

**Energie-, CO₂- und Kosteneinsparungen durch
die Verwendung von höchst
energieeffizienten Kunststoff-Abstandhaltern
im Vergleich zu
Aluminium- und Edelstahl-Abstandhaltern
in unterschiedlichen Klimaten Frankreichs**

**Studie des Passivhaus Instituts im Auftrag von
SWISSPACER, Kreuzlingen, Schweiz**

Bericht

September 2018

Autor
Dr.-Ing. Benjamin Krick

Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Die Methode	4
2.1	Übersicht über die einzelnen methodischen Schritte.....	4
2.2	Die Abstandhalter-Rahmen-Kombinationen und ihre	5
	Glasrand-Wärmebrückenverlustkoeffizienten	5
2.3	Das verwendete Gebäudemodell und seine Standorte	6
	Das Gebäudemodell.....	6
	Besonderheiten einzelner Gebäudevarianten und Standorte	6
2.4	Wie wurde der Barwert der Energieeinsparung ermittelt?	9
2.5	Wie wurde die CO ₂ -Einsparung berechnet?.....	9
2.6	Übertragen der Ergebnisse auf den Laufmeter Glasrandlänge	9
2.7	Übertragen der Ergebnisse auf das „Hochhaus mit 2-fach-Verglasung“	9
3	Die Ergebnisse	11
3.1	Ergebnisse für das Referenz-Gebäudemodell mit 2-fach WS-Glas	11
	Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 2-fach WSG in Nancy	11
	Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 2-fach WSG in La Rochelle.....	12
	Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 2-fach WSG in Nizza	13
3.2	Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach WSG.....	14
	Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach Wärmeschutzglas in Nancy	14
	Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach Wärmeschutzglas La Rochelle.....	16
	Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach Wärmeschutzglas Nizza	16
3.3	Ergebnisse für das Gebäudemodell Hochhaus	17
	Ergebnisse für das Hochhaus mit 2-fach WSG in Nancy	17
	Ergebnisse für das Hochhaus mit 2-fach WSG in La Rochelle.....	18
	Ergebnisse für das Hochhaus mit 2-fach WSG in Nizza.....	18
3.4	Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 3-fach Wärmeschutzverglasung.....	19
3.5	Ergebnisse für das Passivhaus.....	21
4	Zusammenfassung	23
5	Tabellen.....	24



1 Einleitung

Die Einsparung von Energie, um klimaschädliche CO₂-Emissionen zu verringern und erneuerbare Energiequellen zu entlasten, ist eine der wichtigsten Aufgaben unserer Zeit. Im Bereich der Gebäudeenergieeffizienz haben Energieeinsparungen viele Vorteile; regelmäßig gehen sie mit niedrigeren Lebenszykluskosten Hand in Hand. Bei Abstandhaltern in Wärmeschutzverglasungen wird dies besonders deutlich: Für höchsteffiziente Abstandhalter müssen nur wenige Cents pro Laufmeter mehr investiert werden. Ein Vielfaches davon lässt sich damit – verglichen mit herkömmlichen Aluminium-Abstandhaltern – an Energiekosten über die Nutzungszeit einsparen. Ein weiterer großer Vorteil ist, dass die Temperaturen am Glasrand mit den höchsteffizienten Abstandhaltern signifikant angehoben werden. Der Bereich, in dem ein schimmel- und kondensatfreier Einsatz möglich ist, wird so deutlich erweitert.

Diese Studie wurde vom Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist erarbeitet. Sie diskutiert die Einsparpotentiale durch die Verwendung von höchst energieeffizienten Kunststoff-Abstandhaltern im Vergleich zu Aluminium- und Edelstahl-Abstandhaltern anhand eines Gebäudemodells in drei unterschiedlichen Klimaten Frankreichs. Die Studie arbeitet beispielhaft mit dem Abstandhalter SWISSPACER ULTIMATE. Ein größerer Teil der Hersteller von Warme Kante Abstandhaltern verfügt über ähnliche Produkte.

2 Die Methode

2.1 Übersicht über die einzelnen methodischen Schritte

- Zunächst wurden die thermischen Kennwerte eines Aluminium-, eines Edelstahl- und eines Kunststoff-Abstandhalters in Verbindung mit unterschiedlichen Referenzrahmen und -verglasungen berechnet.
- Mit diesen Werten wurde im zweiten Schritt die Energiebilanz eines in Frankreich üblichen Gebäudes mit 2-fach Verglasung mit dem Passivhaus Projektierungspaket (PHPP, Version 9.4) berechnet. Auf dieser Grundlage konnten die Einsparungen an Energie, Energiekosten und CO₂ in unterschiedlichen Klimaten bestimmt werden.
- In Schritt 3 wurden diese Ergebnisse auf den Laufmeter Glasrand bezogen und in Schritt 4 auf ein Hochhaus mit 2-fach Verglasung hochgerechnet.
- Schritt 2 wurde für mit 3-fach Verglasung und für ein Passivhaus wiederholt: Auch hier wurden Energiebilanz sowie Einsparungen von Energie, Energiekosten und CO₂ in drei Klimaten ermittelt.

2.2 Die Abstandhalter-Rahmen-Kombinationen und ihre Glasrand-Wärmebrückenverlustkoeffizienten

Diese Studie verwendet als Referenzrahmen die Varianten für kühl-gemäßigtes, warm-gemäßigtes und warmes Klima aus der Reihe "Holz-Aluminium" der Abstandhalterzertifizierung des Passivhaus Institutes (vgl. Tabelle 1).

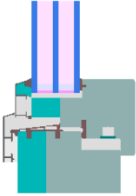
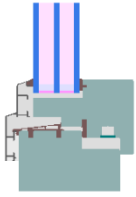
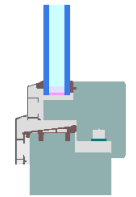
Rahmen	Kennwert	Aluminium- Abstandhalter	Edelstahl- Abstandhalter	Kunststoff- Abstandhalter
	Kühl-gemäßigtes Klima. $U_f = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $b_f = 12 \text{ cm}$ Genutzt für das Passivhaus am Standort Nancy			
	$\Psi_g \text{ [W}/(\text{mK})]$	0,109	0,053	0,028
	$f_{\text{Rsi}=0,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}} [-]$	0,47	0,64	0,71
	Warm-gemäßigtes Klima. $U_f = 0,97 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $b_f = 12 \text{ cm}$ Genutzt für das Referenzgebäude mit 3-fach Verglasung an allen Standorten sowie für das Passivhaus in La Rochelle und Nizza.			
	$\Psi_g \text{ [W}/(\text{mK})]$	0,107	0,051	0,028
	$f_{\text{Rsi}=0,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}} [-]$	0,44	0,61	0,68
	Warmes Klima. $U_f = 1,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, $b_f = 12 \text{ cm}$ Genutzt für das Referenzgebäude mit 2-fach Verglasung an allen Standorten			
	$\Psi_g \text{ [W}/(\text{mK})]$	0,093	0,056	0,034
	$f_{\text{Rsi}=0,25 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}} [-]$	0,37	0,49	0,56

Tabelle 1: Thermische Kennwerte der zugrunde gelegten Abstandhalter-Rahmen-Kombinationen

Alle Varianten wurden mit Polysulfid ($0,40 \text{ W}/(\text{mK})$) als Sekundärdichtung mit einer Höhe von 3 mm (Box 1) berechnet. Der Alu-Abstandhalter wurde mit einer Höhe von 6,5 mm und einer Wandstärke von 0,5 mm, $160 \text{ W}/(\text{mK})$, gefüllt mit Silicagel als Trockenmittel ($0,13 \text{ W}/(\text{mK})$) modelliert. Für den Edelstahl-Abstandhalter wurde eine Wärmeleitfähigkeit von Box 2 mit $0,61 \text{ W}/(\text{mK})$ bei einer Höhe von 7 mm angesetzt. Die Wärmeleitfähigkeit der Box 2 des Kunststoff-Abstandhalters wurde mit $0,14 \text{ W}/(\text{mK})$ bei einer Höhe von 6,5 mm angenommen. Alle Berechnungen wurden mit Flixo 7 pro durchgeführt. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse dargestellt. Die Hygieneanforderungen an in Passivhäusern eingesetzte Fenster werden im kühl-gemäßigtem Klima nur mit dem Kunststoff-Abstandhalter erreicht, im warm-gemäßigtem Klima und warmem auch mit dem Edelstahl-Abstandhalter.

2.3 Das verwendete Gebäudemodell und seine Standorte

Für die Studie wurden die französischen Standorte Nancy im kühl-gemäßigten, La Rochelle im warm-gemäßigten, und Nizza im warmen Klima ausgewählt. Die Heizgradstunden der Standorte zeigt Tabelle 2 auf der nächsten Seite.

Das Gebäudemodell

Die Studie arbeitet mit einem Gebäudemodell, das mit dem Passivhaus Projektierungspaket (PHPP) modelliert wurde. Zeichnungen für dieses Gebäude wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Das Modell ist mit einem Gas-Heizkessel ausgestattet, der die Heizwärmeversorgung und die Warmwasserbereitung übernimmt. Für die Kühlung am Standort Nizza sorgt eine Wärmepumpe. Das Passivhaus sowie die beiden 2-fach und 3-fach verglasten Varianten sind Varianten desselben Gebäudemodells.

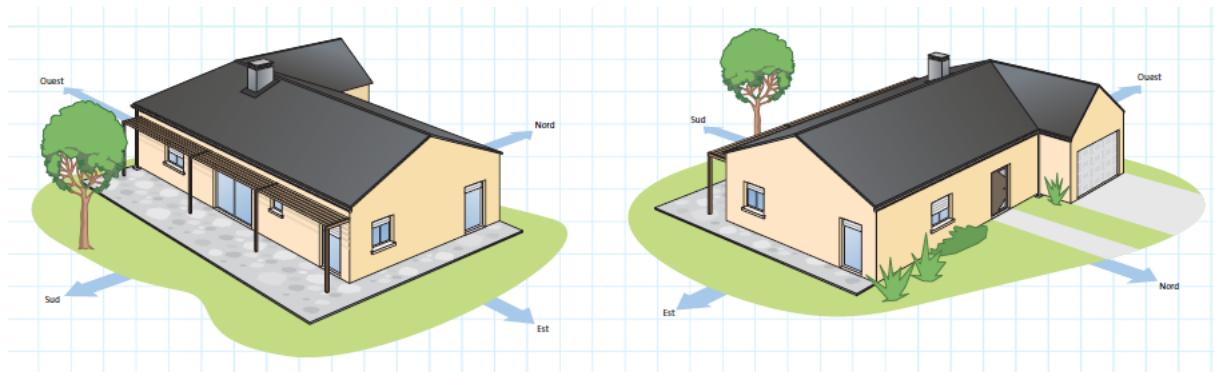


Abbildung 1: Das eingeschossige Gebäudemodell mit 100 m² Wohnfläche.

Besonderheiten einzelner Gebäudevarianten und Standorte

Ausgangspunkt ist das Gebäude, welches mit einer 2-fach Verglasung und Aluminium-Abstandhaltern an allen Standorten einen Jahresheizwärmebedarf von 50 kWh/(m²a) nicht übersteigt. Um dies zu erreichen, wurden bei Verwendung des Holz-Aluminium-Fensterrahmens für das warme Klima die Wärmedurchgangskoeffizienten für Wand, Dach und Boden klimaspezifisch angepasst, vgl. Tabelle 2. Das Gebäude wird über eine Abluftanlage belüftet, Als Kennwert für die Luftdichtheit des Gebäudes wurde n₅₀ = 0,6 1/h nach Angabe des Auftraggebers angesetzt.

Der Heizwärmebedarf verschlechtert sich entsprechend bei Verwendung des Edelstahl- bzw. Aluminium-Abstandhalters.

Im Hinblick auf das Hygienekriterium – also die Begrenzung des Schimmelrisikos am Glasrand durch zu tiefe Temperaturen – können Aluminium-Abstandhalter in keinem der untersuchten Klimate empfohlen werden. Der Edelstahl-Abstandhalter ist für Nancy nicht empfehlenswert.

Kennwert	Einheit	Nancy	La Rochelle	Nizza
Heizgradstunden	kKh/a	71	48	34
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,15	0,40	0,45
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,15	0,30	0,40
U-Wert Kellerdecke	W/(m ² K)	0,24	0,50	0,60
U-Wert Fensterrahmen	W/(m ² K)	1,19	1,19	1,19
U-Wert Glas	W/(m ² K)	1,20	1,20	1,20
g-Wert Glas	-	62%	62%	62%

Tabelle 2: Klimatische Kennwerte und Bauteilqualitäten des Referenzgebäudes mit 2-fach WSG

Die Berechnungen wurden für das Gebäude mit 3-fach Wärmeschutzverglasung ($g=0,62$, $U_g= 0,64$ W/(m²K)) und tieferen Fensterrahmen wiederholt. Dabei wurde der Heizwärmebedarf wiederum auf 50 kWh/(m²a) kalibriert. Die Kennwerte können aus Tabelle 3 entnommen werden.

Kennwert	Einheit	Nancy	La Rochelle	Nizza
Heizgradstunden	kKh/a	71	48	34
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,18	0,45	0,71
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,18	0,31	0,50
U-Wert Kellerdecke	W/(m ² K)	0,30	0,60	1,00
U-Wert Fensterrahmen	W/(m ² K)	0,97	0,97	0,97
U-Wert Glas	W/(m ² K)	0,64	0,64	0,64
g-Wert Glas	-	62%	62%	62%

Tabelle 3: Klimatische Kennwerte und Bauteilqualitäten des Referenzgebäudes mit 2-fach WSG

Der für ein Passivhaus maximal zulässige Jahresheizwärmebedarf liegt mit 15 kWh/(m²a), weniger als ein Drittel der 50 kWh für der Referenzvariante. Das eingeschossige Referenzgebäude weist eine für das hoch energieeffiziente und kostengünstige Bauen recht ungünstige Kubatur auf, da dem beheizten Volumen, respektive der beheizten Nutzfläche eine relativ große wärmeübertragende Hüllfläche gegenüber steht. Entsprechend hochwertiger müssen die verwendeten Komponenten der Gebäudehülle sein. Daher würde der Kunststoffabstandhalter als Ausgangsvariante zum Erreichen der geforderten 15 kWh/m²a Jahresheizwärmebedarf gewählt. Edelstahl- und Aluminium Abstandhalter erhöhen den Heizwärmebedarf dann über das Passivhaus-Niveau hinaus. Für den Standort Nancy und La Rochelle wurde eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad 93%, Elektroeffizienz 0,24 Wh/m³) gewählt. Am Standort Nizza reicht die Abluftanlage zur Erfüllung des Passivhaus-Standards aus. Allerdings in Verbindung mit dem 3-fach verglasten Fensterrahmen für das warmgemäßigte Klima, vgl. Tabelle 1. Derselbe Rahmen wurde auch für das Passivhaus in La Rochelle eingesetzt, für Nancy wurde der wärme gedämmte Fensterrahmen für das kühlgemäßigte Klima gewählt. Tabelle 4 listet auch die U-Werte der opaken Bauteile auf.

Kennwert	Einheit	Nancy	La Rochelle	Nizza
U-Wert Außenwand	W/(m ² K)	0,12	0,24	0,30
U-Wert Dach	W/(m ² K)	0,10	0,20	0,24
U-Wert Kellerdecke	W/(m ² K)	0,19	0,32	0,50
U-Wert Fensterrahmen	W/(m ² K)	0,75	0,97	0,97
U-Wert Glas	W/(m ² K)	0,64	0,64	0,64
g-Wert Glas	-	62%	62%	62%

Tabelle 4: Bauteilqualitäten der Variante Passivhaus.

Die Innentemperatur wurde an allen Standorten und bei allen Varianten im Winter mit 20°C, im Sommer mit maximal 24°C angesetzt.

2.4 Wie wurde der Barwert der Energieeinsparung ermittelt?

Um die finanziellen Einsparungen durch den niedrigeren Energieverbrauch zu berechnen, geht die Studie von folgenden Randbedingungen aus: Nutzungszeitraum: 40 Jahre. Realzins: 2%. Wärmepreis 0,1 €/kWh. Es wird davon ausgegangen, dass der Strombedarf für das sommerliche Top-Cooling am Standort Nizza mittels einer Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl 2) komplett durch eine PV-Anlage abgedeckt wird. Der Stromgestehungspreis wurde zu 0,1 € angenommen, in Verbindung mit der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe beträgt der Nutzkältepreis damit 0,05 €/kWh.

Die Barwerte wurden mit folgenden Gleichungen ermittelt.

$$K_e = k_j \cdot B_B$$
$$k_j = Q_{\text{Energie}} \cdot k_{\text{Energie}}$$
$$B_B = \frac{1 - (1 + p_{\text{real}})^{t_B \cdot -1}}{p_{\text{real}}}$$

K_e : Barwert der Energiekosten [€]
 k_j : Jährliche Energiekosten [€]
 B_B : Barwertfaktor Betrachtungszeitraum [-]
 Q_{Energie} : Energiemenge [kWh]
 k_{Energie} : Energiekosten [€/kWh]
 p_{real} : Realzins
 t_B : Betrachtungszeitraum [a]

2.5 Wie wurde die CO₂-Einsparung berechnet?

Um die CO₂-Einsparungen zu bestimmen, wird der Endenergiebedarf für Heizen (Energieträger Gas) und Kühlen (Energieträger Solarstrom) mit dem CO₂eq-Emissionsfaktor multipliziert. Dieser enthält nicht nur das pro kWh Endenergie entstehende CO₂, sondern auch die Klimawirkung anderer Schadgase normiert auf die Wirkung von CO₂.

Der CO₂eq-Emissionsfaktor für Gas wurde in dieser Studie nach GEMIS 4.94 zu 0,25 kgCO₂eq/ kWh_{End} angesetzt, der durch die PV-Anlage erzeugte Strom zur Kühlung mit 0,13 kgCO₂eq/ kWh_{End}.

2.6 Übertragen der Ergebnisse auf den Laufmeter Glasrandlänge

Um die Ergebnisse auf den Laufmeter Glasrandlänge zu übertragen, wurden die Einsparungen für das gesamte Referenzgebäude durch die Laufmeter Glasrandlänge des Gebäudes geteilt. Dies sind 66,2 Meter.

2.7 Übertragen der Ergebnisse auf das „Hochhaus mit 2-fach-Verglasung“

Die ermittelten Werte wurden auf das Gebäudemodell „Hochhaus mit 2-fach Verglasung“ übertragen. Dazu wurden die Ergebnisse pro Laufmeter Glasrandlänge im Referenzgebäude mit den Laufmetern Glasrandlänge des Hochhauses multipliziert. Je Geschoss sind dies 99,4 Meter, bei 11 Geschossen in Summe 1093,4 Meter. Die Abbildung 2 zeigt Ansichten und einen Grundriss des Hochhauses.

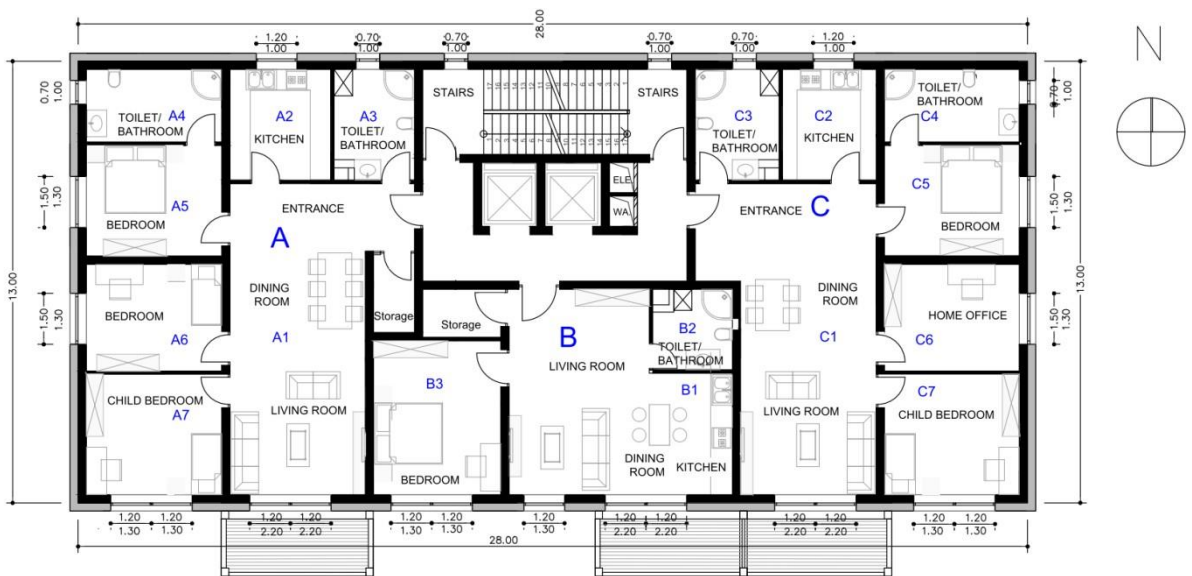


Abbildung 2: Ost- und Südansicht sowie Grundriss des Gebäude Modells „Hochhaus im Passivhausstandard“

3 Die Ergebnisse

Das Kapitel 3 stellt ausgesuchte Ergebnisse der Studie dar: Im Mittelpunkt stehen Zahlen zu den Einsparungen an Energie, Kosten und CO₂-Emissionen durch höchst energieeffiziente Kunststoff-Abstandhalter im Vergleich zu Abstandhaltern aus Aluminium und Edelstahl in den drei verschiedenen Klimaten. Die prozentualen Energieeinsparungen beziehen sich immer auf den gesamten Heizwärmebedarf des jeweiligen Gebäudes.

Sie finden hier zentrale Ergebnisse sowie Anmerkungen zu den Einsparungen

- im Referenzgebäude (Kapitel 3.1)
- im Referenzgebäude pro Laufmeter Glasrand (Kapitel 3.2)
- im Geschosswohnungsbau am Beispiel eines Hochhauses mit 2-fach Verglasung (Kapitel 3.3)
- im Referenzgebäude mit 3-fach Wärmeschutzverglasung (Kapitel 3.5)
- im Passivhaus (Kapitel 3.6)

Eine Tabelle mit den Ergebnissen steht am Ende der Studie.

3.1 Ergebnisse für das Referenz-Gebäudemodell mit 2-fach WS-Glas

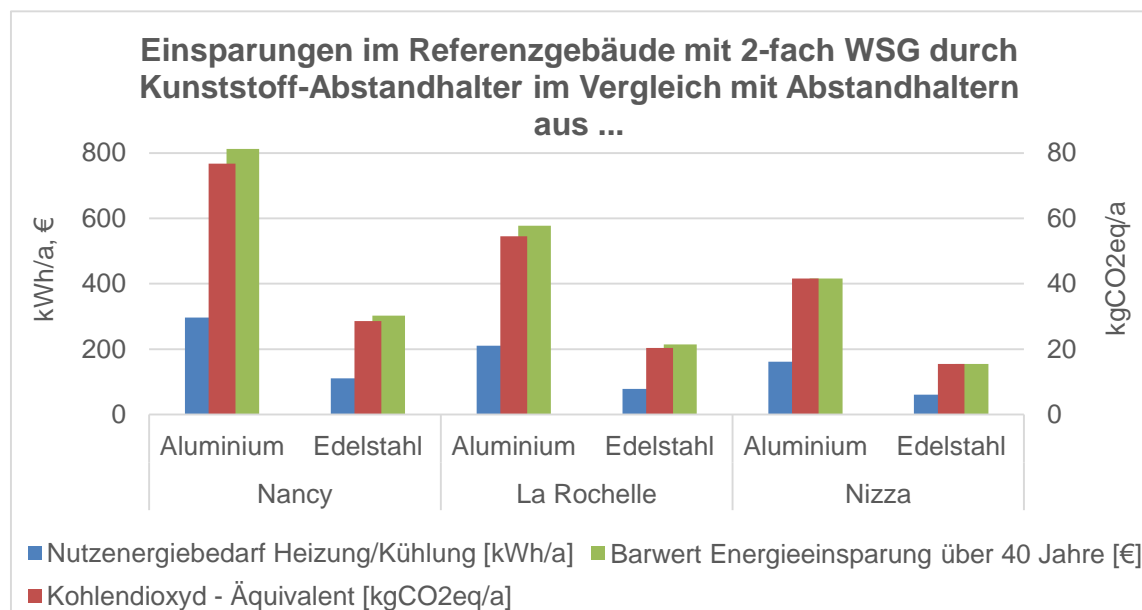


Abbildung 3: Energie-, Kosten- und CO₂-Einsparungen im Referenz-Gebäudemodell mit 2-fach WSG

Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 2-fach WSG in Nancy

Der Jahresheizwärmebedarf wurde im Referenzgebäude am Standort Nancy mit dem Aluminium-Abstandhalter auf 50,4 kWh/(m²a) kalibriert. Er reduziert sich

- durch den Edelstahl-Abstandhalter um 1,9 kWh/(m²a) auf 48,6 kWh/(m²a)
- mit dem Kunststoff Abstandhalter nochmals um 1,1 kWh/(m²a) auf 47,5 kWh/(m²a)

Die Energieeinsparung beträgt also

- 5,9% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle eines Aluminium-Abstandhalters
- 2,3% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle eines Edelstahl-Abstandhalters

Die Kohlendioxid-Einsparung liegt

im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

- bei 48 kg CO₂eq/a mit dem Edelstahl-Abstandhalter
- bei 77 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff-Abstandhalter

Das entspricht etwa 645 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI

im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

- bei 29 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff Abstandhalter

Die finanzielle Einsparung durch den niedrigeren Heizenergiebedarf über den angenommenen Nutzungszyklus der Abstandhalter von 40 Jahren beträgt

im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

- ca. 510 € mit dem Edelstahl-Abstandhalter
- ca. 813 € mit dem Kunststoff-Abstandhalter

im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

- ca. 302 € mit dem Kunststoff-Abstandhalter

Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 2-fach WSG in La Rochelle

In La Rochelle ist es wärmer als in Nancy. Das ist gut an der Gradtagzahl erkennbar: Sie beträgt in Nancy 71 kKh/a und in La Rochelle 48 kKh/a. Entsprechend niedriger sind die möglichen Einsparungen durch hoch energieeffiziente Komponenten wie Kunststoff-Abstandhalter.

Der Jahresheizwärmebedarf wurde im Referenzgebäude am Standort La Rochelle mit dem Aluminium-Abstandhalter auf 49,8 kWh/(m²a) kalibriert. Er reduziert sich

- durch den Edelstahl-Abstandhalter um 1,3 kWh/(m²a) auf 48,5 kWh/(m²a)
- mit dem Kunststoff Abstandhalter nochmals um 0,8 kWh/(m²a) auf 47,7 kWh/(m²a)

Die Energieeinsparung beträgt also

- 4,2% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle eines Aluminium-Abstandhalters
- 1,6% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle eines Edelstahl-Abstandhalters

Die Kohlendioxid-Einsparung liegt

im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

- bei 34 kg CO₂eq/a mit dem Edelstahl-Abstandhalter
- bei 55 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff-Abstandhalter

Das entspricht etwa 495 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI

im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

- bei 20 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff Abstandhalter



Die finanzielle Einsparung durch den niedrigeren Heizenergiebedarf über den angenommenen Nutzungszyklus der Abstandhalter von 40 Jahren beträgt im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

- ca. 362 € mit dem Edelstahl-Abstandhalter
- ca. 577 € mit dem Kunststoff-Abstandhalter

im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

- ca. 215 € mit dem Kunststoff-Abstandhalter

Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 2-fach WSG in Nizza

Im warmen Klima Nizzas fällt neben den 49,6 kWh/(m²a) Jahresheizwärmebedarf (mit Aluminium-Abstandhalter) auch ein Nutzkältebedarf von 6,5 kWh/(m²a) bei 24 °C maximaler Innentemperatur an. Ebenso ein Entfeuchtungsbedarf der hier aber nicht berücksichtigt wird, da er unabhängig von den thermischen Qualitäten der Bauteilhülle ist. Die Berechnungen wurden mit 20° Innentemperatur wiederholt. In diesem Fall ist der Jahresnutzkältebedarf mit Aluminium-Abstandhalter auf 33,3 kWh/(m²a) deutlich erhöht.

Der kombinierte Jahresheiz- und -nutzkältebedarf liegt bei max. 24 °C im Sommer

- mit dem Kunststoff-Abstandhalter bei 54,5 kWh/(m²a)
- mit dem Edelstahl-Abstandhalter bei 55,1 kWh/(m²a)
- mit dem Aluminium-Abstandhalter bei 56,1 kWh/(m²a)

Die Energieeinsparung fällt im Vergleich zu reinen Heizklimaten geringer aus: Sie liegt bei

- 2,9% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle des Aluminium-Abstandhalters
- 1,1% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle des Edelstahl-Abstandhalters

Die Kohlendioxid-Einsparung liegt

im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

- bei 26 kg CO₂eq/a mit dem Edelstahl-Abstandhalter
 - bei 42 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff-Abstandhalter
- Das entspricht etwa 350 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.

im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

- bei 16 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff-Abstandhalter

Der kombinierte Jahresheiz- und -nutzkältebedarf liegt bei max. 20 °C im Sommer

- mit dem Kunststoff-Abstandhalter bei 81,1 kWh/(m²a)
- mit dem Edelstahl-Abstandhalter bei 81,8 kWh/(m²a)
- mit dem Aluminium-Abstandhalter bei 81,9 kWh/(m²a)

Die Energieeinsparung fällt im Vergleich zu reinen Heizklimaten geringer aus: Sie liegt bei

- 2,3% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle des Aluminium-Abstandhalters
- 0,9% mit dem Kunststoff-Abstandhalter anstelle des Edelstahl-Abstandhalters

Die Kohlendioxid-Einsparung liegt

im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

- bei 27,3 kg CO₂eq/a mit dem Edelstahl-Abstandhalter
- bei 43,6 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff-Abstandhalter

Das entspricht etwa 350 (370) Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.

im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

- bei 16,2 kg CO₂eq/a mit dem Kunststoff-Abstandhalter

Die finanzielle Einsparung durch den niedrigeren Nutzenergiebedarf

über den angenommenen Nutzungszyklus der Abstandhalter von 40 Jahren beträgt im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

- ca. 262 € mit dem Edelstahl-Abstandhalter
- ca. 416 € mit dem Kunststoff-Abstandhalter

im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

- ca. 155 € mit dem Kunststoff-Abstandhalter

3.2 Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach WSG

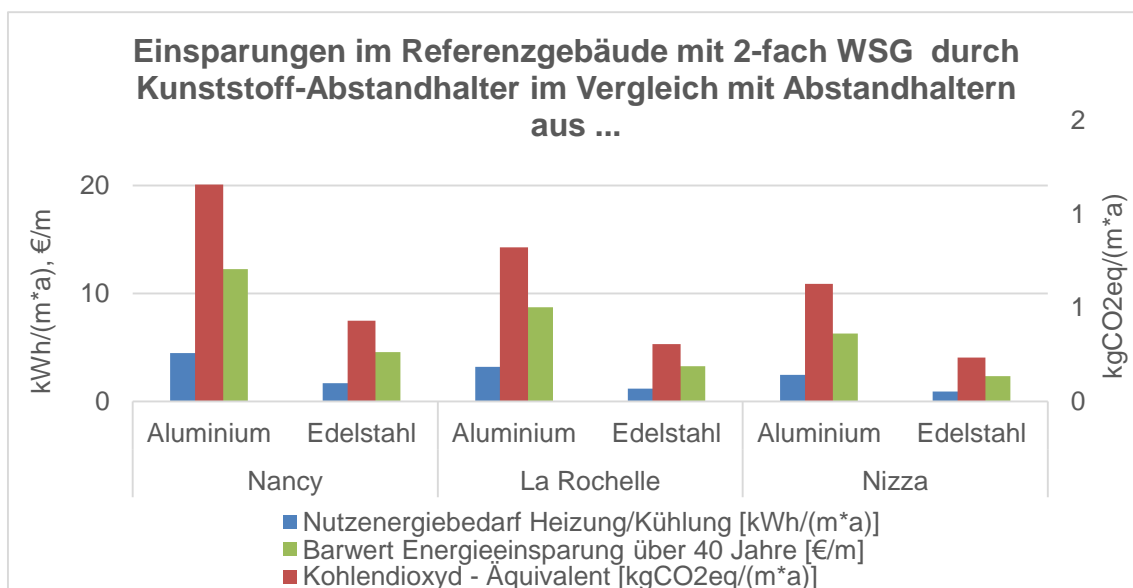


Abbildung 4: Einsparungen im Referenzgebäudemodell mit 2-fach Wärmeschutzglas pro Laufmeter Glasrand

Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach Wärmeschutzglas in Nancy

Pro Laufmeter liegt die Einsparung im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

für den Edelstahl-Abstandhalter

- bei 2,82 kWh/(m*a) Nutzenergie für Heizung

- bei 0,73 kg CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 7,7 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

für den Kunststoff-Abstandhalter

- bei 4,48 kWh/(m*a) Nutzenergie für Heizung
- bei 1,16 kg CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 12,3 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Pro Laufmeter liegt die Einsparung im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

mit dem Kunststoff-Abstandhalter

- bei 1,67 kWh/(m*a) Nutzenergie für Heizung
- bei 0,43 kg CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 4,6 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach Wärmeschutzglas La Rochelle

Im wärmeren La Rochelle liegen die Einsparungen niedriger.

Pro Laufmeter liegt die Einsparung im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter mit dem Edelstahl-Abstandhalter

- bei 2,0 kWh/(m*a) Nutzenergie für Heizung
- bei 0,52 kg CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 5,5 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

mit dem den Kunststoff-Abstandhalter

- bei 3,2 kWh/(m*a) Nutzenergie für Heizung
- bei 0,82 kg CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 8,7 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Pro Laufmeter liegt die Einsparung im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter mit dem Kunststoff-Abstandhalter

- bei 1,2 kWh/(m*a) Nutzenergie für Heizung
- bei 0,31 CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 3,2 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Ergebnisse pro Laufmeter Glasrand im Referenzgebäude mit 2-fach Wärmeschutzglas Nizza

Im Kühl Nizzas fallen die Einsparungen noch etwas geringer aus.

Pro Laufmeter liegt die Einsparung im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter mit dem Edelstahl-Abstandhalter

- bei 1,53 kWh/(m*a) Nutzenergie Heizen+Kühlen
- bei 0,39 kg CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 4,0 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

mit dem den Kunststoff-Abstandhalter

- bei 2,44 kWh/(m*a) Nutzenergie Heizen+Kühlen
- bei 0,63 kg CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 6,3 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Pro Laufmeter liegt die Einsparung im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter mit dem Kunststoff-Abstandhalter

- bei 0,91 kWh/(m*a) Nutzenergie Heizen+Kühlen
- bei 0,23 CO₂eq/(m*a) Kohlendioxid
- bei 2,3 €/m Energiekosten über 40 Jahre Nutzung



3.3 Ergebnisse für das Gebäudemodell Hochhaus

Um Kennwerte für den Geschosswohnungsbau zu ermitteln, untersucht die Studie den Einfluss der Abstandhalter auf den Heizwärmeenergiebedarf eines Hochhauses mit 2-fach Wärmeschutzglas. Dazu wurden die Ergebnisse pro Meter Glasrand im Referenzgebäude mit Wärmeschutzglas (Kapitel 3.2) mit den Glasrandlängen des Hochhauses multipliziert. Dies sind 99,4 Meter pro Geschoss, entsprechend 1093,4 Meter bei 11 Geschossen. Ausgewählte Ergebnisse zeigt die Abbildung 5.

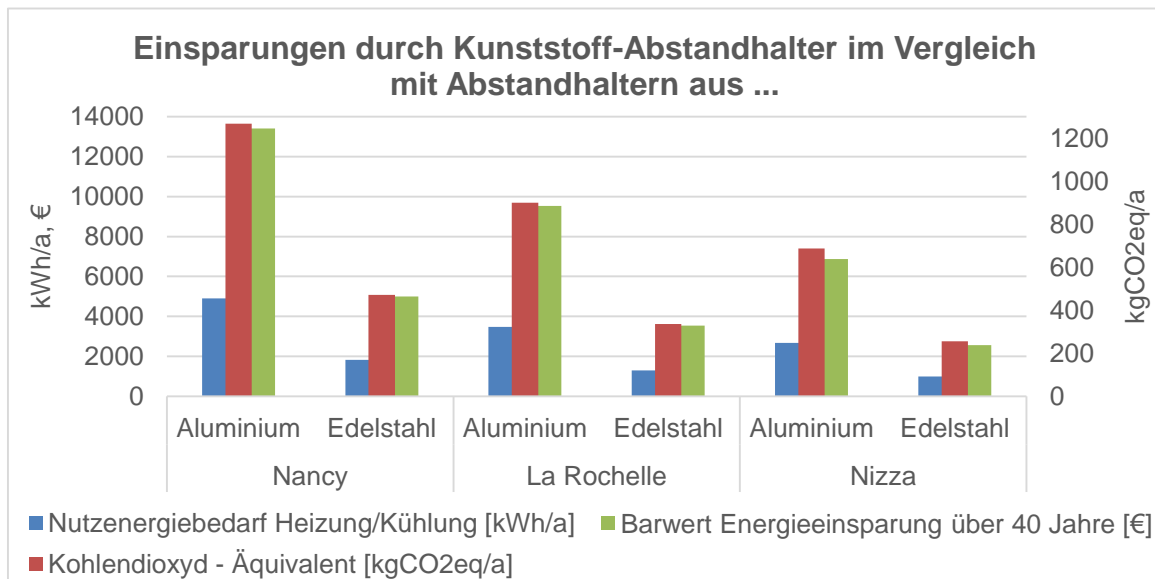


Abbildung 5: Visualisierung ausgewählter Ergebnisse für den Gebäudetyp „Hochhaus mit 2-fach WSG“

Ergebnisse für das Hochhaus mit 2-fach WSG in Nancy

Die Einsparung liegt im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter mit dem Edelstahl-Abstandhalter

- bei 3,1 MWh/a Nutzenergie für Heizung
- bei ca. 0,8 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei ca. 8,4 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

mit dem Kunststoff-Abstandhalter

- bei 4,9 MWh/a Nutzenergie für Heizung
- bei ca. 1,3 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei ca. 13,4 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Die Einsparung liegt im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter mit dem Kunststoff-Abstandhalter

- bei 1,8 MWh/a Nutzenergie für Heizung
- bei 0,5 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei ca. 5 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Ergebnisse für das Hochhaus mit 2-fach WSG in La Rochelle

Im milderen La Rochelle liegen die Einsparungen niedriger.

Die Einsparung liegt im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

für den Edelstahl-Abstandhalter

- bei 2,2 MWh/a Nutzenergie für Heizung
- bei 0,6 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei 6 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

für den Kunststoff-Abstandhalter

- bei 3,5 MWh/a Nutzenergie für Heizung
- bei ca. 0,9 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei ca. 10 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Die Einsparung liegt im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

mit dem Kunststoff-Abstandhalter

- bei 1,3 MWh/a Nutzenergie für Heizung
- bei ca. 0,3 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei ca. 4 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Ergebnisse für das Hochhaus mit 2-fach WSG in Nizza

Im Klima Nizzas liegen die Einsparungen noch etwas niedriger.

Die Einsparung liegt im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

mit dem Edelstahl-Abstandhalter

- bei 1,7 MWh/a Nutzenergie
- bei 0,43 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei 4,3 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

mit dem den Kunststoff-Abstandhalter

- bei 2,7 MWh/a Nutzenergie
- bei ca. 0,69 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei ca. 6,9 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

Die Einsparung liegt im Vergleich zum Edelstahl-Abstandhalter

mit dem Kunststoff-Abstandhalter

- bei 1,0 MWh/a Nutzenergie
- bei ca. 0,26 Tonnen CO₂eq/a Kohlendioxidäquivalent
- bei ca. 2,6 Tausend € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung

3.4 Ergebnisse für das Referenzgebäude mit 3-fach Wärmeschutzverglasung

Durch die verbesserten Fenster und die 3-fach Wärmeschutzverglasung können die Qualitäten der übrigen Bauteile reduziert werden, vgl. 2.3.

Die Unterschiede bei den Wärmebrückenverlustkoeffizienten am Glasrand sind bei der 3-fach Verglasung zwischen Alu- und Kunststoffabstandhalter deutlicher als bei der 2-fach Verglasung. Dies begründet auch höhere absolute Einsparpotentiale beim Nutzenergiebedarf zwischen den Abstandhalterarten.

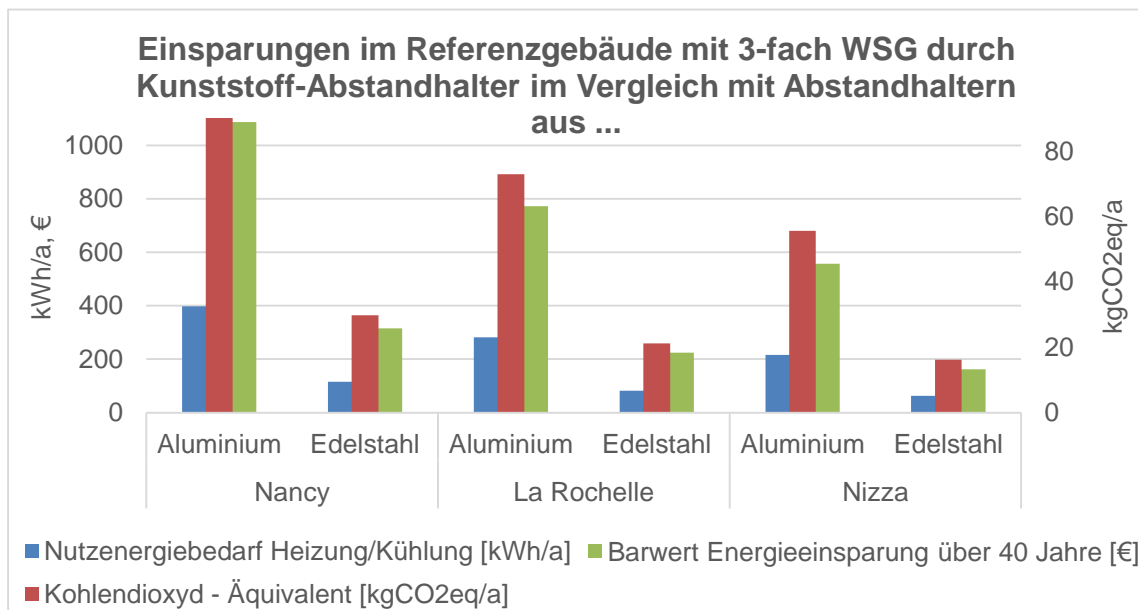


Abbildung 6: Einsparungen im 3-fach verglasten Referenz-Gebäudemodell.

Der Jahresheizwärmebedarf (in Nancy und La Rochelle)

bzw. Jahreswärme- und -nutzkältebedarf (in Nizza)

liegt mit dem Kunststoff-Abstandhalter im 3-fach verglasten Referenzgebäude

- bei ca. 46,2 kWh/(m²a) in Nancy
- bei ca. 47,0 kWh/(m²a) in La Rochelle
- bei ca. 47,9 + 6,5 = 54,4 kWh/(m²a) in Nizza

Die Einsparungen liegen im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

mit dem Kunststoff-Abstandhalter in Nancy

- bei 7,9 % der gesamten Gebäude-Heizwärmeenergie
- bei 103 kg CO₂eq/a Kohlendioxid
Das entspricht etwa 864 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.
- bei 1090 € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung
- bei ca. 16,4 € pro Meter Glasrand

mit dem Kunststoff-Abstandhalter in La Rochelle

- bei 5,7 % der gesamten Gebäude-Heizwärmeenergie

- bei 73 kg CO₂eq/a Kohlendioxid
Das entspricht etwa 613 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.
- bei 772 € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung
- bei ca. 12 € pro Meter Glasrand

mit dem Kunststoff-Abstandhalter in Nizza

- bei 3,8 % der Nutzenergie für Heizung und Kühlung
- bei 56 kg CO₂eq/a Kohlendioxid
Das entspricht etwa 468 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.
- bei 560 € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung
- bei ca. 8,4 € pro Meter Glasrand

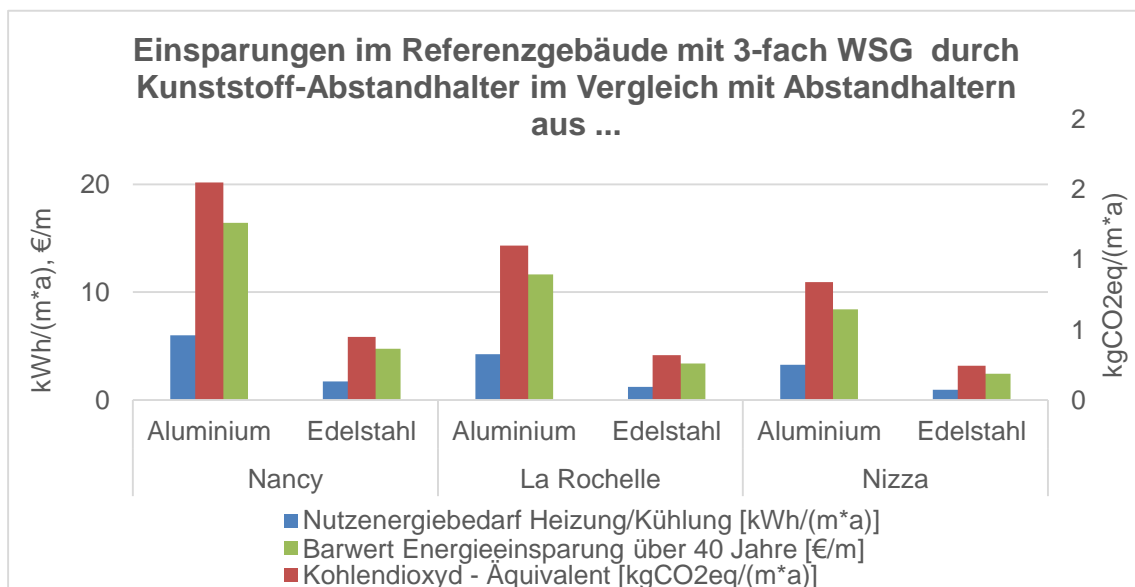


Abbildung 7: Einsparungen pro Laufmeter Glasrand im 3-fach verglasten Referenz-Gebäudemodell

3.5 Ergebnisse für das Passivhaus

Der wesentlich verringerte Jahresheizwärmebedarf im Passivhaus hat insbesondere zur Folge, dass die Verbesserung der Abstandhalter eine deutlich höhere relative Einsparung bewirkt. In Nancy sind dies beim Kunststoff-Abstandhalter im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter knapp 18%.

Der Jahresheizwärmebedarf (in Nancy und La Rochelle)

bzw. Jahreswärme- und -nutzkältebedarf (in Nizza)

liegt mit dem Kunststoff-Abstandhalter im Passivhaus

- bei ca. 15,1 kWh/(m²a), mit dem Alu-Abstandhalter bei 18,3 kWh/(m²a) in Nancy
- bei ca. 15,0 kWh/(m²a), mit dem Alu-Abstandhalter bei 17,3 kWh/(m²a) in La Rochelle
- bei ca. 14,8 + 4,9 = 19,7 kWh/(m²a), mit dem Alu-Abstandhalter bei 16,7 + 4,9 = 21,6 kWh/(m²a) in Nizza

Die Einsparungen liegen im Vergleich zum Aluminium-Abstandhalter

mit dem Kunststoff-Abstandhalter in Nancy

- bei 17,7 % der gesamten Gebäude-Heizwärmeenergie
- bei 83 kg CO₂eq/a Kohlendioxid
Das entspricht etwa 700 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.
- bei 890 € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung
- bei ca. 13 € pro Meter Glasrand

mit dem Kunststoff-Abstandhalter in La Rochelle

- bei 13,3 % der gesamten Gebäude-Heizwärmeenergie
- bei 60 kg CO₂eq/a Kohlendioxid
Das entspricht etwa 500 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.
- bei 630 € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung
- bei ca. 10 € pro Meter Glasrand (aufgrund des deutlich geringeren Strompreises)

mit dem Kunststoff-Abstandhalter in Nizza

- bei 8,8 % der Nutzenergie für Heizung und Kühlung
- bei 50 kg CO₂eq/a Kohlendioxid
Das entspricht etwa 420 Fahrkilometern mit einem Golf VI 1,6 TDI.
- bei 455 € Energiekosten über 40 Jahre Nutzung
- bei ca. 7 € pro Meter Glasrand

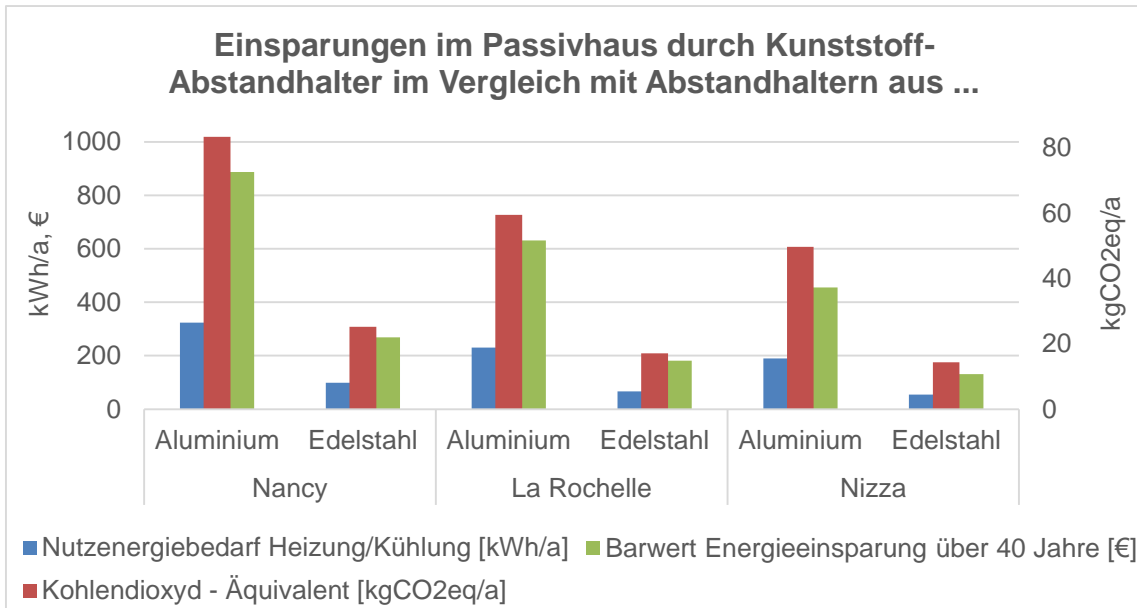


Abbildung 8: Einsparungen im Passivhaus

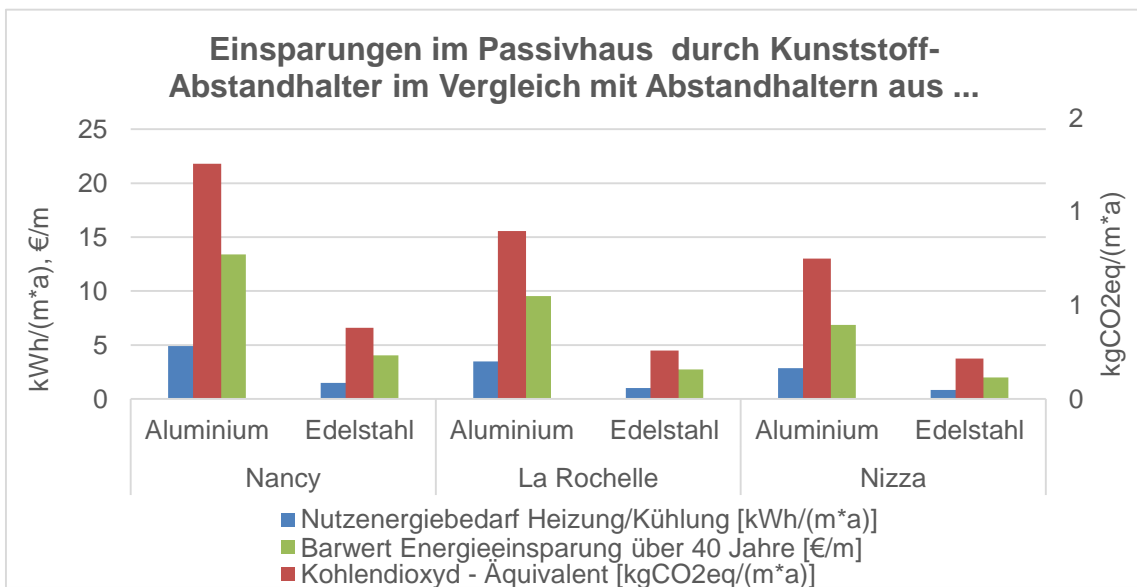


Abbildung 9: Einsparungen pro Laufmeter Glasrand im Passivhaus

4 Zusammenfassung

Diese Studie des Passivhaus Instituts zeigt: In Fenstern mit Wärmeschutzglas höchst energieeffiziente Kunststoff-Abstandhalter einzusetzen, bringt viele Vorteile. Die Energie- und daraus resultierenden CO₂- und Kosteneinsparungen sind beträchtlich. Außerdem wird die Hygienesituation am Glasrand signifikant verbessert, das heißt, die Kondensat- bzw. Schimmelgefahr am Glasrand wird deutlich verringert. Dies gilt besonders im Vergleich zu Aluminium-, aber auch verglichen mit Edelstahl-Abstandhaltern. Je kälter bzw. heißer ein Klima ist – oder konkreter: je mehr das Außenklima vom gewünschten Innenklima abweicht – umso höher sind die möglichen Energie- und CO₂-Einsparungen.

Mit Blick auf den Klimaschutz zeigt sich auch beim Thema „höchst energieeffiziente Abstandhalter“ die große Bedeutung von Energiesparmaßnahmen. So entsprechen zum Beispiel die im 3-fach verglasten Referenzgebäude mit dem Kunststoff- im Vergleich zum Alu-Abstandhalter vermiedenen CO₂eq-Emissionen von 100 kg CO₂eq einer Fahrleistung von jährlich ca. 850 km eines Golf VI 1,6 TDI.

Die hier ermittelten absoluten Einsparpotentiale sind in guter Näherung auf andere Energiestandards übertragbar, wenn die gleichen Glas-Rahmen-Kombinationen gewählt werden. Wird, wie bei den hier untersuchten Referenzvarianten mit geringeren thermischen Bauteilqualitäten ausgegangen, sinken gegenüber den Passivhaus zwar die Einsparpotentiale, die Grundaussage bleibt jedoch bestehen: Unabhängig vom gewählten Glas, Rahmen, Gebäude oder Klima ist der Einsatz höchst energieeffizienter Abstandhalter dringend empfohlen.

5 Tabellen

(SWS U = der hocheffiziente Kunststoff-Abstandhalter „Swisspacer Ultimate“)

Ergebnisse für das das Referenzgebäude mit 2-fach Wärmeschutzglas

Jahresheizwärme- und Jahresnutzkältebedarf [kWh/(m²a)]			
	SWS U	Edelstahl	Alu
Heizwärme Nancy	47,5	48,6	50,4
Heizwärme La Rochelle	47,7	48,5	49,8
Heizwärme Nizza	48,0	48,6	49,6
Nutzkälte Nizza	6,5	6,5	6,5
Nizza kombiniert	54,5	55,1	56,1

	Gebäude: [%]			Gebäude: [kWh/(m²a)]			Laufmeter: [kWh/(m²a)]		
	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.
	Alu	Edelst.	Alu	Alu	Edelst.	Alu	Alu	Edelst.	Alu
Nancy	3,7%	2,3%	5,9%	1,9	1,1	3,0	2,8	1,7	4,5
La Rochelle	2,7%	1,6%	4,2%	1,3	0,8	2,1	2,0	1,2	3,2
Nizza	1,8%	1,1%	2,9%	1,0	0,6	1,6	1,5	0,9	2,4

	Gebäude: [kg CO2-eq/a]			Gebäude: [Fahrkilometer/a]			Laufmeter: [kg CO2-eq/(m²a)]		
	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.
	Alu	Edelst.	Alu	Alu	Edelst.	Alu	Alu	Edelst.	Alu
Nancy	48,2	28,6	76,8	405,2	240,2	645,3	0,73	0,43	1,16
La Rochelle	34,2	20,3	54,6	287,8	170,8	458,6	0,52	0,31	0,82
Nizza	26,1	15,5	41,7	219,7	130,3	350,0	0,39	0,23	0,63

	Gebäude: [€ in 40 Jahren]			Pro Laufmeter: [€ in 40 Jahren]		
	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst. vs.	SWS U vs.	SWS U vs.
	Alu	Edelst.	Alu	Alu	Edelst.	Alu
Nancy	510,1 €	302 €	813 €	7,7 €	4,6 €	12,3 €
La Rochelle	362,2 €	215 €	577 €	5,5 €	3,2 €	8,7 €
Nizza	261,5 €	155 €	416 €	3,9 €	2,3 €	6,3 €

Ergebnisse für das 3-fach verglaste Referenzgebäude

Jahresheizwärme- und Jahresnutzkältebedarf [kWh/(m²a)]			
	SWS U	Edelstahl	Alu
Heizwärme Nancy	46,2	47,3	50,2
Heizwärme La Rochelle	47,0	47,8	49,8
Heizwärme Nizza	47,9	48,5	50,0
Nutzkälte Nizza	6,5	6,5	6,6
Nizza kombiniert	54,4	55,0	56,6

	Gebäude: [%]			Gebäude: [kWh/(m²a)]			Laufmeter: [kWh/(m²a)]		
	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.
	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu
Nancy	2,4%		7,9%	1,2		4,0	1,7		6,0
La Rochelle	1,7%		5,7%	0,8		2,8	1,2		4,3
Nizza	1,1%		3,8%	0,6		2,2	1,0		3,3

	Gebäude: [kg CO2-eq/a]			Gebäude: [Fahrkilometer/a]			Laufmeter: [kg CO2-eq/(m²a)]		
	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.
	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu
Nancy	29,8		102,8	250,7		863,7	0,5		1,6
La Rochelle	21,2		73,0	178,2		613,4	0,3		1,1
Nizza	16,2		55,7	136,1		468,1	0,2		0,8

	Gebäude: [€ in 40 Jahren]			Pro Laufmeter: [€ in 40 Jahren]		
	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.	SWS U vs.	Edelst.	SWS U vs.
	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu	Alu
Nancy		316 €	1.088 €		4,8 €	16,4 €
La Rochelle		224 €	772 €		3,4 €	11,7 €
Nizza		162 €	557 €		2,4 €	8,4 €

Ergebnisse für das Passivhaus

Jahresheizwärme- und Jahresnutzkältebedarf [kWh/(m²a)]			
	SWS U	Edelstahl	Alu
Heizwärme Nancy	15,1	16,1	18,3
Heizwärme La Rochelle	15,0	15,6	17,3
Heizwärme Nizza	14,8	15,4	16,7
Nutzkälte Nizza	4,9	4,9	4,9
Nizza kombiniert	19,7	20,2	21,6

	Gebäude: [%]		Gebäude: [kWh/(m²a)]		Laufmeter: [kWh/(m²a)]	
	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu
Nancy	6,1%	17,7%	1,0	3,2	1,5	4,9
La Rochelle	4,2%	13,3%	0,7	2,3	1,0	3,5
Nizza	2,7%	8,8%	0,5	1,9	0,8	2,9

	Gebäude: [kg CO2-eq/a]		Gebäude: [Fahrkilometer/a]		Laufmeter: [kg CO2-eq/(m²a)]	
	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu
Nancy	25,3	83,3	212,2	700,4	0,4	1,3
La Rochelle	17,1	59,5	143,9	499,8	0,3	0,9
Nizza	14,3	49,7	120,5	417,7	0,2	0,8

	Gebäude: [€ in 40 Jahren]		Pro Laufmeter: [€ in 40 Jahren]	
	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu	SWS U vs. Edelst.	SWS U vs. Alu
Nancy	269 €	887 €	4,1 €	13,4 €
La Rochelle	182 €	631 €	2,7 €	9,5 €
Nizza	131 €	455 €	2,0 €	6,9 €