

Was bringen Fensterfolien?

Hartmut Ehmler¹, Helge Ehrhardt, Axel Erdmann und Ulrike Jordan
von der Fachgruppe Energie der Scientists for Future

Falls ein Austausch älterer Fenster nicht möglich ist, können Transmissionswärmeverluste von Gebäuden leicht und kostengünstig durch die Anbringung von Fensterfolien gesenkt werden. Dies spielt vor allem bei Mietwohnungen eine Rolle.

Diese Handreichung gibt einen Überblick über die U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) für die Verwendung verschiedener Fenster- und Folientypen. Die Angaben basieren auf Berechnungen nach DIN 673. Dabei schneidet eine Folie für Rahmenmontage, welche einen isolierenden Luftspalt bildet, insgesamt besser ab als eine Folie, die lediglich die Wärmestrahlung reduziert (low-e Folie) und direkt auf die Scheibenoberfläche geklebt wird.

Mit diesem Luftspalt zwischen Folie und Fensterglas wird der U-Wert einer Einfachverglasung um rund die Hälfte und der einer einfachen Isolierverglasung um etwa ein Drittel gesenkt. Durch Kombinationen aus Luftspalt und Strahlungsverminderung mit einer low-e Beschichtung können sogar ähnliche U-Werte erreicht werden, wie durch Wärmeschutzverglasungen der ersten Generation. Allerdings vermindern Folientypen mit low-e Beschichtung gleichzeitig die solaren Wärmegevinne. Sie sind daher zur Energieeinsparung nicht uneingeschränkt empfehlenswert.

Disclaimer: Dieser Beitrag entstand aus freiwilligem Engagement heraus bei einem Graswurzelprojekt der Scientists for Future in der deutschlandweiten Fachgruppe Energie. Die Autor:innen forschen nicht aktiv auf diesem Gebiet, sondern haben - nach ihren Möglichkeiten - auffindbares Wissen genutzt und aktiv Forschende in den Review-Prozess eingebunden.

Einleitung

Knapp 40 % der Fenster im Gebäudebestand in Deutschland wurden vor 1995 mit einfach- oder zweifach-verglasten Scheiben installiert, die nur eine geringe Wärmedämmwirkung haben, mit U-Werten um $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oder mehr (Abbildung 1). Um in der jetzigen Energiekrise den Heizwärmebedarf möglichst kurzfristig und kostengünstig abzusenken, können Fensterfolien zum Einsatz kommen, die in vielen Fällen auch durch Mieter:innen angebracht werden können.

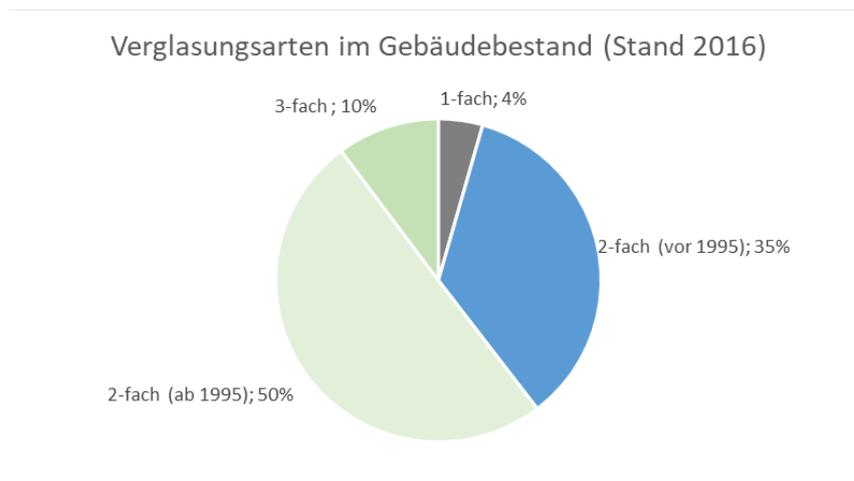


Abbildung 1: Verglasungsarten im Gebäudebestand. 2-fach verglaste Fenster hatten vor 1995 in der Regel keine Wärmeschutzverglasung, so dass zusammen mit dem geringen Anteil 1-fach Verglasungen knapp 40 % aller Bestandsfenster eine geringe Wärmedämmung aufweisen.

¹ Korrespondierender Hauptautor, E-Mail: ehmler@lightoven.de

Wirkungsweise

Zwei unterschiedliche Konzepte werden für Fensterfolien angewendet:

- a) Folien mit verminderter Wärmeabstrahlung (low-e): Sogenannte low-e Folien, die einen großen Anteil der Wärmestrahlung reflektieren, werden in der Regel von innen auf die Scheibe geklebt. Die Verminderung der Abstrahlung wird durch eine niedrig-emissive (low-e) Beschichtung erreicht. Der Wärmeübergang durch Strahlung aus dem Innenraum wird reduziert und somit die Wärmedämmung verbessert. Hält man sich in Fensternähe auf, so wird auch die Wärmestrahlung des menschlichen Körpers von der Folie reflektiert und so die thermische Behaglichkeit verbessert.
- b) Folie und Glasscheibe bilden einen Luftspalt: Hier wird eine Folie auf den Fensterrahmen geklebt und ggf. mit einem Heißluftfön nachgespannt. Es bildet sich eine isolierende Luftschicht, die zusätzliche Dämmwirkung hat.

Low-e Folien, die an den Rahmen angebracht werden können und bei denen somit beide Effekte a) und b) in einer Folie kombiniert werden, sind den Autor:innen nicht bekannt.² In der vorliegenden Handreichung wird aber auch die kombinierte Verwendung der beiden Folientypen betrachtet (siehe Abbildung 2):

- c) Kombination aus einer low-e Folie und einer am Rahmen befestigten Folie

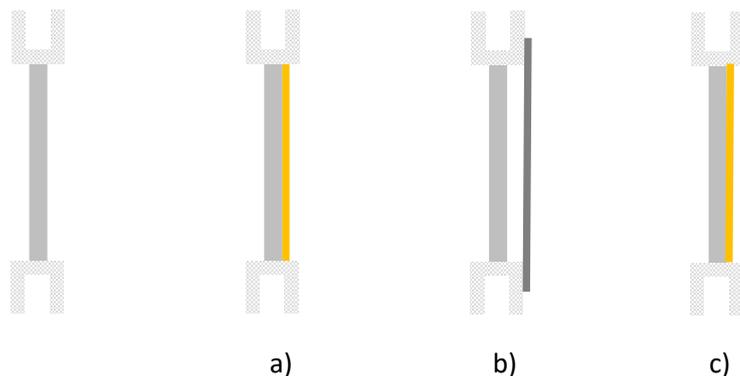


Abbildung 2: Verschiedene Konfigurationen einer auf die Scheibe geklebten oder auf den Rahmen gespannten Folie; a) mit niedrig-emissiver Beschichtung (gold), b) einfache Folie mit Luftpolster zwischen Folie und Scheibe, c) Folie mit Luftpolster und Folie mit low-e Beschichtung auf die Fensterscheibe geklebt.

Folienmaterialien

Gerade für die Folien, die einen Luftspalt bilden, werden von Herstellern oft keine Materialinformationen angegeben. Wir gehen davon aus, dass alle Folien, die sich mit dem Fön „glattziehen“ lassen, aus Polyethylen sind (LD-PE). Dieses Material ist für Wärmestrahlung weitgehend transparent. Es ist daher als Wärmeschutz weniger geeignet, da die Wärmestrahlung aus dem Raum nicht zurückgehalten wird, sondern praktisch ungehindert auf die dahinter liegende Glasscheibe trifft. Es gibt hingegen auch Folien aus Polyvinylchlorid (PCV) und Polycarbonat (PC), die Wärmestrahlung absorbieren und daher einen verbesserten Wärmeschutz bieten. Die low-e Folien sind mehrlagige Polyesterfolien mit metallischer Beschichtung.

Das Passivhaus-Institut Darmstadt hat detaillierte Berechnungen für Kunststoffe mit unterschiedlichen Strahlungseigenschaften zum Einsatz als Fensterfolie mit Luftspalt auf Verglasungen unterschiedlicher Dämmgüte durchgeführt [1], die mit den vorliegenden Berechnungen plausibel übereinstimmen. **In**

² Wir spekulieren, dass sie relativ teuer wären und aufgrund bislang fehlender Nachfrage nicht erhältlich sind.

unseren Berechnungen nehmen wir an, dass die Folie für Wärmestrahlung undurchlässig ist und beschränken uns auf 1-fach Verglasungen und 2-fach Verglasungen alter Bauart („Isolierfenster“ ohne Wärmeschutzverglasung, Doppelkassenfenster im Altbau).

Wärmedämmwerte (U-Werte)

Die Berechnungen wurden nach der DIN 673 durchgeführt [1]. Die verwendeten Parameter und Randbedingungen (Geometrie- und Stoffwerte, Wärmedurchgangskoeffizienten, Temperaturen, usw.) sind im Anhang aufgeführt. Für die low-e Folie wurden die Daten einer typischen Folie ausgewählt [3]. Eine Excel-Tabelle mit den zugrundeliegenden Berechnungen ist beim Hauptautor dieser Handreichung erhältlich. Die folgenden Abbildungen fassen wesentliche Ergebnisse zusammen.

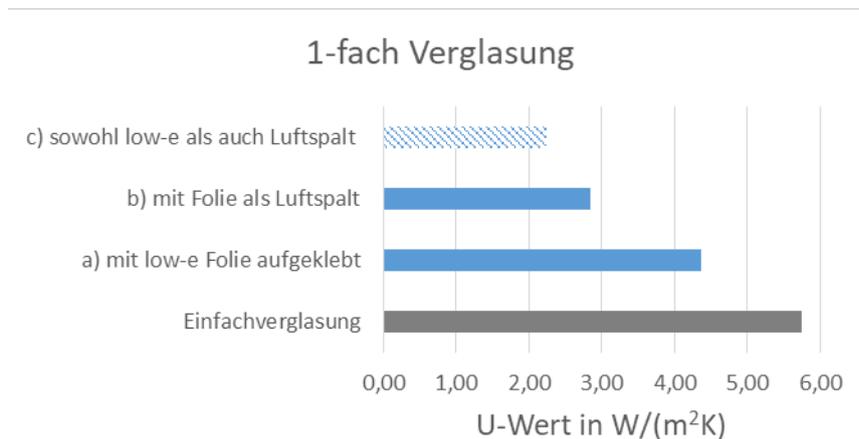


Abbildung 3: Verbesserung des U-Wertes einer Einfachverglasung durch eine aufgeklebte bzw. auf den Rahmen gespannte Folie mit bzw. ohne niedrig-emissive Beschichtung nach Abbildung 2. Der schraffierte Balken deutet an, dass für diese Variante zwei Folien nötig sind, oder aber eine Folie, die beide Eigenschaften kombiniert.

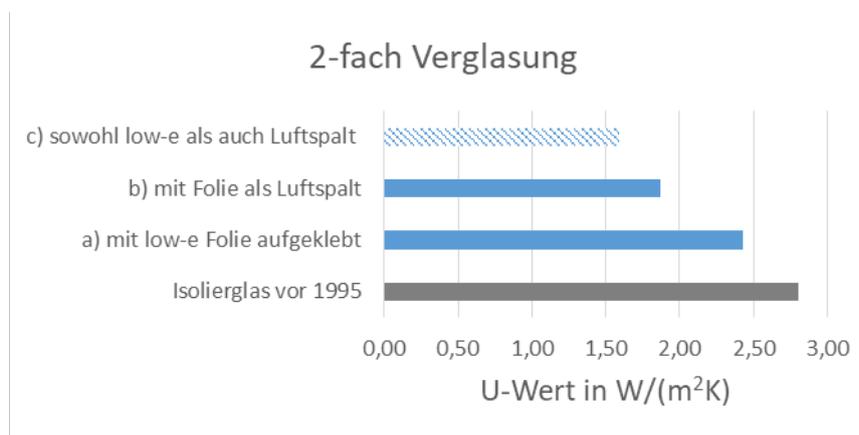


Abbildung 4: Verbesserung des U-Wertes einer Isolierverglasung alter Bauart durch eine aufgeklebte bzw. aufgespannte Folie mit bzw. ohne niedrig-emissive Beschichtung nach Abbildung 2. Der schraffierte Balken deutet an, dass für diese Variante zwei Folien nötig sind, oder aber eine Folie, die beide Eigenschaften kombiniert.

Wie in Abbildung 3 dargestellt, erreichen alle Folien besonders für Einfachverglasung eine deutliche Senkung des U-Wertes von 5,8 W/(m²K) auf bis zu ca. 2,2 W/(m²K), wobei der U-Wert durch die betrachtete low-e Folie um ca. 24 % abgesenkt werden kann, durch eine Folie mit Luftspalt sogar um mehr als das Doppelte (um ca. 51 %) und durch die Kombination der beiden Folien um sogar ca. 61 %. Auch für Doppelverglasungen ergeben sich erhebliche Absenkungen des U-Wertes um 13 % (low-e),

33 % (Folie als Luftspalt) und 43 % (Kombination) gegenüber einem Isolierglas von vor 1995, siehe Abbildung 4.³

Erzielbare Einsparungen

Mit der in der energetischen Bilanzierung üblichen Berechnung und Annahmen für Gradtagzahlen aus Berlin⁴ ergibt sich bei einer Reduktion des U-Wertes um 1 W/m²K eine jährliche Absenkung der Wärmeverluste pro Quadratmeter Fensterscheibenfläche von ungefähr 82 kWh. Zur Ermittlung der Brennstoffeinsparung wurden die Wärmeverluste durch einen Anlagenwirkungsgrad von 75 % dividiert⁵. Mit einem angenommenen Brennstoffpreis von 12 Cent pro kWh⁶ Endenergie ergeben sich daraus die in Abbildung 5 dargestellten jährlichen Kostenminderungen.

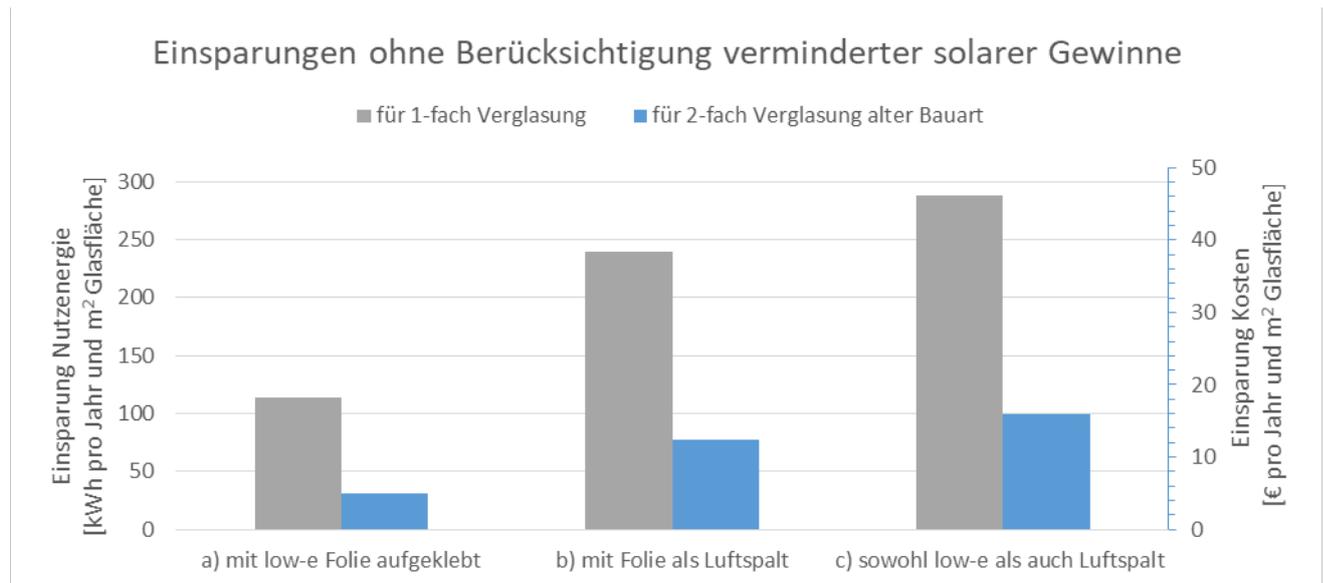


Abbildung 5: Erzielbare jährliche Nutzenergie-Einsparungen bezogen auf einen Quadratmeter Scheibenfläche sowie daraus resultierende Kosteneinsparungen für Einfach- und Doppelverglasungen alter Bauart (d.h. ohne Wärmeschutzverglasung) mit verschiedenartigen Fensterfolien. Eine Abschwächung solarer Einstrahlung durch die Folie bleibt in dieser Darstellung unberücksichtigt (gilt damit z.B. für ein nach Norden ausgerichtetes oder stark verschattetes Fenster). Solare Einstrahlung wird in der Abbildung 6 und Abbildung 7 berücksichtigt.

Die erzielbaren Einsparungen können damit in Abhängigkeit von der gesamten Glasfläche der Fenster und ihrer Bauart abgeschätzt werden. Pauschale Angaben auf manchen Produkten wie „spart x Prozent an Heizenergie“ sind dagegen wenig aussagekräftig.

Ohne Berücksichtigung von solarer Einstrahlung (gilt z.B. für Nordfenster) ergeben sich für einfachverglaste Fenster mit der betrachteten low-e Folie damit jährliche Einsparungen von 113 kWh, für die Folie mit Luftspalt von 239 kWh und für die Kombination sogar 288 kWh (jeweils pro Quadratmeter Glasfläche und Jahr). Für die betrachtete 2-fach Verglasung alter Bauart (Isolierverglasungen ohne Wärmeschutz) ergeben sich geringere Einsparungen. Es lassen sich aber auch hier für die betrachteten Folien Einsparungen zwischen 30 und 100 kWh pro Quadratmeter Glasfläche und Jahr erzielen.

³ Die Ergebnisse hängen von der gewählten Emissivität der low-e Folie ab. Wählt man statt einer „typischen“ low-Folie mit 37 % Emissivität ein „Premium“-Produkt mit nur 9 % Emissivität [3], beträgt die Reduktion im U-Wert -40 % statt -24 % (gilt für 1-fach Verglasung; zum Vergleich Folie mit Luftspalt: -51 %).

⁴ Aus langjährigem Mittel der Gradtagzahlen für Berlin, siehe <https://www.iwu.de/publikationen/tools/#c1761>

⁵ Heizanlagen in der Wohnung können einen höheren Wirkungsgrad haben, entfernte Zentralheizungen einen schlechteren.

⁶ Für andere Preise lässt sich die Ersparnis umrechnen.

Bei 2-fach Verglasung alter Bauart und nach Norden ausgerichteten Fenstern lassen sich unter den betrachteten Annahmen durch den Einsatz einer einfachen Fensterfolie (mit Luftspalt zum Glas) ca. 80 kWh Wärmeverlust im Jahr pro Quadratmeter Fensterfläche einsparen!

Wie Abbildung 3 bis Abbildung 5 zeigen, ist die Wirksamkeit einer aufgeklebten low-e Folie geringer gegenüber einer einfachen Folie mit Luftspalt. Durch die Kombination beider Folien lassen sich sogar U-Werte erreichen, die im Bereich von einfachem Wärmedämmglas⁷ liegen.

Solare Gewinne

Durch Fenster erhöhen sich nicht nur die Wärmeverluste eines Gebäudes, sondern auch dessen solare Gewinne. Besonders die low-e Folien verringern die Transmission der Sonneneinstrahlung des Fensters (Energiedurchlassgrad bzw. g-Wert) und somit die solaren Gewinne. Von der Einsparung an Heizenergie durch die bessere Wärmeisolation der Folie müssen die verminderten solaren Erträge daher in der Jahresbilanz abgezogen werden. Das Ergebnis zeigt Abbildung 6. Die für die Berechnung notwendigen Parameter sind im Anhang aufgeführt. Eigenschaften der low-e Folie sind der Ref. [3] entnommen.

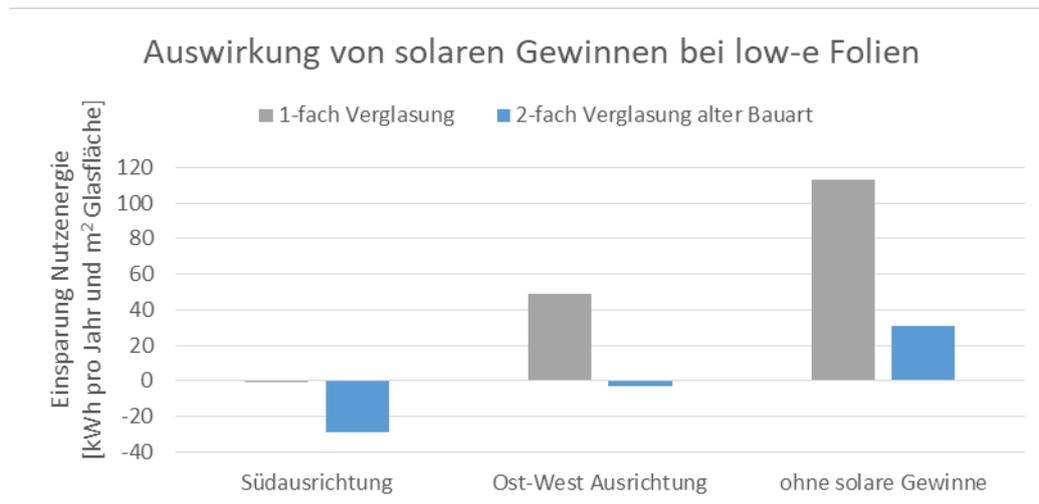


Abbildung 6: Auswirkung der solaren Gewinne auf die Einsparung an Nutzenergie mit aufgeklebter low-e Folie bei verschiedener Ausrichtung der Fenster.

Für die gewählte typische low-e Folie mit 37 % Emissivität ergibt sich bei besonnten Fenstern eine Netto-Ersparnis überhaupt nur bei Einfachverglasung in Ost-West Ausrichtung; bei Doppelverglasung ist diese Bilanz ausgeglichen oder sogar negativ. Die Berechnung wurde zum Vergleich auch mit einer niedrigeren Emissivität durchgeführt. Selbst für die low-e „Premium“ Folie aus Ref. [3] mit einer Emissivität von 9 % ergäbe sich bei doppelverglasten, besonnten und nach Süden ausgerichteten Fenstern praktisch keine Gesamtersparnis.

Bei den Folien, die als Luftspalt wirken, ist die Bilanz deutlich günstiger aus zwei Gründen: zum einen reduzieren sie den U-Wert stärker und führen daher zu geringeren Transmissionsverlusten, zum anderen bewirken sie weniger Abschwächung der Sonneneinstrahlung als die beschichteten low-e

⁷ Bei „Wärmedämmglas“ ist die innere Scheibe mit einer niedrig-emissiven Schicht versehen, die zur Außenscheibe weist. Dadurch wird der Strahlungsaustausch im Luftspalt stark herabgesetzt. Bei Wärmedämmglas der zweiten Generation ist der Scheibenzwischenraum mit einem Edelgas (Argon oder Krypton) gefüllt, so dass der Wärmeleitungsanteil herabgesetzt wird. Je nach Qualität bzw. Bauartersklasse lassen sich U-Werte von 1,4 und darunter erzielen.

Folien. Insbesondere hochtransparente Folienmaterialien wie z.B. klares Polycarbonat haben diese günstige Eigenschaft.

Zusammenfassend können nach unserer Auffassung die low-e Folien für besonnte Fenster unter Energiespargesichtspunkten nur sehr eingeschränkt empfohlen werden. Oft steht allerdings die Funktion als Sonnenschutzfolie im Vordergrund. Dabei ist zu beachten, dass hierdurch die solaren Gewinne in der Heizperiode erheblich verringert werden. Dies kann je nach Verglasung und Besonnung die energiesparende Wirkung einer low-e Beschichtung zunichtemachen und somit zu höherem Heizwärmebedarf als ohne Folie führen.

Hingegen sind die einfachen Folien mit Luftspalt auch für besonnte Fenster empfehlenswert, insbesondere wenn sie optisch hochtransparent und gleichzeitig undurchlässig für Wärmestrahlung sind, wie zum Beispiel Polycarbonat. Abbildung 7 zeigt beispielhaft erzielbare jährliche Nutzenergie-Einsparungen unter Berücksichtigung der Strahlungsgewinne für eine Nord-, Ost-/West- und Südausrichtung der Fenster.⁸

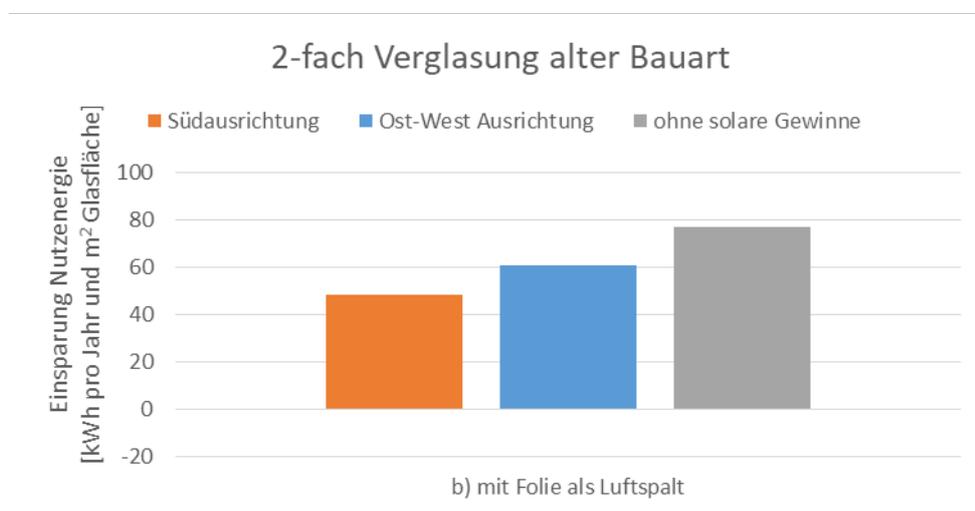


Abbildung 7: Auswirkung der solaren Gewinne auf die Einsparung an Nutzenergie für die betrachtete 2-fach Verglasung alter Bauart mit Folie als Luftspalt bei verschiedener Orientierung der Fenster.

Beispiel: Für ein typisches Berliner Mehrfamilienhaus mit Isolierglasfenstern alter Bauart (oder Doppelfenstern) betragen typischerweise die Transmissionswärmeverluste durch die Fenster ca. 25 % des Gesamtwärmebedarfs. Diese Verluste lassen sich folglich durch eine einfache, am Fensterrahmen befestigte Folie, um rund ein Drittel senken. Damit sinkt der Gesamtwärmebedarf in diesem Beispiel um ca. 8 %. Beträgt die Gesamtfensterfläche 20 m² in Ost-West-Ausrichtung, so werden gemäß Abbildung 7 pro Jahr 1200 kWh eingespart. Für Einfachverglasung ergeben sich sogar noch deutlich höhere Einsparungen.

Wo machen Folien zur Energieeinsparung Sinn?

- Bei unbesonnten Fenstern: Alle Folientypen sowohl für Einfach- als auch für Isolierverglasung
- Bei besonnten Fenstern:
 - o die meisten low-e Folien nur für Einfachverglasung in Ost- oder Westausrichtung
 - o Folien mit Luftspalt aus PC oder PVC für Einfach- und Isolierverglasungen

⁸ Um die solare Abschwächung zu erhalten, wurde als Näherung der Energiedurchlassgrad der Doppelverglasung mit einem Transmissionsfaktor von 86 % für eine Polycarbonatfolie im sichtbaren Spektrum multipliziert.

Produkte und Praxiserfahrungen

Einfache, unbeschichtete Folien, die mit der Glasscheibe eine Luftschicht ausbilden, amortisieren sich bei den hier gewählten Annahmen schon nach weniger als einer Heizsaison. Folien aus LD-PE werden nach dem Aufkleben auf den Fensterrahmen mit einem Fön erwärmt, so dass sie sich glattziehen. Hierzu gibt es eine schöne DIY („Do-it-yourself“)-Anleitung des Passivhaus-Institut Darmstadt zusammen mit der Energieagentur Hessen [4]. Polyethylen ist aber für Wärmestrahlung transparent und daher zur Energieeinsparung nicht optimal [1]. Als Alternative können transparente Folien eingesetzt werden, die ursprünglich gar nicht als Energiesparfolien gedacht sind. Zum Beispiel können hochtransparente Polycarbonat-Folien von 0,5 mm Stärke gut verwendet werden. Diese sind zwar teurer als die dünnen Folien aus PE oder PVC, dafür aber optisch ansprechender, haltbarer und leichter zu reinigen. Die Montage kann mit durchsichtigem Klebeband erfolgen. Dieses Material hat nach unserer Auffassung Potential für DIY-Lösungen guter Qualität.

Bei den low-e Folien gibt es große Unterschiede, wieviel Sonnenlicht die Folien durchlassen und ob sie daher primär als Sonnenschutzfolie oder als Energiesparfolie zu betrachten sind. Wichtig für die Energieeinsparung sind ein geringer Emissions- bzw. Absorptionsgrad für Wärmestrahlung sowie ein hoher Durchlassgrad für Solarstrahlung bei besonnten Fenstern. Erstgenannte Eigenschaft äußert sich in einem guten Reflexionsvermögen für die Wärmestrahlung, welches manchmal als Produktinformation angegeben ist. Low-e Folien sind um einen Faktor 3 bis 30 teurer als unbeschichtete Folien. Diese großen Unterschiede lassen sich nicht durch das jeweilige Energieeinsparpotential rechtfertigen. Sondern hier spielen weitere Präferenzen für die Auswahl eine Rolle, wie z.B. Sonnenschutz und ästhetische Gesichtspunkte.

Die Autor*innen möchten in einem nächsten Schritt einige konkrete Anwendungen dokumentieren und sind daher dankbar für weitere Anregungen, Praxisbeispiele und Erfahrungen.

Referenzen

- [1] Informationen zu Fensterfolien vom Passivhaus-Institut Darmstadt, https://passipedia.de/baulich/verglasungen_verbessern abgerufen am 16.2.2023
- [2] DIN EN 673: „Glas im Bauwesen – Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) – Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 673:2011
- [3] Siehe Übersicht unter <https://bruxsafol.de/sonnenschutz/datentabellen-sonnenschutzfolien/> für low-e Folie XE 50 als Referenz und „Premium“ Folie XE 70 zum Vergleich, abgerufen am 18.1.2023
- [4] Energieagentur Hessen: „Mit Fensterfolien zusätzlich isolieren“, <https://www.lea-hessen.de/buergerinnen-und-buerger/hessen-spart-energie/do-it-yourself-energiesparmassnahmen/diy-energiespartipp-5-fensterfolien-anbringen/> abgerufen am 17.1.2023

Anhang: Randbedingungen für Berechnungen

<i>Eingangsgrößen für U-Werte</i>		
Außentemperatur	0	°C
Innentemperatur	20	°C
Stefan-Boltzmann-Konstante	5,67E-08	W/(m ² K ⁴)
Emissionsgrad Glas	83,7	%
Folie als Luftspalt – Eigenschaften für Wärmestrahlung	wie Glas	(Annahme)
Emissionsgrad low-e Folie*	37	%
Wärmeleitfähigkeit Glas	1,00	W/(m*K)
Dicke Glas	0,004	m
Wärmeübergangskoeffizient innen durch Konvektion	3,6	W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient innen durch Strahlung	4,1	W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient innen durch Strahlung low-e	1,5	W/(m ² K)
Wärmeübergangskoeffizient außen	25	W/(m ² K)
Wärmedurchgangskoeffizient durch Wärmeleitung und Konvektion im Luftspalt von zwei Glasscheiben	1,90	W/(m ² K)
<i>Eingangsgrößen für Ersparnisse inklusive solarer Gewinne</i>		
Gradtagzahl Berlin (20°C/15°C)	82,1	kKh
Preis Nutzenergie (25% Umwandlungsverluste)	0,16	€/kWh
Solare Einstrahlung während Heizperiode auf Fensterfläche mit Südausrichtung	350	kWh/(m ² a)
mit Ost- oder West-Ausrichtung	200	
Gesamtenergiedurchlassgrad		
für Einfachverglasung (ohne Folie)	82	%
a) mit low-e Folie aufgeklebt*	42	%
für Doppelverglasung (ohne Folie)	70	%
a) mit low-e Folie aufgeklebt*	49	%
b) mit für Wärmestrahlung undurchlässige Folie als Luftspalt**	60	%
Reduktionsfaktor durch nicht senkrechten Strahlungseinfall und Verschmutzung (ohne Rahmen, ohne Verschattung)	81	%

* für Folie XE 50 aus Ref. [3]

**durch Multiplikation mit einem Transmissionsfaktor von 86 % für eine Polycarbonatfolie