter Länge (Höhe) also je nach Variante 1,03 bis 1,08 W Wärmeabstrom. W2 hat aber zusätzlich den Vorteil des grösseren Fensters! Hier noch beispielhaft ein Schaubild zu den resultierenden Temperaturen im Bauteilschnitt bei  $-10^\circ \text{ C}$  aussen und  $20^\circ \text{ C}$  innen, nur für Beispiel WB3:



Auch bei dieser „schlechtesten“ Lösung werden nirgends innen kritisch niedrige Temperaturen erreicht. Die Laibungsdämmung ist hier aber auch „maximal dick“.

## 4 Kosten von Fenstererneuerungen

Ich habe noch nicht erwähnt, dass es Fälle gibt, wo schon das Nachbessern der Dichtungen und Justieren der Beschläge sehr günstig Verbesserungen bewirken kann. Ein ebenfalls denkbarer Schritt bei hochwertigen Fensterrahmen könnte der Austausch der Verglasung sein. Spätestens wenn eine Fassadendämmung durchgeführt wird, sollten aber neue Fenster eingebaut werden, wenn bisher Standard-IV-Fenster<sup>3</sup> oder gängige DV-Fenster<sup>4</sup> verbaut waren.

Technische Eigenschaften und Kosten für Austauschfenster zeigt die folgende Tabelle:

<sup>3</sup> in der Regel: Isolierverglasungen von vor 1994

<sup>4</sup> Fenster, deren Flügel aus zwei gekoppelten einfach verglasten Flügeln bestehen, Zwischenraum zum Putzen etc. zugänglich

Merkmale	Kurzzeichen / Einheit	Fenster 1978	Fenster 2000	Fenster 2012
Verglasung		Standard-Isolierverglasung, 2-fach	Wärmeschutzverglasung, 2-fach	Wärmeschutzverglasung, 3-fach
Füllung im Zwischenraum		Luft	Edelgas	Edelgas
Reflexbeschichtung		-	1	2
Wärmedurchgangskoeffizient Verglasung	$U_G$ / W/m <sup>2</sup> K	2,8	1,2	0,6
Randverbund		Aluminium	Edelstahl	Kunststoff
Längenbez. Wärmedurchgangskoeffizient	$\Psi$ / W/mK	0,07	0,05	0,04
Typische Oberflächentemperatur 20/-12 (Fläche)		8,4°C	15,0°C	17,5°C
Typische Oberflächentemperatur 20/-12 (Rand)		gemessen: 5,1 °C	geschätzt: 13°C	geschätzt: 15,5 °C
Rahmen		Holz 68 mm, PVC 3-Kammer	Holz 78 mm, PVC 4-Kammer	Holz, PVC, verbesserte Aufbauten („Passivhaus“)
Wärmedurchgangskoeffizient Rahmen	$U_F$ / W/m <sup>2</sup> K	2,2	1,5-2,0	0,8
Typischer Wärmedurchgangskoeffizient Fenster insgesamt	$U_W$ / W/m <sup>2</sup> K	2,6	1,45	0,79
Typischer Austauschpreis (Fenster)			380 – 700 €/m <sup>2</sup>	700 – 1200 €/m <sup>2</sup>

Preislich unterscheiden sich die Fenster auch nach der Rahmenbauart. Als Anhaltswerte können angenommen werden:

Dreifachverglasung, PVC-Rahmen	400,- €/m <sup>2</sup> bis 800,- €/m <sup>2</sup>
Dreifachverglasung, Holz-Rahmen	700,- €/m <sup>2</sup> bis 1000,- €/m <sup>2</sup>
Dreifachverglasung, Holz-ALU-Passivhaus-Rahmen	1000,- €/m <sup>2</sup> bis 1400,- €/m <sup>2</sup>

Alles einschliesslich Ausbau, Entsorgung und Einbau, übliche Fenstergrössen, ohne Bögen etc, ohne neuen Verputz in der Laibung, Stand Anfang 2012.

## 5 Qualitätssicherung und Anforderungen

Fenster und Türen müssen mit einem „CE-Zertifikat“ ausgeliefert werden, das unter anderem die wichtigsten thermischen Eigenschaften nachweist. Die darin genannten Wärmedurchgangskoeffizienten ( $U_W$ ) sind in Abhängigkeit von der Fenstergrösse einzeln berechnet!

Werden Fenster ausgetauscht, so ist beim Qualitätsnachweis über das „Bauteil-Verfahren“ (EnEV Anlage 3, Tabelle 1) in der Regel ein  $U_W$  von 1,3 W/m<sup>2</sup>K zu unterbieten (Dachfenster: 1,4), bei Sonderverglasungen bestehen aber höhere Grenzwerte. Verglasungen müssen den Grenzwert 1,1 W/m<sup>2</sup>K einhalten. All das ist mit zweifach-Wärmeschutzverglasungen erreichbar, die per EnEV quasi seit 1994 „Pflicht“ sind. Für die KfW-Einzelmassnahmenförderung braucht es aber 0,95 W/m<sup>2</sup>K oder weniger (für das ganze Fenster), was nur mit dreifach-Verglasung erreichbar ist. Neubauten (prinzipiell aber auch Altbauten, die saniert werden) werden über den Primärenergiebedarf und die Hüllflächenqualität insgesamt nachgewiesen. Die Referenzgebäude, mit denen die Planung zu vergleichen ist, haben Fenster mit  $U_W = 1,3$  W/m<sup>2</sup>K.

Nach EnEV ist sowohl die Dichtheit als auch der erforderliche Mindestluftwechsel des Gebäudes zu gewährleisten.

Zahlreiche technischen Anforderungen und die Bestimmung der Kennwerte und Klassifizierung sind in DIN EN 14351-1 geregelt.

## 6 Ökobilanz

### 6.1 Holz vs. PVC -Vergleichende Betrachtung der EPD-Werte

Das Institut für Fenstertechnik, Rosenheim, stellt in Zusammenarbeit mit den Fensterherstellern, die ein Zertifikat beantragen, genormte Produktdeklarationen EPD<sup>5</sup> aus und publiziert sie auf seiner [homepage](#). Derzeit finden sich dort eine Deklaration für Holzfenster, eine für PVC-Fenster und einige für Aluminiumfenster.

Jede Bewertung, jedes Urteil ist von der Blickrichtung abhängig, auf Ökobilanzen bezogen vor allem von den **Systemgrenzen**. Womit sollte denn ein Fenster zum Zweck der ökologischen Bewertung verglichen werden? Mit einer geschlossenen Wand, die kein Licht durchlässt? Mit einer offenen Aussparung in der Wand, die tatsächlich nicht entsorgt werden muss? Sinnvoll wäre vor allem der Vergleich des Fensters TYP A mit dem Fenster TYP B, im Idealfall bei exakt gleichem Nutzen. Es bleiben aber die Fragen offen: welcher Anteil der heute verbauten Fenster wird in 30 Jahren dem Recycling zugeführt? Mit welcher Wahrscheinlichkeit tritt ein Brand im Gebäude auf und wie sind die in diesem Fall unbeabsichtigt entstehenden Emissionen zu bewerten? Wenn eine kritische Stellungnahme von [Greenpeace](#) zu veröffentlichten Bilanzen über PVC glaubhaft ist, wurden in den vorliegenden Ökobilanzen, die von den Herstellern beauftragt wurden, die unklaren Sachverhalte zu Gunsten der PVC-Fenster ausgelegt.

Die veröffentlichten EPD<sup>6</sup> für [Holzfenster](#) und [PVC-Fenster](#) sind äusserst interessante Lektüre, auch weil sie zeigen, welche Einflüsse die Wahl der Bilanzgrenze auf die Ergebnisse hat.

Da die Ökobilanzen (erstellt im Jahr 2012) über den gesamten Lebenszyklus berechnet werden, fließen Prozesse während der Nutzung des Fensters ein, die teilweise die Wirkungen im Herstellungsprozess „überschatten“. Da geht es um Heizenergieaufwand (nochmals: was gäbe es zu heizen, wenn das Fenster nicht da wäre?), um Reinigung (wichtigster Prozess hinsichtlich des Wasserverbrauchs in der Energiebilanz), Erhaltungsmaßnahmen. Dadurch wird die Dauerhaftigkeit der Konstruktion berücksichtigt, was ja sinnig ist. Es besteht aber gleichzeitig die Gefahr, auch hier durch eine pauschalierende Annahme, zum Beispiel über einen Anstrichaufbau die denkbare Bandbreite, die durch Alternativen besteht, auszublenden. Das Gegenteil sollte der Fall sein: der Blick sollte auf all die Prozesse gelenkt werden, wo durch umsichtige Entscheidungen Verbesserungen möglich sind! Ist durch

---

5 Environmental Product Declaration nach ISO 14025

6 Aus Gründen des Urheberrechts veröffentliche ich hier keine Auszüge des frei verfügbaren Dokuments.

späteres Recycling eine Einsparung in einem Produktionsprozess zu erwarten, so wird diese in der Bilanz als Gutschrift dargestellt.

Die diversen Umwelteffekte der zu vergleichenden Produkte können nicht ohne Weiteres addiert werden, das wäre Äpfel mit Birnen verglichen. Ein vermutlich brauchbarer „Einzahl-Wert“ für die Umweltwirkungen ist der „OI3-Indikator“ des Österreichischen Institut für Baubiologie IBO<sup>7</sup>, der die drei Ökoindikatoren „Primärenergieaufwand“, „Erwärmungspotential“ und „Versauerungspotential“ gewichtet miteinander verrechnet. Rohstoffknappheit und akut toxische Wirkungen im Lebenszyklus fließen allerdings nicht ein, ebenso das „Sommermog-Potential“. Um die Teilprozesse differenziert darzustellen, habe ich die Ökoindikatoren mit 4 unterschiedlich gewählten „Systemgrenzen“ bzw. Kombinationen von Teilprozessen berechnet. Die Wirkung der beiden Fenstertypen auf die Gebäudeenergiebilanz wird in den EPD als gleich angenommen. Sie überwiegt übrigens die Umweltwirkung der Fenster-Produktion, Erhaltung und Entsorgung deutlich. Die Berechnungen basieren auf 1 m<sup>2</sup> Fensterfläche.

Zunächst die Bewertung über alle Zyklusphasen **inklusive** verursachtem Heizenergieaufwand für das Gebäude.

#### a) Bei Berücksichtigung aller Zyklusphasen

OI3 <sub>KON</sub>
/ Pkt/m <sup>2</sup>

PVC-Fenster nach EPD	502
Holz-Fenster nach EPD	536

Hohe Punktzahl steht für erhebliche Umweltauswirkungen. Das Holzfenster wird merklich schlechter bewertet. Woher kommt das?

#### b) ohne Nutzung und Recycling-Gutschrift

PVC-Fenster nach EPD	82
Holz-Fenster nach EPD	62

Wenn **nur die Produktion und Entsorgung** der Fenster betrachtet wird, fällt das Urteil gegenteilig aus! Die günstige Beurteilung der PVC-Fenster resultiert also aus einer Recycling-Gutschrift, die unterstellt, dass nach der Nutzungsphase das Fenster in folgenden Produktionsprozessen Gutschriften gegenüber der Primärproduktion erzielt. Bisher werden aber PVC-Fenster kaum in Recycling-Prozessen eingesetzt.

<sup>7</sup> <http://www.baubook.at/>, für gewisse Dienste ist die Registrierung beim Betreiber der Seite erforderlich

### c) nur Recyclinggutschrift

PVC-Fenster nach EPD	-116
Holz-Fenster nach EPD	-81

### d) nur Erhaltung der Fenster

PVC-Fenster nach EPD	16
Holz-Fenster nach EPD	35

Die beiden letzten Gegenüberstellungen beziehen sich zunächst allein auf die Recycling-Gutschrift und in der unteren Tabelle auf Erhaltungsmassnahmen an den Fenstern während der Nutzungsdauer. Bei Holzfenstern wird hier von Anstricherneuerungen (konventionelle Anstriche) ausgegangen, die beim PVC-Fenster entfallen. Die Umweltauswirkungen dieser Massnahmen sind aber effektiv von den gewählten Anstrichsystemen und von der Häufigkeit der Pflegemassnahmen abhängig, diese wiederum von der Witterungsexposition der Fenster.

Der Deutsche Fensterhersteller-Verband VFF zitiert eine Auftragsstudie für zwei Fachverbände, welche die Schweizer EMPA 1996 abschloss:

„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.“

Berechnungen in der „kritischen Prüfung“ (Greenpeace) aus den Rohdaten jener Studie liefern Vergleichsergebnisse ohne Anrechnung der „von den Fenstern verursachten“ Energieaufwendungen während der Nutzung und liefern ein ganz anderes Bild, nämlich deutliche Vorteile der Holzfenster.

## 6.2 Fazit

Die Bewertung der Daten aus den EPD oder sonstiger Umweltdaten von Bauprodukten erfordert eine genaue Betrachtung der Randbedingungen, unter denen die Werte ermittelt wurden. Die Bandbreite denkbarer Ergebnisse ist sehr gross. Keins der Bewertungsverfahren kann einen allein-Vertretungs-Anspruch für sich geltend machen. Unbestreitbar ist, dass veraltete und daher thermisch schlechte Fenster über den verursachten Heizenergieaufwand Umweltauswirkungen hervorrufen, die deutlich grösser sind als die hier festgestellten Unterschiede zwischen den Fenster-Systemen. Die Unterschiede aus den EPD-Daten, die der OI3 wiedergibt, sind derart gering, dass es ratsam scheint, weitere Kriterien wie die Rohstoff-Verfügbarkeit oder die ortsnahe Produktion einzubeziehen und bei der Detailgestaltung (z.B. Oberflächenbeschichtung) ökologisch vorteilhafte Varianten zu bevorzugen.

## **7 Aspekte ausserhalb der Energie- und Ökobilanz**

Für die umfassend zu betrachtende Nachhaltigkeit spielen weitere Funktionen der Fenster eine Rolle. Brandschutz, Schallschutz, Schlagregen-Dichtheit, Einbruchsicherheit, Unfallgefahren, Bedienbarkeit, Schutz gegen Wärmeeintrag im Sommer...

Je nach Umständen bei der Planung können diese Aspekte in den Vordergrund treten.