

Anforderungen an Fenster Anmerkungen zur Planung und Konstruktion

Dipl.-Ing. Wilfried Zapke

Fenster versorgen die Innenräume mit Tageslicht, dienen der Lüfterneuerung in den Räumen und schützen vor Umwelteinflüssen wie Kälte, Wärme, Lärm, Wind und Niederschlägen. Entsprechend weitgefächert ist das Spektrum der planungsrelevanten Aspekte. Sowohl licht-, Lüftungs-, wärme-, schall- und wohntechnische als auch hygienische, psychologische und nicht zuletzt wirtschaftliche Gesichtspunkte sind bei der täglichen Arbeit zu beachten.

1. Beleuchtung und Tageslicht

Eine der wichtigsten Aufgaben, die Fenster zu erfüllen haben, ist die Beleuchtung der Räume mit Tageslicht, damit zum einen ein ausreichendes Helligkeitsniveau in den Räumen erreicht und zum anderen ein angemessener Sichtkontakt zwischen innen und außen gewährleistet wird. Die Wahrnehmung des Tageslichtes und der natürliche Wechsel von Tag und Nacht sind auf Dauer gesehen für das menschliche Wohlbefinden ebenso unentbehrlich wie die natürliche Sichtverbindung mit der Umwelt, weil dadurch die Leistungsfähigkeit und die Regenerationsmöglichkeiten des Organismus entscheidend bestimmt werden.

Das fundamentale Kriterium für die Beleuchtung von Innenräumen mit Tageslicht ist nach DIN 5034 Teil 1 „Tageslicht in Innenräumen; Leitsätze“ Entwurf Oktober 1980 [2] der sogen. Tageslichtquotient D (Daylight Factor). Er ist definiert als das Verhältnis der Beleuchtungsstärke E_p , die durch direktes und/oder indirektes Himmelslicht bei angenommener oder bekannter Leuchtdichteverteilung des Himmels in einem bestimmten Punkt einer Bezugsebene erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke E_a im Freien bei unverbaute Himmelskugel:

$$D = \frac{E_p}{E_a} \cdot 100\%$$

Daneben hängt die Güte der Innenraumbeleuchtung von Merkmalen ab wie ausgeglichene Leuchtdichteverteilung im Raum, Vermeidung von Blendung, z. B. Direktblendung durch die Sonne, oder Milderung der Schattenbildung.

Die durch das Tageslicht erzeugte Helligkeit in Wohnräumen wird als ausreichend erachtet, wenn der Tageslichtquotient auf einer horizontalen Bezugsebene, gemessen in einer Höhe von 0,85 m über dem Fußboden, in halber Raumtiefe und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden im Mittel wenigstens 0,9% und am ungünstigeren dieser Punkte wenigstens 0,75% beträgt. Damit steht ein Kriterium zur Verfügung, das es gestattet, die Fenstergröße je nach den örtlichen Gegebenheiten zu bestimmen.

Die in der Musterbauordnung [6] und den Bauordnungen verschiedener Bundesländer enthaltene Regelung, wonach das Rohbaumaß der Fensteröffnungen mindestens 1/8 der Grundfläche des Raumes betragen muß, kann dagegen nur grobe Anhaltswerte liefern. So werden, um nur einige Einflußgrößen zu nennen, die geographische Lage, die Verschattung durch Nachbarbebauung oder Bäume, die Lage des Fensters in der Außenwand oder die Tiefe des Raumes nicht berücksichtigt.

2. Wohnraumbelüftung

Eine ständige Lüfterneuerung in Aufenthaltsräumen ist aus Gründen der Raumhygiene und zur Vermeidung von Tauwasserbil-

dung generell notwendig. Beim Betrieb „offener“ Feuerstätten wie z. B. Gastherme oder Kaminofen tritt die für die einwandfreie Verbrennung erforderliche regelmäßige Luftzufuhr hinzu. Als Größe zur Beschreibung der Lüfterneuerung wird die sogen. Luftwechselzahl mit der Einheit h^{-1} verwendet. Die Luftwechselzahl gibt an, wievielfach innerhalb einer Stunde eine dem Raumvolumen entsprechende Luftmenge mit der Außenluft ausgetauscht wird.

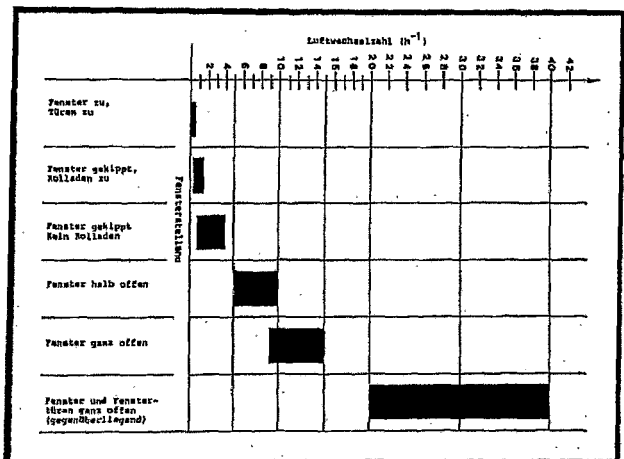


Abb.1: Luftwechsel in Abhängigkeit von der Fensterstellung [nach 9]

Nach anerkannter Regel ist aus hygienischer Sicht ein 0,5- bis 0,7-facher Luftwechsel pro Stunde erforderlich. Wie Abbildung 1 zeigt, ist dieser Luftwechsel wegen den heute üblichen Fugendichtungen bei geschlossenen Fenstern kaum zu erreichen.

Nach der Wirkungsweise der Lüftung, die über die Fenster erfolgen kann, unterscheidet man zwischen Dauerlüftung und Stoßlüftung. Beide Lüftungsarten sind bei der Konstruktion des Fensters zu berücksichtigen und setzen unterschiedliche bauliche Maßnahmen voraus.

Das mitunter benutzte Argument, daß Stoßlüftung grundsätzlich energieverwenderisch wirke, ist nicht stichhaltig. Untersuchungen von Gertis und Hauser [9], [10] haben deutlich gezeigt, daß durch Stoßlüftung im Vergleich zur Dauerlüftung sogar Heizenergie eingespart werden kann, und zwar

- in Einfamilienhäusern 2 bis 3%
- in Bürogebäuden bei schwerer Bauart bis 3% und bei leichter Bauart 3 bis 4%.

Zurückzuführen ist dieser Effekt darauf, daß bei Stoßlüftung nur kurzzeitig ein erhöhter Luftaustausch stattfindet. Dabei sinkt die Raumlufttemperatur je nach Außenlufttemperatur zum Teil kräftig, doch der Raum kühlt wegen der Wärmespeicherfähigkeit der Umschließungsbautelle kaum aus.

Ständige Kippstellung von Fenstern führt zwar auch zu hohen Luftwechseln, doch werden die Raumschließungsflächen wegen des länger andauernden Lüftungsvorganges vergleichsweise stärker ausgekühlt.

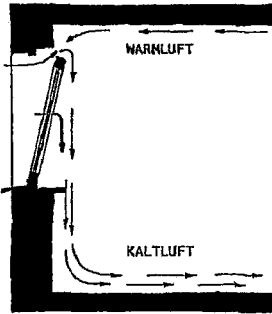


Abb. 2: Fensterlüftung bei Kippflügelstellung

3. Wärmeschutz

3.1 Winterlicher Wärmeschutz

Die Wärmeverluste im Fensterbereich setzen sich aus den Transmissions- und den Lüftungswärmeverlusten zusammen; hängen also zum einen von der Fensterfläche und zum anderen von der Fugenlänge zwischen Blendrahmen und Fensterflügel ab. Je größer die Fensterfläche ist, desto größer werden die Wärmeverluste in Abhängigkeit von der Verglasungsart. Bei Einfachverglasung, die nach der Wärmeschutzverordnung [11], [12] nicht mehr zulässig ist, treten naturgemäß die größten Transmissionswärmeverluste auf.

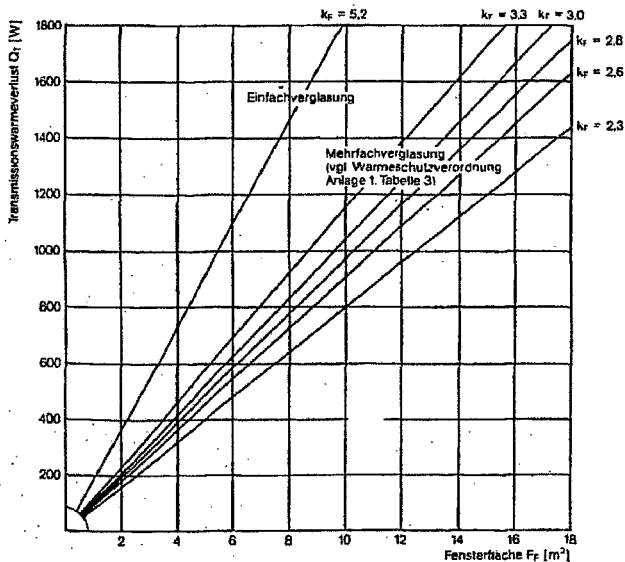


Abb. 3: Einfluß der Fensterfläche auf den Wärmeverlust

Die Lüftungswärmeverluste nehmen direkt proportional zur Länge der Fuge zwischen Blendrahmen und Fensterflügel zu. Bei mehrteiligen Fenstern ist es daher durchaus ratsam, unter Beachtung des hygienisch notwendigen Mindestluftwechsels bestimmte Bereiche feststehend auszubilden. Die Fugen zwischen Blendrahmen und Außenwand sowie zwischen Fensterrahmen und -scheibe müssen gemäß Wärmeschutzverordnung § 3 Abs. 2 [11] ohnehin luftundurchlässig abgedichtet sein.

Durch geeignete Abdeckungen vor den Fenstern können die Wärmeverluste im Fensterbereich erheblich gesenkt werden. Schützt man beispielsweise einfachverglaste Fenster mit Rolläden, so sinkt der Wärmeverlust rein rechnerisch fast auf die Hälfte; während die Verringerung beim 3-fach verglasten Fenster noch etwa ein Viertel ausmacht.

| Fenstergröße 2,00 x 1,50 m Fugendurchlaßkoeffizient a=1 Temperaturdifferenz Δθ = 35 K | Lüftungswärmeverlust Q_L | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----|
| | % | W |
| Fugenlänge 7,0 m | 100 | 90 |
| Fugenlänge 10,0 m | 143 | 129 |
| Fugenlänge 11,5 m | 166 | 149 |
| Fugenlänge 13,0 m | 187 | 168 |

Abb. 4: Einfluß der Fensterteilung auf den Lüftungswärmeverlust

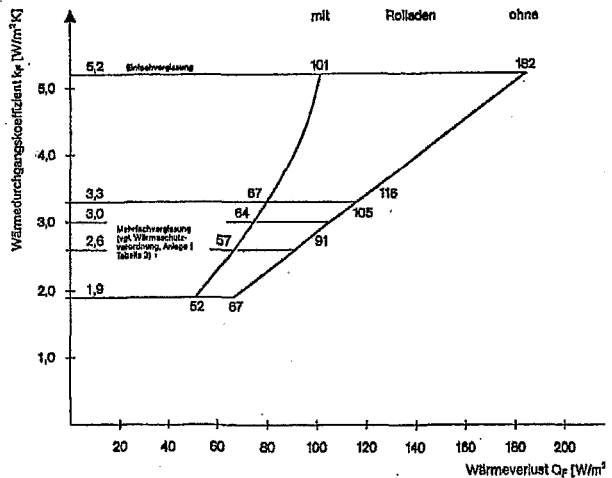


Abb. 5: Einfluß eines Rolladens auf den Wärmeverlust

Durch Fenster geht jedoch nicht nur Wärme verloren: Je nach der Sonneneinstrahlungsverhältnissen und den gleichzeitig herrschenden Außentemperaturen kann der Wärmegehalt über die Fenster wesentlich größer sein als der Wärmeverlust. Eine Berechnung der während der Heizperiode möglichen Strahlungsgewinne erfolgt bisher nicht: weder in der Wärmeschutzverordnung [11] noch in der DIN 4108 [14] bzw. DIN 4701 [24] wird der Einfluss der Sonneneinstrahlung berücksichtigt, so daß derzeit eine Verringerung der Heizkörperflächen oder eine Verringerung der Heizkesselgröße aufgrund von Strahlungsgewinnen nicht praktiziert werden kann.

3.2 Sommerlicher Wärmeschutz

Durch Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz in Sommer soll eine zu hohe Erwärmung der Räume infolge Sonneneinstrahlung vermieden werden. Hierbei reicht es nicht aus, lediglich die Außenbauteile nach ihrer Wärmedämmung zu beurteilen. Vielmehr hängt der sommerliche Wärmeschutz neben der Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, insbesondere der innenliegenden und den instationären Wärmeleitfähigkeiten der nichttransparenten Bauteile von bestimmten fensterspezifischen Größen ab und zwar:

- der Energiedurchlässigkeit der Fenster (Verglasung)
- dem Fensteranteil an der Außenfläche
- der Orientierung der Fenster nach der Himmelsrichtung
- der Lüftung in den Räumen.

Empfehlungen für den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen werden in DIN 4108, Teil 2, [14] gegeben.

3.3 Schallschutz

Schallschutztechnisch stellen Fenster im Vergleich zu den anderen gebäudeumschließenden Bauteilen das schwächste Glied dar. Ihr Schalldämm-Maß bestimmt entscheidend den Lärmpegel innerhalb der Wohnungen.

Maßgebliche Größe für die Schalldämmung im Fensterbereich ist die Luftschall. Er wird am zweckmäßigsten durch zweischalige Konstruktionen, deren Fugen mit weichfedernden, dauerelastischen Dichtungen ausgestattet sind, gedämmt. Die Wirkung beruht darauf, daß bei zweischaligen Bauteilen ein Schwingungssystem entsteht, welches in seinen schalldämmenden Eigenschaften von der Biegefestigkeit der beiden Schalen und einer wirksamen Federung zwischen diesen bestimmt wird. Die flächenbezogene Masse tritt demgegenüber in den Hintergrund. Einzelheiten regelt DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ Teil 6, Entwurf Februar 1979 [15].

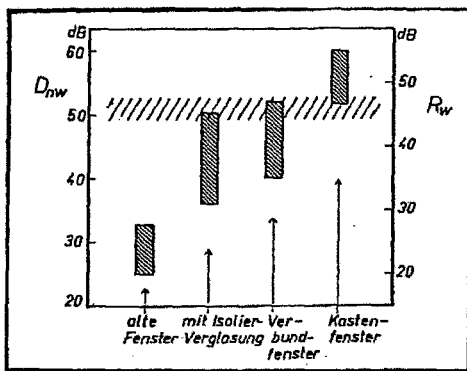


Abb. 9: Übersicht über das schalltechnische Verhalten von Fenstern [16]. Als Maßstab links die bewertete Normalpegeldifferenz D_{nw} , rechts das bewertete Schalldämmmaß R_w . Schraffiert ist die ungefähr anzustrebende Dämmung bei einem Außenlärmpegel von 70 dB(A) angegeben

In den Nachtstunden kann die Schalldämmung im Fensterbereich durch Rolläden zusätzlich verbessert werden. Wie Versuche der Stiftung Warentest [17] zeigten, führen Rolläden mit dem üblichen Abstand von etwa 4 cm vor der Verglasung allerdings nicht zu dem gewünschten positiven Effekt. Vielmehr war eine Verschlechterung, besonders in tiefen Frequenzbereichen, zu verzeichnen, was auf Resonanzerscheinungen in dem relativ schmalen, ungepöppften Luftraum zwischen Rolläden und Fensterscheibe zurückzuführen ist. Erst wenn der Abstand etwa 6 cm beträgt, kann mit einer Verbesserung der Schalldämmung gerechnet werden.

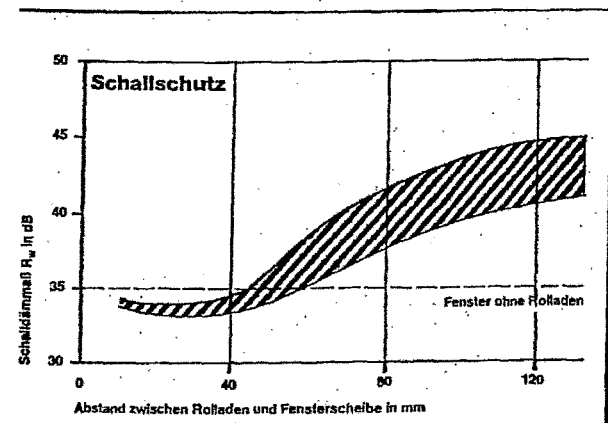


Abb. 10: Einfluß des Rolladens auf das Fenster [17]

3.4 Wirtschaftliche Aspekte

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Fenstern sind die Kosten für die Anschaffung und für die Instandhaltung zu berücksichtigen.

Die Anschaffungskosten hängen von einer Vielzahl von Einflußgrößen wie Fenstergröße, Verglasung, Beschlag u. ä. ab. Bei vergleichenden Betrachtungen treten vor allem das Rahmenmaterial und die Bauart in den Vordergrund.

Vergleicht man Einfachfenster hinsichtlich des verwendeten Rahmenmaterials, so ergibt sich folgendes Bild:

| Fensterbauart | Rahmenmaterial | Verglasung | Kosten |
|----------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|
| Einfachfenster | Holz | Isolierglas 12 mm Luft- zwischenraum | 100% |
| | Kunststoff | | 105% |
| | Aluminium (einfaches Profil) | | 120% |
| | Aluminium (thermisch getrenntes Profil) | | 150% |

Abb. 11: Kostenvergleich von Einfachfenstern nach dem Rahmenmaterial

Die angegebenen Kostenrelationen gelten für Fenster mittlerer Größe und können als Anhalt dienen. Sie beinhalten die Verglasung und den Einbau der Fenster.

Verbund- und Kastenfenster werden vor allem dann eingesetzt, wenn an den Schutz gegen Außenlärm besonders hohe Anforderungen gestellt werden. Die Erhöhung des Schallschutzes wird u. a. dadurch erreicht, daß Glasscheiben unterschiedlicher Dicke verwendet werden. Ihre Kosten in Relation zum Isolierverglastem Einfachfenster sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten. Sie gelten ebenfalls für Fenster mittlerer Größe einschließlich Verglasung und Einbau.

| Fensterbauart | Rahmenmaterial | Verglasung | Kosten | |
|----------------|----------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------|
| Einfachfenster | Holz | Isolierglas 12 mm Luft- zwischenraum | 100% | |
| Verbundfenster | Holz | 2 Einfach- scheiben 4 mm 20 - 40 mm Scheibenabstand | 150% | |
| | | | Kunststoff | 160% |
| | | | Aluminium (thermisch getrennt) | 180% |
| Kastenfenster | Holz | 2 Einfach- scheiben 4 mm über 70 mm Scheibenabstand | 170% | |
| | | | Kunststoff | 180% |

Abb. 12: Kostenvergleich von Fenstern nach der Bauart

Die Instandhaltungskosten hängen ab von Art, Umfang und Häufigkeit der notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen und können bei der Entwicklung der Gesamtkosten innerhalb eines bestimmten Nutzungszeitraumes dominieren. Wie bei allen Bauteilen, die intensive Instandhaltungsmaßnahmen erfordern, besteht auch bei Fenstern die Möglichkeit, daß überproportional ansteigende Lohnkosten die Kostenvorteile bei der Anschaffung aufzehren.

Eine Vergleichsrechnung für isolierverglaste Einfachfenster mit unterschiedlichen Rahmenmaterialien [19] zeigt, daß in einem 50jährigen Nutzungszyklus das Kunststoff-Fenster theoretisch die geringsten Kapitalwerte verursacht. Hierbei ist aber, da über die technische Lebensdauer noch geringe Erfahrungen vorliegen und eine unsachgemäße Behandlung sich bei dieser Fensterart besonders nachteilig auswirkt, ein Schätzfehler der voraussichtlichen Standzeit und Funktionsfähigkeit der Kunststoffprofile und Verbindungen nicht ausgeschlossen.

Das gestrichene Holzfenster zeichnet sich zwar zunächst durch niedrige Erst-Investitionskosten aus, doch die wiederkehrenden Anstricharbeiten und die geringere Lebensdauer bewirken nach 50 Jahren Gesamtkosten, die rd. 15% über denen des Kunststoff-Fensters liegen. Ferner muß beim Holzfenster das Risiko des Bauschadens bei unsachgemäßer Verarbeitung (Anstriche) oder beim Befall von Pilz oder Fäule in Kauf genommen werden.

Das Aluminium-Fenster liegt auf der Basis des heutigen Preisstandes trotz des geringen Bauunterhaltungsanspruches aufgrund der hohen Investitionskosten in den Kapitalwertkosten am höchsten, und auch das Holz/Aluminium-Fenster bringt gegenüber dem Aluminium-Fenster keine wesentlichen Kostenvorteile. Hier liegen die Vorteile in der wartungsarmen Außenfläche.

Abb. 13: Wirtschaftlichkeit von Einfachfenstern [19]

| Fensterart Größe 1,26x1,38 ⁵ mit Isolier- verglasung | Lebens- dauer in Jahren | Erstinvesti- tionskosten | Kapitalwerte nach 50 Jahren*) |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Holzfenster | 30 | 369,75 DM/St. | 734,33 DM/St. |
| Kunststofffenster | 50 | 522,— DM/St. | 654,45 DM/St. |
| Holz-Alu-Fenster | 50 | 585,— DM/St. | 830,36 DM/St. |
| Aluminiumfenster | 60 | 725,— DM/St. | 861,21 DM/St. |

*einschließlich Ersatzbeschaffung

Schriftumverzeichnis

- [1] DIN 5034 „Innenraumbelichtung mit Tageslicht“ Ausgabe Dezember 1969
- [2] DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“ Teil 1 „Leitsätze“ Entwurf Oktober 1980
- [3] Brandt, H.-J.
Anforderungen an Fenster als Ausblicköffnungen
gl – Gesundheitsingenieur 99 (1978) Heft 3, S. 68 ff
- [4] Brandt, H.-J.
Gedanken über die physikalische und psychische Bedeutung der Tageslicht-Öffnungen in der DIN 5034 „Tageslicht in Innenräumen“
gl – Gesundheitsingenieur 102 (1981) Heft 2 S. 90 ff
- [5] Arntzen, D.
Das Fenster im Wohnungsbau, Forschungsarbeit im Auftrag des Niedersächsischen Sozialministeriums Institut für Bauforschung e. V. Hannover 1968
- [6] Musterbauordnung – MBO – vom 11. Dezember 1981
- [7] Froelich, H.
Wohnraumbelüftung aus Gründen der Raumhygiene, des Tauwasserschutzes und des Betriebes von Feuerstätten Fenster und Fassade 3/80 S. 78 ff
- [8] Seifert, E.
Wie dicht muß, wie dicht darf ein Fenster sein?
Fenster und Fassade 1/81 S. 7 ff
- [9] Gertis, K.; Hauser, G.
Energieeinsparung durch Stoßlüftung? HLH 30 (1979) Nr. 3, S. 89 ff
- [10] Energieeinsparung durch Stoßlüftung? HLH 30 (1979) Nr. 12 S. 486 ff
- [11] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung)
11. August 1977

- [12] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung)
27. Februar 1982
- [13] DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau
Ausgabe August 1969
- [14] DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau
Ausgabe August 1981
- [15] DIN 4109 – Schallschutz im Hochbau
Entwurf Februar 1979
- [16] Gösele, K.; Lutz, P.
Schallschutz von Außenbauteilen
FBW-Blätter 1-1978 und 2-1978
- [17] Rolläden – Schutz gegen Kälte und Lärm?
test 10/82 S. 893 ff
- [18] Arntzen, D.
Fenster im Wohnungsbau; Nutzwert, Kosten, Wirtschaftlich bauer
Sonderheft 7/1964
- [19] Hampe, K.-H.
Baustoffe und Bauunterhaltungskosten
Schriftenreihe 04 des BMBau
Heft 51 1979
- [20] Weiß, G.
Das Fenster – eine Schwachstelle in der Außenfassade
glasforum 2/79 S. 43 ff.
- [21] Künzel, H.; Snatzke, Chr.
Wärmeverlust und Wärmegewinn durch Fenster
glasforum 1/79 S. 38 ff
- [22] DIN 67 507 „Lichttransmissionsgrade, Strahlungstransmissionsgrade und Gesamtenergiedurchlaßgrade von Verglasungen“ Ausg. Ju 1980
- [23] VDI 2078 „Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühl lastregeln)“ Ausg. Februar 1972
- [24] DIN 4701 – Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden
Entwurf März 1978
- [25] Künzel H.; Werner, K.; Gertis, K.; Hauser, G.; Nikolic, V.; Rouvel, L.
Energetische Beurteilung von Fenstern während der Heizperiode.
Ein Gutachten – glasforum 1/80, S. 38 ff.
- [26] Rouvel, L.; Wenzl, B.;
Kenngrößen zur Beurteilung der Energiebilanz von Fenstern während der Heizperiode
HLH 30 (1979) Nr. 8 S. 285 ff.
- [27] Hauser, G.
Die wärmetechnische Beurteilung von Fenstern unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung während der Heizperiode
Bauphysik 1 (1979) Nr. 1 S. 12 ff.
- [28] Gertis, K.; Hauser, G.
Energieeinsparung infolge Sonneneinstrahlung durch Fenster
KI 3/1979, S. 107 ff.
- [29] Werner, H.
Wärmedurchgang durch Fenster und Wand unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung
Gesundheits-Ingenieur 102 (1981)
Nr. 3 S. 121 ff.