

Living Comfort

Wie Behaglichkeits- und Hygienekriterien bei Fenstern
in verschiedenen Klimaten erreicht werden können

Eine Studie des Passivhaus Instituts (PHI)
Im Auftrag von SWISSPACER, Kreuzlingen, Schweiz

Autor: Prof. Dr.-Ing. Benjamin Krick
Dezember 2019

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Thermische Behaglichkeit	3
1.2	Hygiene.....	5
2	Fenster – Prüfstein für Behaglichkeit und Hygiene.....	6
2.1	Aluplast Ideal 4000: Kunststoffsterrahmen mit 2-fach Wärmeschutzverglasung	8
2.2	Aluplast Ideal 8000: Kunststoffsterrahmen mit 3-fach Wärmeschutzverglasung	9
2.3	Aluplast Energeto 8000: Isolierter Passivhaus-Kunststoffsterrahmen mit 3-fach Wärmeschutzverglasung	10
2.1	Hilzinger VADB 550+: Isolierter Kunststoffsterrahmen mit 3-fach Wärmeschutzverglasung	11
2.2	VADB 550pro: Isolierter Kunststoffsterrahmen mit 4-fach Wärmeschutzverglasung	12
3	Zusammenfassung	13

1 Einleitung

Jeder wünscht sich ein gemütliches, behagliches Zuhause. Was gibt es Schöneres, als an kalten, grauen Tagen bei einer warmen Tasse Tee oder einem Glas Rotwein im Kreise der Familie daheim zu sein?

Behaglichkeit hat viel mit Wärme zu tun. Und um es warm zu haben, muss geheizt werden. Meldet sich da in Zeiten des Klimawandels das schlechte Gewissen?

Muss es nicht, denn mit einer thermisch hochwertigen Gebäudehülle lässt sich das behaglich Warme gut von einem hohen Energieverbrauch entkoppeln. Mehr noch, hochwertige Fenster und Verglasungen sind grundlegend für die Erfüllung der gewünschten thermischen Behaglichkeit. Mit guten Komponenten gehören auch Kondensat und Schimmel am Glasrand der Vergangenheit an. Und eine hohe Energieeinsparung, oder sogar ein Netto-Energiegewinn durch die Fenster wird nebenbei auch noch erreicht. Aber was ist das eigentlich genau, thermische Behaglichkeit? Und wie kann sie erreicht werden? Kondensat und Schimmel am Glasrand – wie entstehen sie und was kann zur Vermeidung getan werden?

Diese Fragen beantwortet die vorliegende Studie.

1.1 Thermische Behaglichkeit

Wir empfinden einen Raum dann als thermisch behaglich, wenn er eine bestimmte operative Temperatur (θ_{op}) hat, die sich aus dem Mittelwert der Lufttemperatur und der umgebenden Oberflächen zusammensetzt. Störend empfunden werden außerdem Zugluft und starke Temperaturunterschiede zwischen einzelnen Flächen (θ_{si}) und der operativen Raumtemperatur. Bei einem alten Fenster beispielsweise ist die Oberfläche innen im Winter verhältnismäßig kalt. Der Körper verliert viel Wärme an diese kalte Oberfläche, was als unbehaglich empfunden wird. Auch kühlt die Luft vor dieser kalten

Oberfläche ab, ihre Dichte nimmt zu und sie sackt nach unten ab. Daraus entsteht eine Kaltluftwalze, die störende Zugerscheinungen verursacht. Ist die Temperaturdifferenz zwischen diesen kälteren Flächen und der operativen Raumtemperatur kleiner 4,2 Kelvin¹, treten diese störenden Effekte nicht mehr auf.

Damit lautet die Behaglichkeitsanforderung: $\theta_{si} \geq \theta_{op} - 4,2 \text{ K}$

Auf dieser Grundlage lassen sich standortbezogene Aussagen zur thermischen Behaglichkeit ableiten. Dazu wird anhand des kältesten Tagesmittels eines Referenzjahres an diesem Standort die relevante minimale Außentemperatur (θ_a) bestimmt. Mit dieser relevanten minimalen Außentemperatur und der maximalen Temperaturdifferenz lässt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient U errechnen, unterhalb dessen die thermische Behaglichkeit gewährleistet ist:

$$U \leq \frac{4,2}{R_{si} \cdot (\theta_{op} - \theta_a)}$$

Dabei ist R_{si} der innere Wärmeübergangswiderstand mit 0,13 m²K/W.

Wird die operative Raumtemperatur mit 22 °C und die Außentemperatur mit -16 °C angesetzt, errechnet sich ein U-Wert von 0,85 W/(m²K). Dieser Wert ist bekannt als das Passivhaus-Behaglichkeitskriterium für das kühl-gemäßigte Klima.

Dieser U-Wert gilt auch für das eingebaute Fenster. Wird das nicht eingebaute Fenster alleine betrachtet, gilt der Grenzwert von 0,80 W/(m²K) im kühl-gemäßigten Klima, um einen Puffer für die Einbau-Wärmebrücken zu gewährleisten.

Gelingt es nicht, diesen Kennwert zu erreichen, sollte eine Wärmequelle

¹ Vgl. z.B. Pfluger, R., Schnieders J., Kaufmann B, Feist, W.: **HIWIN – Hochwärmedämmende Fenstersysteme: Untersuchung und Optimierung im eingebauten Zustand**. Darmstadt, 2003.

Download unter www.passiv.de. Ähnliche Empfehlungen in ISO 7730, Komfortklasse A.

unterhalb des Fensters vorgesehen werden, um störenden Kaltluftabfall und Strahlungswärmeentzug zu unterbinden und die gewünschte Behaglichkeit zu erreichen.

Wie die Behaglichkeitsformel zeigt, ist der maximale U-Wert des Bauteils von der Außentemperatur abhängig, und damit vom lokalen Klima. In

Tabelle 1 sind die Auslegungstemperaturen für unterschiedliche Klimate und die zugehörigen U-Werte aufgelistet. Die Abbildung „Maximale U-Werte in Europa“ stellt die Behaglichkeitsanforderung an den Wärmedurchgangskoeffizienten grafisch dar. Die Karte zeigt die höchsten Anforderungen im Norden und Nordosten Europas. Hier ist es am kältesten und die Heizperiode ist am längsten. Im Extremfall wird es in diesen Regionen im Kernwinter nicht richtig hell, in dieser Zeit gibt es keine solaren Gewinne. In diesen Breiten ist es auch aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, kleine Fenster zu wählen. Gleiches gilt, wenn auch aus dem genau umgekehrten Grund, im Mittelmeerraum. Hier können die U-Werte hoch bleiben, das solare Angebot ist aber so hoch, dass es leicht zu Überhitzungen kommen kann. Vermeidbar ist dies durch Verschattung, Sonnenschutzglas oder durch Reduktion der Fenstergrößen. Erleichterung erreichen Verglasungen, die einen deutlich niedrigeren U-Wert aufweisen, als durch das Behaglichkeitskriterium gefordert ist. Auf den britischen Inseln macht sich der Einfluss des Golfstromes in den hohen U-Werten bemerkbar. Hier ist das Klima mild, die Anforderungen bleiben gering. Mit der Höhe eines Standortes sinkt die Temperatur, die Anforderung an die Verglasung steigt. Dies ist auf der Karte beispielsweise im Alpenraum ersichtlich.

Tabelle 1: Auslegungs- und Anforderungswerte für Hygiene und Behaglichkeit in den unterschiedlichen Klimaten. © Passivhaus Institut

Kennwert / Klima		Arktisch	Kalt	Kühl-gemäßigt	Warm-Gemäßigt	Warm
Behaglich-keit	Auslegungstemperatur [°C]	-50	-28	-16	-9	-4
	Behaglichkeits-U-Wert [W/(m²K)]	0,45	0,65	0,85	1,05	1,25
	... für Fenster ohne Einbauwärmebrücken [W/(m²K)]	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
Hygiene	Auslegungstemperatur [°C]	-34	-16	-5	3	10
	Relative Raumlufffeuchte [%]	40%	45%	50%	55%	70%
	Temperaturfaktor $f_{R_{Si}=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}}$ [-]	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55

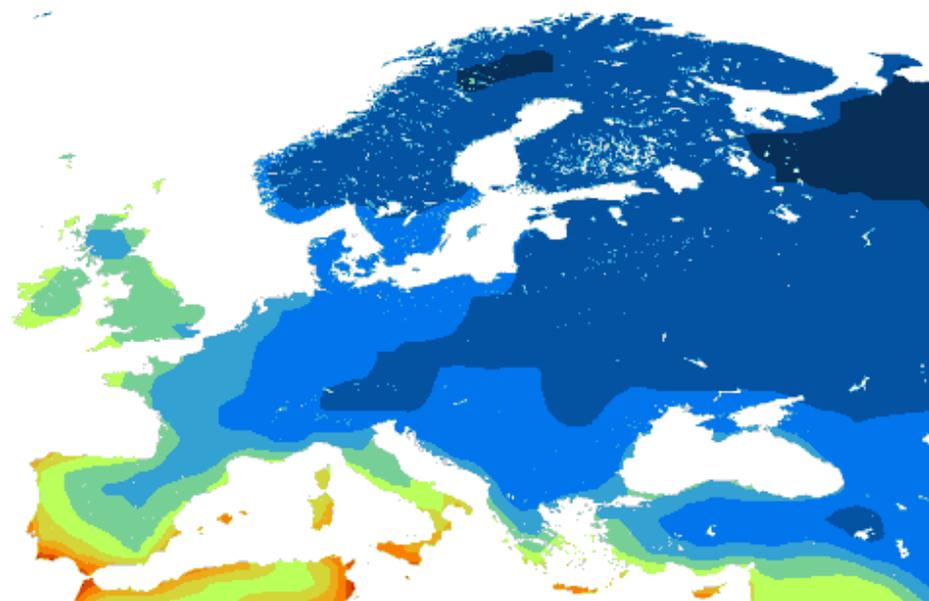


Abbildung 1: Maximale U-Werte in Europa zum Erreichen des Behaglichkeitskriteriums. © Passivhaus Institut

1.2 Hygiene

Jeder kennt diese Situation: Nach dem Duschen schlägt sich Kondensat am Glasrand der Fenster nieder. Gerade dort zuerst, weil dies in der Regel die kälteste Stelle im Raum ist. In der Folge bildet sich allzu oft Schimmel, der aufgrund der hohen Feuchtigkeit hier gut gedeiht – und zu gesundheitlichen Problemen führen kann. In Kombination mit dem Tauwasser können auch Bauschäden auftreten, die insbesondere bei Holzfenstern zu einer deutlichen Verkürzung der Nutzungsdauer führen können. Für Abhilfe sorgt, neben einer richtig eingestellten Lüftungsanlage, die Erhöhung der Temperatur des Glasrandes. Diese ist, wie bereits angedeutet, abhängig vom gewählten Abstandhalter sowie von der Stärke des Glaspaketes und dem Einbau der Scheibe im Fenster. Die ersten Resultate bietet stets die Kombination aus thermisch hochwertigem Abstandhalter, 3-fach Verglasung mit möglichst breiten Scheibenzwischenräumen und einem gut gedämmten Fensterrahmen.

Als Indikator für die hygienischen Verhältnisse am Glasrand hat sich der Temperaturfaktor $f_{R_{Si}} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ etabliert. Liegt dieser Wert im kühl-gemäßigten Klima bei mindestens 0,7, kann davon ausgegangen werden, dass bei normalen Raumlufffeuchten kein Schimmel entsteht. Dieses Kriterium leitet sich aus DIN 4108-3 ab. Hier wird eine Außenlufttemperatur von -5 °C, eine Innlufttemperatur von 20 °C und eine relative Luftfeuchte Innen von 50 % angenommen. Unter diesen Bedingungen liegt der Taupunkt bei 9,3 °C. Luft speichert mit steigender Temperatur eine zunehmende Menge an Wasserdampf. Die relative Raumlufffeuchte von 50 % bei 20 °C bedeutet, dass der Feuchtespeicher Luft bei dieser Temperatur zu 50 % gefüllt ist. Sinkt die Temperatur, verkleinert sich der Speicher, der Füllgrad steigt und entsprechend die relative Luftfeuchte. Bei einer bestimmten Feuchte ist eine Luftfeuchtigkeit von 100 % erreicht, der Feuchtespeicher Luft ist also voll. Dieser Punkt wird Taupunkt genannt und liegt in unserem Beispiel bei 9,3 °C. Denn bei weiter sinkender Temperatur

verkleinert sich der Speicher weiter; bildhaft gesprochen, läuft er über. Tauwasser fällt aus und zeigt sich in Form von Kondensat z.B. an der kalten Fensterscheibe oder eben am Glasrand.

Analog zum Taupunkt lässt sich ein Schimmelpunkt definieren. Und zwar nicht als 100 % relativer Luftfeuchte an der kalten Stelle, sondern bei 80 % relativer Luftfeuchte. Denn wenn über einen längeren Zeitpunkt eine Luftfeuchte von über 80 % gegeben ist, sind die Wachstumsbedingungen für relevante Schimmelarten erfüllt. Dieser Zustand (bei 20 °C Raumlufttemperatur und 50 % relativer Raumluftfeuchte) tritt ab einer Oberflächentemperatur von 12,6 °C auf.

Mit diesen Randbedingungen kann der genannte Temperaturfaktor berechnet werden:

$$f_{Rsi=0,25m^2K/W} = \frac{\theta_{si} - \theta_a}{\theta_i - \theta_a} = \frac{12,6^\circ C - -5^\circ C}{20^\circ C - -5^\circ C} = 0,7$$

In anderen Klimaten mit anderen Luftfeuchten und Außentemperaturen resultieren andere Temperaturfaktoren, die nicht unterschritten werden sollten, um Schimmel zu vermeiden. In

2 Fenster – Prüfstein für Behaglichkeit und Hygiene

Fenster sind in jedem Gebäude besondere Komponenten. Sie ermöglichen den Kontakt zur Außenwelt. Fenster unterscheiden sich von anderen Bauteilen dadurch, dass sie nicht nur Energie verlieren. Sie sind

Tabelle 1 sind die Temperaturfaktoren und die zugehörigen Randbedingungen dargestellt.

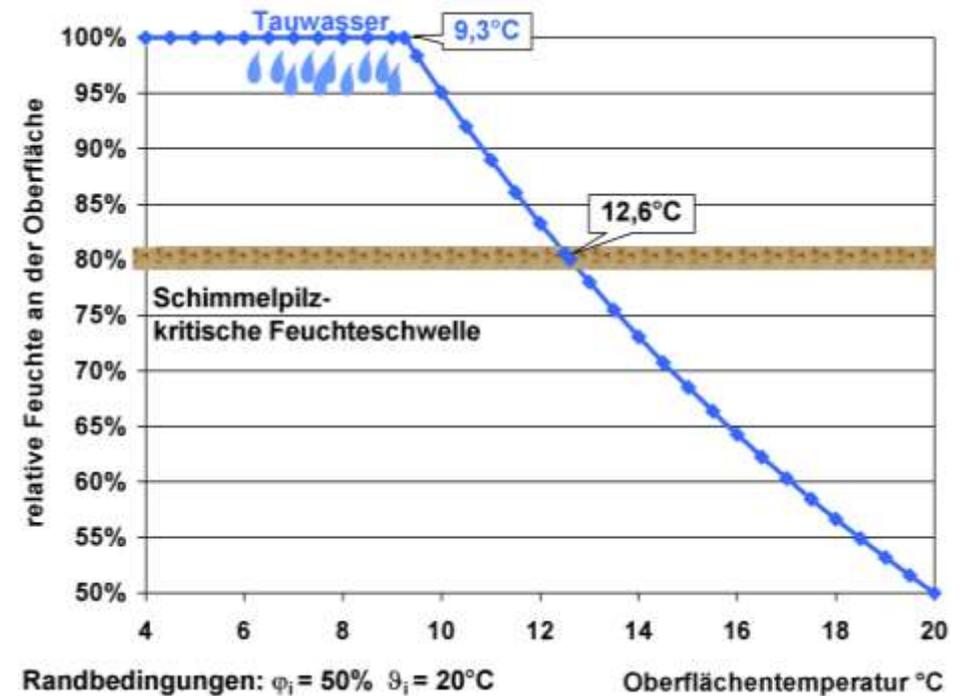


Abbildung 2: Oberflächentemperatur und zugehörige relative Feuchte an der Oberfläche bei einer Raumtemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 %. Tauwasser entsteht unter 9,3 °C, Schimmel unter 12,6 °C. © Passivhaus Institut

auch in der Lage, Energie zu gewinnen. Im besten Fall mehr, als sie verlieren. Dann wird das Fenster zur Heizung.

Für den Komfort spielen die Fenster eine besondere Rolle, da sie in der Regel die thermisch schwächsten Elemente im ganzen Gebäude sind. Hier entscheidet sich an erster Stelle, ob das Gebäude die gewünschte thermische Behaglichkeit erreichen kann. Dabei gilt es stets, das Fenster in Verbindung mit dem Standort des Gebäudes zu sehen. Ein Fenster mag im warmen Mittelmeer-Klima perfekte Behaglichkeit bieten, im kalten Norden jedoch lange nicht ausreichend sein.

Den größten Einfluss auf den U-Wert des Fensters hat die Verglasung, da diese flächenmäßig den höchsten Anteil hat. In warmen Klimaten ist eine 2-fach Verglasung ausreichend. Aber schon in warm-gemäßigten Gebieten ist 3-fach Verglasung empfehlenswert. In kühl-gemäßigten und kalten Regionen wird 3-fach Verglasung notwendig. In arktischen Klimaten muss eine 4-fach Verglasung eingesetzt werden.

Auch der Fensterrahmen spielt eine Rolle. Können für das warme und warm-gemäßigte Klima ungedämmte Fensterrahmen ausreichen, ist eine Dämmung im Fensterrahmen für das kühl-gemäßigte Klima empfehlenswert, für kältere Klimate notwendig.

Auch beim Thema Hygiene ist das Fenster, genauer gesagt die Stelle, an der Fensterrahmen und Glas ineinander greifen, eine Schwachstelle. Am Glasrand herrscht in der Regel die geringste Temperatur des gesamten Gebäudes. So kalt, dass sich Schimmel und Kondensat bilden können. Eine entscheidende Rolle spielt hier der sogenannte Randverbund. Ein wesentliches Element des Randverbunds ist der Abstandhalter, welcher die einzelnen Scheiben der Verglasung auf Distanz hält und das im Scheibenzwischenraum befindliche Gas am Austreten hindert.

Wird hier, wie leider allzu häufig, ein Abstandhalter aus Aluminium verwendet, sind Hygieneprobleme vorprogrammiert. Aluminium ist zwar preiswert und leicht zu verarbeiten. Aber die Wärmeleitfähigkeit ist mit 160 W/(mK) sehr hoch. Es bildet sich eine große Wärmebrücke, die einerseits für einen hohen Energieverlust sorgt und damit den Klimawandel anheizt. Andererseits führt diese Wärmebrücke auch zu niedrigen

Oberflächentemperaturen, die der Grund für Schimmel und Kondensat sind.

Wird ein Abstandhalter aus Edelstahl statt aus Aluminium verwendet, verringern sich die Wärmeverluste deutlich und die Temperatur am Glasrand steigt, da Edelstahl nur etwa ein Zehntel der Wärmeleitfähigkeit von Aluminium hat. Die etwas höheren Materialkosten können in aller Regel durch die geringeren Energieverluste ausgeglichen werden.

Die im Regelfall beste Wahl ist der Einsatz eines hoch effizienten Kunststoff-Abstandhalters, wie z.B. dem Swisspacer Ultimate. Er hat einen Korpus aus faserverstärktem Kunststoff, der die Stabilität gibt und eine mit Metall bedampfte Kunststoffolie, um den Austritt des Füllgases aus dem Scheibenzwischenraum zu verhindern. Die Wärmeleitfähigkeit des faserverstärkten Kunststoffes liegt bei etwa einen Vierhundertstel der Wärmeleitfähigkeit von Aluminium. Es ist leicht vorstellbar, dass sowohl der Wärmeverlust als auch die niedrigen Temperaturen mit diesem Material deutlich entschärft werden.

Im Folgenden werden beispielhaft verschiedene Kunststofffenster, jeweils mit Abstandhaltern aus Aluminium, Edelstahl und Kunststoff vorgestellt und auf ihre Eignung hinsichtlich Behaglichkeit und Hygiene in unterschiedlichen Klimaten diskutiert. Die Abmessungen der Fenster wurden mit 1,2 m Breite und 2,5 m Höhe gewählt.

2.1 Aluplast Ideal 4000: Kunststofffensterrahmen mit 2-fach Wärmeschutzverglasung

Das Ideal 4000 ist ein 5-Kammerprofil mit 70 mm Bautiefe, das vor allem für die Aufnahme von 2-fach Verglasungen geeignet ist, die hier mit einem Glas-U-Wert $U_g = 1,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt wurde. Generell benötigen Kunststofffenster eine Verstärkung, um die nötige Stabilität auf zu bringen. Das Ideal 4000 ist stahlverstärkt. Da Stahl eine hohe Wärmeleitfähigkeit hat, wirkt sich die Verstärkung negativ auf die thermische Qualität des Rahmens aus, dies repräsentiert der Wärmedurchgangskoeffizient $U_f [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$. Mit der gewählten 2-fach Verglasung ist $U_f 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Ein vergleichsweise hoher, also thermisch ungünstiger Wert.



Die Glasrand- Ψ -Werte betragen mit dem Aluminium-Abstandhalter $0,072 \text{ W}/(\text{mK})$, mit dem Edelstahl-Abstandhalter $0,050 \text{ W}/(\text{mK})$ und mit dem Swisspacer Ultimate $0,033 \text{ W}/(\text{mK})$. Die Reduzierung der Wärmebrückenverluste durch die besseren Abstandhalter ist deutlich.

Die Temperaturfaktoren und Fenster-U-Werte können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Aus dieser Tabelle wird auch deutlich: Das Fenster mit U-Werten zwischen $1,32$ und $1,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt das Behaglichkeitskriterium keines Klimas. Immerhin: Das Hygienekriterium für das warme Klima wird mit dem Edelstahl-Abstandhalter und dem Swisspacer Ultimate erreicht.

Die aktuelle Energieeinsparverordnung EnEV 2014/16 schreibt bei Ersatz von Bauteilen bestimmte thermische Qualitäten vor. Bei Fenstern in normal beheizten Wohngebäuden ist ein Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster U_w von maximal $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ vorgegeben. Auf die erste Nachkomma-Stelle gerundet, wird dieser Wert nur durch das Fenster mit Swisspacer Ultimate erreicht. Daraus folgt: Das 2-fach verglaste Ideal 4000 mit Aluminium- oder Edelstahl-Abstandhalter darf aus gesetzlichen Gründen in der Sanierung in Deutschland nicht eingesetzt werden.

Fazit: Mit der hier gewählten Glas-Rahmen Kombination können Behaglichkeits- und Hygieneanforderungen unter keiner der gewählten Randbedingungen erreicht werden.

Der Einsatz von 2-fach Verglasungen im warmen Klima kann sinnvoll sein. Dann sollte aber ein besserer Rahmen gewählt werden.

Zusätzlich anzumerken ist, dass es durchaus Klimate gibt, deren Anforderungen unterhalb derer des hier gewählten Klimas liegen. In diesen Fällen erreicht die hier gewählte Glas-Rahmen-Kombination die Anforderungen.

Tabelle 2: Kennwerte des Aluplast Ideal 4000 mit unterschiedlichen Abstandhaltern und Eignung für die verschiedenen Klimate.

	Abstandhalter	Aluplast Ideal 4000	Klima				
			Arktisch	Kalt	Kühl-gemäßigt	Warm-Gemäßigt	Warm
Behaglichkeit $U_w [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$	Aluminium	1,42					
	Edelstahl	1,37					
	Swisspacer Ultimate	1,32					
Hygiene $f_{Rsi=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}} [-]$	Aluminium	0,48					
	Edelstahl	0,56					✓
	Swisspacer Ultimate	0,62					✓

Abbildung 3: Aluplast Ideal 4000.

© Aluplast

2.2 Aluplast Ideal 8000: Kunststofffensterrahmen mit 3-fach Wärmeschutzverglasung

Das Ideal 8000 ist mit 85 mm Bautiefe, 6 Kammern und 3 Dichtebenen thermisch deutlich besser. Betrachtet wurde es hier mit einer 3-fach Verglasung, $U_g = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die beiden Scheibenzwischenräume sind jeweils 12 mm stark, mit Argon gefüllt und erreichen nicht das thermische Optimum von Scheibenzwischenräumen mit 18 mm. Eine leider gängige Praxis, obwohl die Mehrkosten größerer Scheibenzwischenräume gering sind und die meisten Fensterrahmen Scheiben mit mindestens 14 mm Scheibenzwischenräumen aufnehmen können. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens wird auch von der Dicke der Scheibe beeinflusst. Mit der gewählten Verglasung wurde U_f zu $1,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ermittelt. Auch das Ideal 8000 ist stahlverstärkt.



Abbildung 4: Aluplast Ideal 8000. © Aluplast

aufnehmen können. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens wird auch von der Dicke der Scheibe beeinflusst. Mit der gewählten Verglasung wurde U_f zu $1,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ermittelt. Auch das Ideal 8000 ist stahlverstärkt.

Die Glasrand- Ψ -Werte betragen mit dem Aluminium-Abstandhalter $0,075 \text{ W}/(\text{mK})$, mit dem Edelstahl-Abstandhalter $0,050 \text{ W}/(\text{mK})$ und mit dem Swisspacer Ultimate $0,031 \text{ W}/(\text{mK})$. Die Reduzierung der Wärmebrückenverluste durch die besseren Abstandhalter ist deutlich.

Die Temperaturfaktoren und Fenster-U-Werte können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Aus dieser Tabelle wird auch deutlich: Das Fenster mit U-Werten zwischen $0,92$ und $1,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt das Be-

haglichkeitskriterium des warm-gemäßigten Klimas mit allen Abstandhaltern und die des Warmen Klimas mit dem Edelstahl-Abstandhalter sowie dem Swisspacer Ultimate. Auch das Hygienekriterium des warmen Klimas wird von allen Varianten erreicht. Jenes des warm-gemäßigten Klimas jedoch nur mit dem Swisspacer Ultimate.

Fazit: Mit der gewählten Glas-Rahmen Kombination ist das Fenster mit allen Abstandhaltern für das warme Klima, und mit dem Swisspacer Ultimate auch für das warm-gemäßigte Klima geeignet.

Tabelle 3: Kennwerte des Aluplast Ideal 8000 mit unterschiedlichen Abstandhaltern und Eignung für die verschiedenen Klimate.

	Abstandhalter	Aluplast Ideal 8000	Klima				
			Arktisch	Kalt	Kühl-gemäßigt	Warm-Gemäßigt	Warm
Behaglichkeit U_w [W/(m²K)]	Aluminium	1,03					✓
	Edelstahl	0,97				✓	✓
	Swisspacer Ultimate	0,92				✓	✓
Hygiene $f_{Rs=0,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}}$ [-]	Aluminium	0,56					✓
	Edelstahl	0,64					✓
	Swisspacer Ultimate	0,70				✓	✓

2.3 Aluplast Energeto 8000: Isolierter Passivhaus-Kunststoff-fensterrahmen mit 3-fach Wärmeschutzverglasung

Das Energeto 8000 ist das Premium-Produkt aus dem Hause Aluplast. In der hier untersuchten Variante mit Rahmendämmung Energeto 8000 | Passiv, erreicht es einen zeitgemäßen Wärmeschutz und ist durch das Passivhaus Institut als Fenstersystem für das kühl-gemäßigte Klima zertifiziert. Die Besonderheit dieses Fensters: Es ist nicht mit Stahl, sondern mit faserverstärkten Kunststoffstegen armiert. In Kombination mit der Dämmung werden so Rahmen-U-Werte von $0,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht.



Betrachtet wurde das Fenster hier mit einer 3-fach Verglasung, $U_g = 0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Beide Scheibenzwischenräume sind jeweils 18 mm stark, mit Argon gefüllt, und stellen das Optimum des heute mit einer 3-fach Verglasung erreichbaren Wärmeschutzes dar.

Die Glasrand- Ψ -Werte betragen mit dem Aluminium-Abstandhalter $0,096 \text{ W}/(\text{mK})$, mit dem Edelstahl-Abstandhalter $0,052 \text{ W}/(\text{mK})$ und mit dem Swisspacer Ultimate $0,026 \text{ W}/(\text{mK})$. Die Reduzierung der Wärmebrückenverluste durch die besseren Abstandhalter ist deutlich.

Die Temperaturfaktoren und Fenster-U Werte können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Aus dieser Tabelle wird auch deutlich: Das Fenster mit U-Werten zwischen $0,67$ und $0,84 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt das Behaglichkeitskriterium des warm-gemäßigten Klimas mit allen

Abbildung 5: Aluplast Energeto 8000 | Passiv. © Aluplast

Abstandhaltern und die kühl-gemäßigten Klimas mit dem Edelstahl-Abstandhalter und mit dem Swisspacer Ultimate. Das Hygienekriterium des warm- und kühl-gemäßigten Klimas wird mit dem Edelstahl Abstandhalter und dem Swisspacer Ultimate erreicht.

Fazit: Mit der gewählten Glas-Rahmen Kombination ist das Fenster mit allen Abstandhaltern für das warme Klima, und mit dem Edelstahl Abstandhalter und mit Swisspacer Ultimate auch für das warm-gemäßigte Klima geeignet. Die Eignung für das kühl-gemäßigte Klima ist mit dem Edelstahl-Abstandhalter und dem Swisspacer Ultimate gegeben.

Ob der wärmegeämmte –und damit teurere Fensterrahmen – auch im warmen Klima ökonomisch sinnvoll ist, ist im Einzelfall zu klären.

Tabelle 4: Kennwerte des Aluplast Energeto 8000 | Passiv mit unterschiedlichen Abstandhaltern und Eignung für die verschiedenen Klimate.

	Abstandhalter	Alupl. Energeto 8000 P.	Klima				
			Arktisch	Kalt	Kühl-gemäßigt	Warm-Gemäßigt	Warm
Behaglichkeit U_w [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]	Aluminium	0,84			✓	✓	✓
	Edelstahl	0,73			✓	✓	✓
	Swisspacer Ultimate	0,67			✓	✓	✓
Hygiene $f_{Rsi=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}}$ [-]	Aluminium	0,58			✓	✓	✓
	Edelstahl	0,70			✓	✓	✓
	Swisspacer Ultimate	0,74			✓	✓	✓

2.1 Hilzinger VADB 550+: Isolierter Kunststofffensterrahmen mit 3-fach Wärmeschutzverglasung

Das Hilzinger VADB 550+ ist eine Entwicklung aus dem Hause Over. Es ist das thermisch beste Kunststofffenster, das bisher als Zertifizierte Passivhaus Komponente ausgezeichnet wurde. Leider wurde die Produktion vor einigen Jahren eingestellt.

Das Fenster erreicht durch seinen tiefen, isolierten Rahmen mit einem U_f -Wert von nur $0,62 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und den hohen Glaseinstand einen hervorragenden Wärmeschutz. Zudem ist die Rahmenansichtsbreite mit 100 mm bzw. 75 mm sehr niedrig. So wird ein hoher Glasanteil ermöglicht. Dies ist sinnvoll, da das Glas geringere U-Werte aufweist, als der Rahmen und außerdem solare Gewinne ermöglicht. Auch hier kommt das oben beschriebene Glas mit einem U_g -Wert von $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ zum Einsatz.

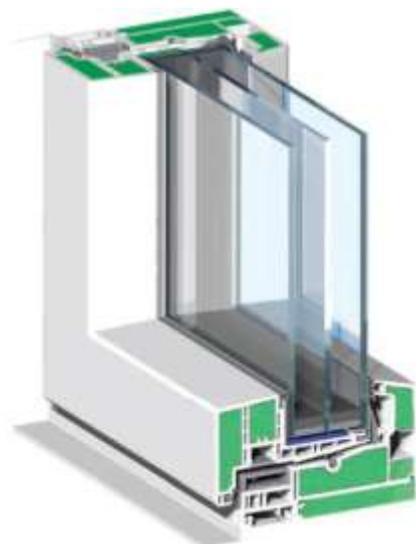


Abbildung 6: Hilzinger VADB 550+ © Aluplast

Die Glasrand- Ψ -Werte betragen mit dem Aluminium-Abstandhalter $0,063 \text{ W}/(\text{mK})$, mit dem Edelstahl-Abstandhalter $0,038 \text{ W}/(\text{mK})$ und mit dem Swisspacer Ultimate $0,022 \text{ W}/(\text{mK})$. Diese geringen Werte sind auf den hohen Glaseinstand zurückzuführen. Die Reduzierung der Wärmebrückenverluste durch die besseren Abstandhalter ist hier besonders deutlich.

Die Temperaturfaktoren und Fenster-U-Werte können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Aus dieser Tabelle wird auch deutlich: Das Fenster mit U-Werten zwischen

$0,58$ und $0,69 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erfüllt das Behaglichkeitskriterium bis zum kühl-gemäßigten Klima mit allen Abstandhaltern und zusätzlich das des kalten Klimas mit dem Swisspacer Ultimate. Das Hygienekriterium für das warm- und kühl-gemäßigte Klima wird mit dem Aluminium Abstandhalter nicht erreicht. Mit dem Swisspacer Ultimate gibt es auch in kaltem Klima keinen Schimmel.

Fazit: Mit der gewählten Glas-Rahmen Kombination ist das Fenster mit allen Abstandhaltern für das warme Klima, und mit dem Edelstahl-Abstandhalter und mit Swisspacer Ultimate auch für das warm- und kühl-gemäßigte Klima geeignet. Die Eignung für das kalte Klima ist ausschließlich mit dem Swisspacer Ultimate gegeben.

Ob der wärmegeämmte, und damit teurere Fensterrahmen auch im warmen Klima ökonomisch sinnvoll ist, bedarf der Klärung im Einzelfall.

Tabelle 5: Kennwerte des Hilzinger VADB 550+ mit unterschiedlichen Abstandhaltern und Eignung für die verschiedenen Klimare.

	Abstandhalter	Hilzinger VADB 550+	Klima				
			Arktisch	Kalt	Kühl-gemäßigt	Warm-Gemäßigt	Warm
Behaglichkeit U_w [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$]	Aluminium	0,69			✓	✓	✓
	Edelstahl	0,62			✓	✓	✓
	Swisspacer Ultimate	0,58		✓	✓	✓	✓
Hygiene $f_{\text{Rsi}=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}}$ [-]	Aluminium	0,64					✓
	Edelstahl	0,72			✓	✓	✓
	Swisspacer Ultimate	0,77		✓	✓	✓	✓

2.2 VADB 550pro: Isolierter Kunststofffensterrahmen mit 4-fach Wärmeschutzverglasung

Das hier als eine Art thermischer Best Practice-Lösung betrachtete VADB 550pro ist eine für diese Studie berechnete Abwandlung des Hilzinger 550+. Anders als beim Original hat auch das Rahmenprofil Unten nur 75 mm Ansichtsbreite. Der Glasanteil erhöht sich weiter. Die Rahmendämmung besteht aus Resolschaum mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,22 W/(mK). Damit reduziert sich der Rahmen-U-Wert auf 0,57 W/(m²K).

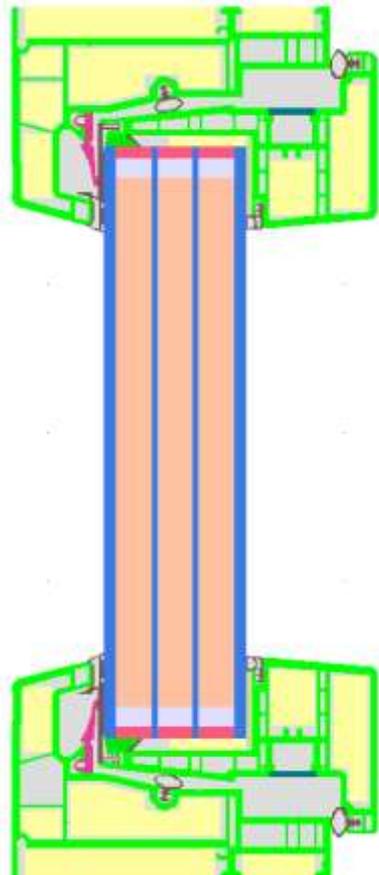


Abbildung 7: VADB 550pro
© Passivhaus Institut

Zum Einsatz kommt ein Krypton gefülltes 4-fach Glas mit 12 mm Scheibenzwischenraum. Der U_g -Wert beträgt 0,30 W/(m²K) und entspricht damit dem heute möglichen thermischen Optimum.

Anders als bei den bisher diskutierten Fenstern wurde im Glasrand eine Sekundärdichtung aus einem Spezial-Silikon der Fa. Dow mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,19 W/(mK) anstelle des bisher genutzten Polysulfid mit 0,40 W/(mK) angesetzt. Diese Maßnahme wirkt sich insbesondere beim Swisspacer Ultimate positiv auf die Temperaturen am Glasrand und die Glasrand- Ψ -Werte aus. Sie betragen mit dem Aluminium-Abstandhalter 0,063 W/(mK), mit dem Edelstahl-Abstandhalter 0,037 W/(mK) und mit dem Swisspacer Ultimate 0,018 W/(mK). Die Reduzierung der Wärmebrückenverluste durch die besseren Abstandhalter ist hier noch deutlicher als zuvor.

Die Temperaturfaktoren und Fenster-U-Werte können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Aus dieser Tabelle wird auch deutlich: Das Fenster mit U-Werten zwischen 0,40 und 0,52 W/(m²K) erfüllt das Behaglichkeitskriterium bis zum kalten Klima mit allen Abstandhaltern und zusätzlich das des arktischen Klimas mit dem Swisspacer Ultimate. Das Hygienekriterium für das kühl-gemäßigte und kalte Klima wird mit dem Aluminium Abstandhalter nicht erreicht. Mit dem Swisspacer Ultimate gibt es auch in arktischem Klima keinen Schimmel.

Fazit: Mit der gewählten Glas-Rahmen Kombination ist das Fenster mit allen Abstandhaltern für das warme und warm-gemäßigte Klima, und mit dem Edelstahl Abstandhalter und mit Swisspacer Ultimate auch für das kühl-gemäßigte und kalte Klima geeignet. Die Eignung für das arktische Klima ist ausschließlich mit dem Swisspacer Ultimate gegeben.

Ob der wärme gedämmte, und damit teurere Fensterrahmen auch im warmen und warm-gemäßigten Klima ökonomisch sinnvoll ist, bedarf der Klärung im Einzelfall.

Tabelle 6: Kennwerte des VADB 550pro mit unterschiedlichen Abstandhaltern und Eignung für die verschiedenen Klimate.

	Abstandhalter	Hilzinger VADB 550pro	Klima				
			Arktisch	Kalt	Kühl-gemäßigt	Warm-Gemäßigt	Warm
Behaglichkeit U_w [W/(m²K)]	Aluminium	0,52		✓	✓	✓	✓
	Edelstahl	0,45		✓	✓	✓	✓
	Swisspacer Ultimate	0,40	✓	✓	✓	✓	✓
Hygiene $f_{Rsi=0,25 \text{ m}^2\text{K/W}} [-]$	Aluminium	0,66				✓	✓
	Edelstahl	0,75		✓	✓	✓	✓
	Swisspacer Ultimate	0,82	✓	✓	✓	✓	✓

3 Zusammenfassung

Tabelle 7: Darstellung der Eignung aller untersuchten Fenster-Abstandhalter-Varianten für die diskutierten klimatischen Randbedingungen bezüglich Komfort und Hygiene.

Fenster Spacer	Aluplast Ideal 4000			Aluplast Ideal 8000			Alupl. Energeto 8000 P.			Hilzinger VADB 550+			Hilzinger VADB 550pro		
	Alumi- nium	Edel- stahl	Swsp. Ultimate	Alumi- nium	Edel- stahl	Swsp. Ultimate	Alumi- nium	Edel- stahl	Swsp. Ultimate	Alumi- nium	Edel- stahl	Swsp. Ultimate	Alumi- nium	Edel- stahl	Swsp. Ultimate
Warm				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Warm-Gemäßigt						✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Kühl-gemäßigt								✓	✓		✓	✓		✓	✓
Kalt												✓		✓	✓
Arktisch															✓

Tabelle 7 fasst die Ergebnisse der Studie zusammen. Zunächst fällt auf: Das untersuchte 2-fach verglaste Aluplast Ideal 4000 ist bezüglich der kombinierten Hygiene-Behaglichkeitsanforderung in keiner Variante für eines der hier untersuchten Klimate geeignet. Dieses Ergebnis ist nicht gleichbedeutend mit einem prinzipiellen Ausschluss von 2-fach Glas für warme Klimate. Ein tieferer Glaseinstand, die Verwendung anderer Sekundärdichtungen oder andere Maßnahmen können die entscheidende Verbesserung zur Erfüllung der Anforderung bringen. Natürlich gibt es in der Bandbreite der warm-gemäßigten Regionen auch Klimate, in denen die dargestellten Kombinationen unkritisch sind.

Ab dem warm-gemäßigten Klima sollte jedoch im Regelfall 3-fach Glas zum Einsatz kommen. Hier können die Anforderungen bereits mit dem ungedämmten Fensterrahmen Ideal 8000 erreicht werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings die Verwendung eines hoch energieeffizienten Kunststoff-Abstandhalters wie des Swisspacer Ultimate.

Wird der Wärme gedämmte Rahmen Energeto 8000 | Passiv verwendet, können die Behaglichkeits- und Hygiene Kriterien sowohl für das warm-gemäßigte, als auch für das kühl-gemäßigte Klima mit dem Edelstahl-Abstandhalter und dem Swisspacer Ultimate erreicht werden.

Gleiches gilt für das VADB 550+, hier ermöglicht der Swisspacer Ultimate die Eignung für das kalte Klima.

Mit einzig diesem Abstandhalter können in der für diese Studie untersuchten Best Practice-Lösung, dem verbesserten VADB 550+ auch die Anforderungen des arktischen Klimas erreicht werden.

Fazit: Die Wahl des Abstandhalters hat einen entscheidenden Einfluss auf die thermische Qualität des Fensters und damit auf Behaglichkeit und Hygiene. Dabei ermöglichen hoch Energieeffiziente Abstandhalter aus Kunststoff das Erreichen der Anforderung mit probaten Mitteln und für den Fensterbauer geringem Aufwand.

Auf diese Weise ist allen gedient. Dem Bewohner des Gebäudes, der von hoher Behaglichkeit und schimmelfreien Glasrändern profitiert, dem Fensterbauer, der seine Produkte einfach verbessern kann und so auch die Zufriedenheit seiner Kunden steigert. Und dem Klima, das über eine hohe Energieeinsparung durch einen geringeren CO₂-Ausstoß eine weniger große Belastung erfährt.