

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 35

**Artikel:** Fenster und thermischer Komfort  
**Autor:** Püntener, Toni W. / Frank, Thomas / Huber, Rudolf  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76688>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Fenster und thermischer Komfort

Von Toni W. Püntener und Thomas Frank, Dübendorf, und Rudolf Huber, Bern

Fenster stellen bezüglich Wärmedämmung eine Schwachstelle der Gebäudehülle dar und beeinflussen deshalb in starkem Masse den thermischen Komfort in einem Raum. Es werden Kriterien erläutert, nach welchen der Komfort im Winter und Sommer zu beurteilen ist. Eine Beurteilung der Notwendigkeit einer Heizkörperanordnung unter der Fensterfläche zur Gewährleistung der Behaglichkeit in Fensternähe wird vorgenommen.

## Einleitung

Die Fensterfläche beeinflusst in starkem Masse den thermischen Komfortzustand in einem Raum. Es ist deshalb erforderlich, Kriterien für die Beurteilung des Komforts für die Praxis bereitzustellen. Die Anordnung der Heizkörper unter dem Fenster stellte bislang die gebräuchlichste haustechnische Massnahme dar, um in Fensternähe die Behaglichkeit zu gewährleisten und um Bauschäden durch Kondensatbildung zu verhindern. Aus energetischer Sicht ist jedoch ein Verzicht auf diese Kompensationswirkung der Heizkörper anzustreben. Es werden deshalb die Anforderungen an Fenstergröße und k-Wert der Verglasung untersucht, welche eine Heizkörperanordnung im Rauminnern gestatten. Die Hilfsmittel zur Beurteilung dieses Fragenkomplexes wurden im Rahmen des Neff-Projektes 266 aufbereitet [3].

Die verwendeten Beurteilungsgrößen sind im ISO-Standard 7730 «Moderate thermal environments» [1] festgelegt, ausgehend von umfangreichen Untersuchungen von Prof. Fanger [2]. Mit Hilfe statistischer Methoden kann die subjektive Wahrnehmung des thermischen Komforts auf objektiv messbare Größen zurückgeführt werden, welche den Wärme- und Feuchteaustausch des Menschen mit seiner Umgebung beeinflussen. Diese Bestimmungsgrößen sind:

- die Wärmeproduktion des Menschen in Abhängigkeit der Tätigkeit (sensible und latente Wärme)
- der thermische Widerstand der Bekleidung
- die Raumlufttemperatur
- die mittlere Strahlungstemperatur
- die kurzwellige, am Körper absorbierte Strahlung (Sonne)
- die Luftgeschwindigkeit
- die relative Feuchte der Raumluft

Zusätzlich dürfen Luftgeschwindigkeit und Strahlungsasymmetrie (Differenz zwischen den Strahlungstemperaturen des wärmeren und des kälteren Halbraumes) bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

In Tabelle 2 sind die Komfortbedingungen zusammengestellt, die nach ISO-Standard 7730 für die Heiz- und Sommerperiode erfüllt werden sollten.

Um die Anwendung der rechnerisch etwas aufwendigen Methode zur Ermittlung der PMV- und PPD-Indices zu erleichtern, wurde im Rahmen des Neff-Projektes 266 [3] ein BASIC-Programm erstellt.

## Auswirkung des Fensters auf den thermischen Komfort

Das Fenster beeinflusst mehrere Bestimmungsgrößen des thermischen Komforts.

### Die mittlere Strahlungstemperatur und Strahlungsasymmetrie

Die raumseitige Scheibenoberflächentemperatur sowie ein Geometriefaktor, welcher Abmessung und Abstand des Fenster zum Beurteilungspunkt berücksichtigt, beeinflussen die mittlere Strahlungstemperatur. Tabelle 3 zeigt für einige ausgewählte Klimazustände einen Vergleich der Innen-Oberflächentemperaturen zwischen einem Normalglas und einem Wärmeschutzglas.

Beurteilungsskala	PMV-Index mittlere voraussehbare Beurteilung	PPD-Index [%] voraussichtlicher Anteil unzufriedener Personen
heiss	+3	99
warm	+2	75
leicht warm	+1	25
neutral	0	5
leicht kühl	-1	25
kühl	-2	75
kalt	-3	99

Tabelle 1. Beurteilungsskala, PMV- und PPD-Indices

## Thermischer Komfort

Beim Begriff «Komfort» handelt es sich um eine subjektive Wahrnehmungsgröße. Für die Beurteilung und Bewertung sind daher statistische Methoden anzuwenden. Grundlage ist dabei die mittlere Beurteilung des Raumklimas, wie sie durch eine grosse Zahl von Personen vorgenommen wird. Diese Größe wird als PMV-Index bezeichnet (Predicted Mean Vote = mittlere voraussehbare Beurteilung). Aus dieser Betrachtungsweise geht hervor, dass es keinen Raumzustand gibt, der von allen Personen als komfortabel bezeichnet wird.

Aus dem PMV-Index folgt direkt der Anteil jener Personen, die mit einem bestimmten Klima nicht zufrieden sind: der PPD-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied = voraussichtlicher Anteil der unzufriedenen Personen). In Tabelle 1 sind Beurteilungsskala, PMV- und PPD-Indices zusammengestellt.

Tabelle 2. Komfortbedingungen nach ISO Standard 7730

	Winter	Sommer
PMV-Index	-0,5 .. +0,5	-0,5 .. +0,5
PPD-Index	< 10 %	< 10 %
Luftgeschwindigkeit	< 0,15 m/s	< 0,25 m/s
Strahlungsasymmetrie	< 10 K	< 23 K

Wärmeschutzgläser weisen im Winter den Vorteil auf, dass sie bereits bei geringer Sonneneinstrahlung, wie sie bei bedecktem Himmel auftritt, Oberflächentemperaturen erreichen, die nahe bei der Raumlufttemperatur liegen. Bei starker Sonneneinstrahlung ist eine erhöhte Scheibenoberflächentemperatur bei Wärmeschutzgläsern im Sommer nicht erwünscht. Ein wirksamer baulicher oder beweglicher Sonnenschutz ist deshalb unerlässlich.

### Kurzwellige Einstrahlung in den Raum

Die direkte oder indirekte Sonneneinstrahlung, welche an der Körperfläche einer Person absorbiert wird, führt direkt zu einer Erhöhung der resultierenden, mittleren Strahlungstemperatur. Tiefe Scheibenoberflächentemperaturen werden dadurch kompensiert und führen nicht mehr zu einer Komforteinbusse.

### Luftgeschwindigkeit

Sind senkrechte oder geneigte Flächen wärmer oder kälter als die Raumluft, so stellt sich in der Grenzschicht eine Luftströmung (Konvektion) ein. Der thermische Komfort wird vor allem durch Strömungen entlang kälterer Flächen beeinflusst, die als Kaltluftabfall bezeichnet werden. Dieser Kaltluftabfall wird bestimmt durch die vorhandene Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und der Raumluft und der geometrischen Länge der Abfallstrecke, d. h. der Fensterhöhe. In Bild 1 ist die maximale Luftgeschwindigkeit  $v_{max}$

Verglasung	Aussentemperatur [°C]	Einstrahlung [W/m²]		
		0	100	400
2-IV Floatglas (4 / 12 / 4)	-5 (Winter)	11,2	11,8	13,7
	5 (Winter)	14,6	15,2	17,1
	20 (Sommer)	23,7	24,4	26,3
	30 (Sommer)	27,5	28,2	30,1
2-IV-IR (4 / 16 / 4)	-5 (Winter)	14,4	17,0	24,7
	5 (Winter)	16,5	19,5	27,4
	20 (Sommer)	24,7	27,4	35,6
	30 (Sommer)	26,9	29,6	37,8

Tabelle 3. Innen-Oberflächentemperaturen von Fensterglasscheiben bei verschiedenen Klimazuständen. (Raumtemperatur: Winter 20 °C, Sommer 26 °C)

in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  und der Fensterhöhe  $x$  dargestellt.

Die durch den Kaltluftabfall in Bewegung gesetzten Luftmassen wirken sich negativ auf die Strömungsverhältnisse im Raum aus. Genauere Berechnungsgrundlagen hierzu sind im Neff-Bericht 225 [4] zusammengestellt.

### Feuchte der Raumluft

Der Einfluss der Feuchte auf den thermischen Komfort ist relativ gering. Vom physiologischen Standpunkt aus darf die relative Feuchte der Raumluft in einem Bereich von 35–60% liegen. Von Seiten der Gefahr von Schwitzwasserbildung oder Schimmelpilzbefall liegen weit engere Toleranzbereiche für

die Luftfeuchte vor. Beim Fenster stellt bei Isoliergläsern der Glasrandverbund diesbezüglich eine kritische Stelle dar. Die Oberflächenkondensatbildung am Glasrand muss hier bei extremen Außentemperaturen als normal betrachtet werden.

### Komfortbeurteilungskriterien

Bei der Beurteilung des thermischen Komfortes sollte die Auftretenshäufigkeit eines Zustandes und die Nutzung des Raumes berücksichtigt werden. Es erscheint wenig sinnvoll, für extreme, selten auftretende Klimabedingungen dieselben Komfortbedingungen zu fordern wie für die häufigen, durchschnitt-

Bild 1. Maximale Luftgeschwindigkeit in der Grenzschicht eines Fensters

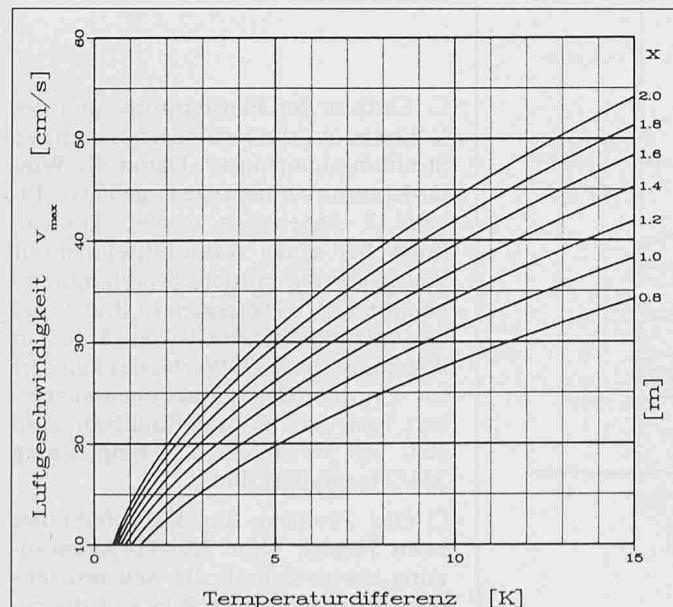
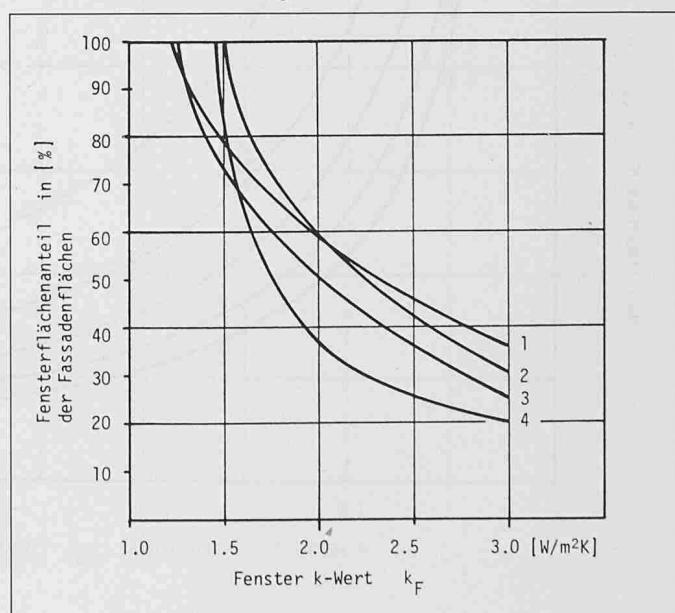


Bild 2. Zulässiger Fensterflächenanteil bei Auslegungsbedingungen ( $t_a = -10^\circ\text{C}$ )

- Kurve 1: Fenster mit Brüstung
- Kurve 2: SIA 384/2 für Raum mit 1 Außenwand
- Kurve 3: SIA 384/2 für Raum mit 2 Außenwänden
- Kurve 4: Fenster ohne Brüstung



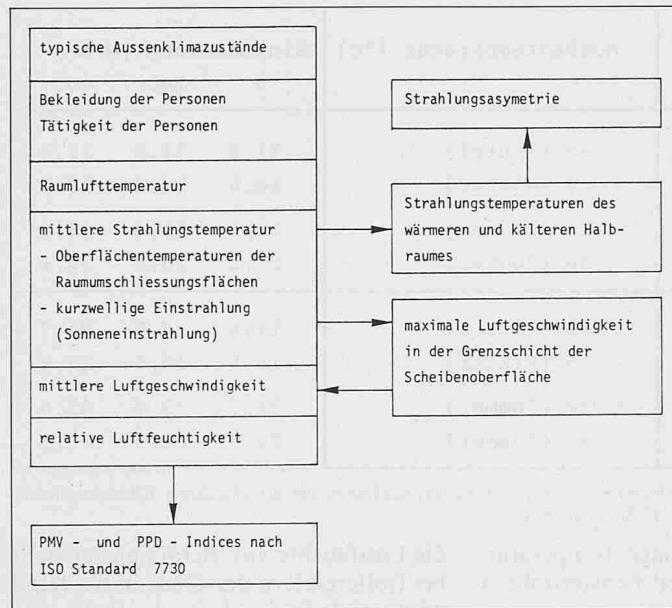


Tabelle 4. Komfortbeurteilung des Winterzustandes

lichen Verhältnisse. In Tabelle 4 und 5 ist das Vorgehen zur Beurteilung der winterlichen und sommerlichen Komfortzustände dargestellt.

### Fenster ohne Heizkörperanordnung

Kaltluftabfall und die Strahlung kalter Oberflächen normaler Verglasungen machen in der Regel einen Ausgleich

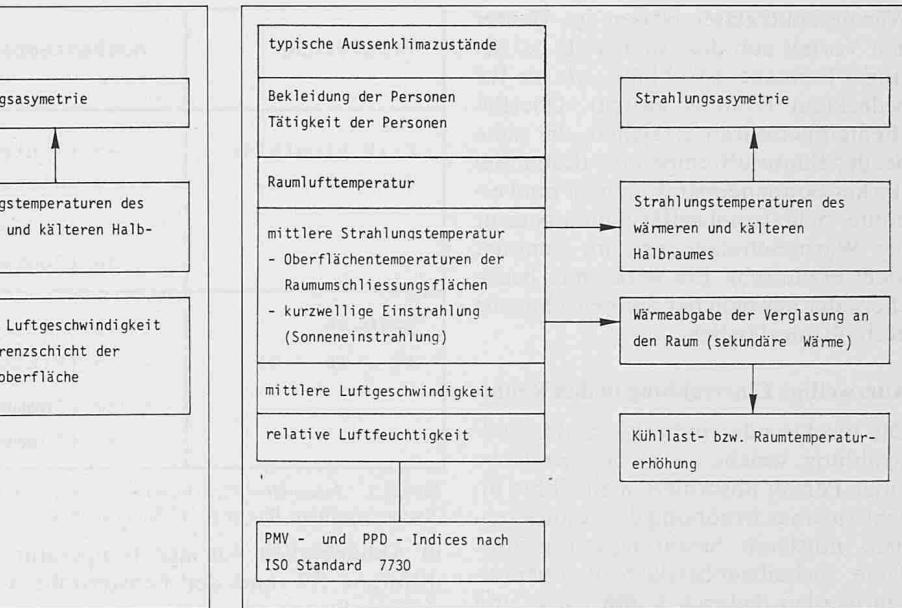
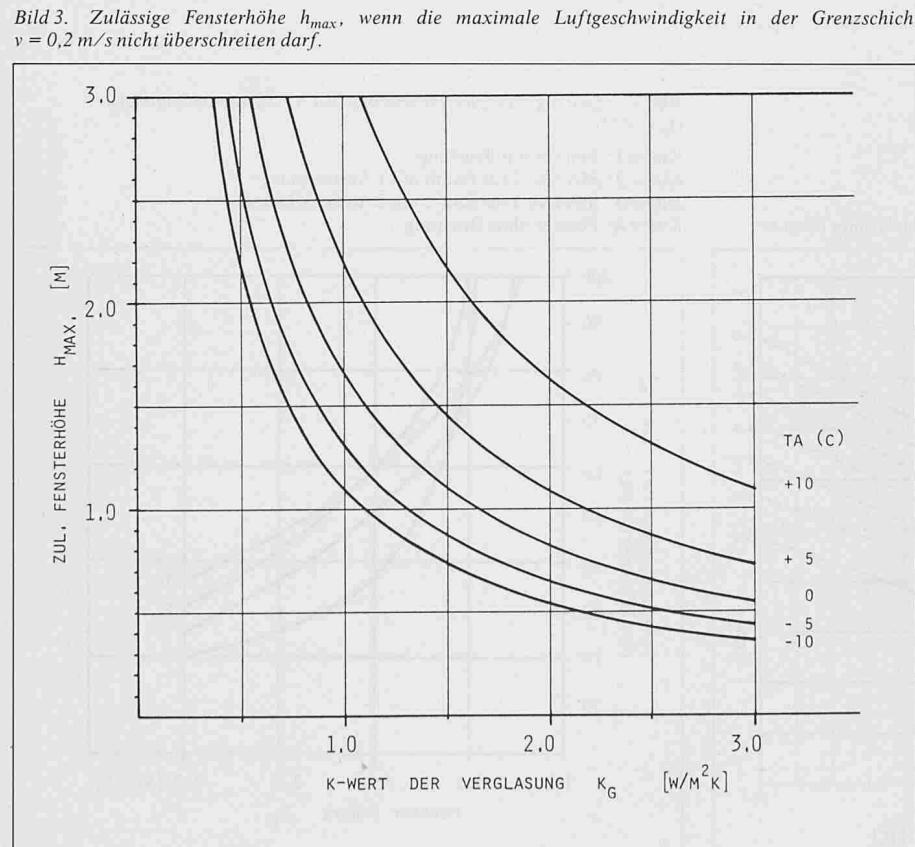


Tabelle 5. Komfortbeurteilung des Sommerzustandes

durch unter dem Fenster angebrachte Heizflächen nötig, um komfortable Bedingungen in Fensternähe zu erreichen. Der Heizkörper kompensiert durch seine Wärmestrahlung die Wirkung der kalten Oberfläche, der vom Heizkörper erzeugte, nach oben steigende Warmluftstrom bremst den Kaltluftabfall und hält ihn vom Aufenthaltsbereich fern. Die dadurch im Fensterbereich erhöhten Luftströmungen reduzieren gleichzeitig die Schwitzwasergefahr der Fensterkonstruktion.

Der Heizkörper unter dem Fenster befindet sich jedoch an einer thermischen Schwachstelle der Gebäudehülle, was zu erhöhten Transmissionswärmeverlusten führt. Bei gut wärmegedämmten Gebäuden genügt häufig die vorhandene freie Wärme von Beleuchtung, Personen, Apparaturen und Sonneneinstrahlung, um die Wärmeverluste zu decken. Bei korrekter Regelung gibt in diesen Fällen der Heizkörper keine Wärme ab und eine Kompensationswirkung entfällt daher. Es stellt sich daher die Frage, ob nicht generell eine Anordnung der Heizflächen im Rauminneren gefordert werden kann.

Die Bedingungen, welche das Fenster bezüglich Grösse und k-Wert erfüllen muss, damit auf eine Kompensationswirkung der Heizung verzichtet werden kann, wurden im Rahmen des Neff-Projektes 266 näher untersucht [3]. Es zeigte sich dabei, dass folgende zwei Problemkreise im Vordergrund stehen:



□ Einfluss der Fenstergrösse und des k-Wertes auf die resultierende mittlere Strahlungstemperatur. Damit die Winter-Komfortbedingungen gemäss Tabelle 2 eingehalten werden können, muss bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C die mittlere Strahlungstemperatur 18,5 °C betragen. In Bild 2 sind der zulässige Fensterflächen-Anteil in Abhängigkeit des k-Wertes des Fensters für 4 verschiedene Situationen angegeben, basierend auf den Randbedingungen, wie sie in der SIA-Empfehlung 384/2 formuliert sind.

□ Das Problem des Kaltluftabfalls beim Fenster ohne Heizkörperanordnung erwies sich als die weit restriktivere Anforderung. In Bild 3 ist die zu-

lässige Fensterhöhe  $h_{max}$  in Abhängigkeit des k-Wertes der Verglasung für verschiedene Aussenlufttemperaturen TA angegeben.

Werden diese beiden Bedingungen bezüglich Fenstergrösse und k-Wert eingehalten, so ergibt sich bei einem Verzicht auf die Anordnung des Heizkörpers unter dem Fenster keine Komforteinbusse. In der Praxis setzt dies in der Regel den Einsatz von Wärmeschutzgläsern voraus. Mit Hilfe von Infrarot reflektierenden Polyesterfolien können heute bereits Glas k-Werte um 0,6

[W/m<sup>2</sup> K] erreicht werden (z. B. HIT-Fenster). Die Anforderungen und Aufgaben eines Heizungs- oder Lüftungssystems können durch Wegfall der thermischen Schwachstelle Fenster somit neu und energiegerechter definiert werden.

Adresse der Verfasser: *T. W. Püntener, Ing. HTL-HLK und Th. Frank, dipl. Ing. ETH, EMPA Abteilung Bauphysik, 8600 Dübendorf, und R. Huber, dipl. Ing. ETH, Institut Bau und Energie IBE, 3006 Bern.*

## Literatur

- [1] ISO Standard 7730 «Moderate thermal environments – Determination of the PMV- and PPD-indices and specifications of the conditions for thermal comfort», 1984
- [2] P. O. Fanger «Thermal Comfort», Krieger Publishing Company, 1982
- [3] Neff-Schlussbericht Nr. 266: Oberflächentemperaturen von besonnten Fensterglasscheiben und ihre Auswirkungen auf Raumklima und Komfort, EMPA Dübendorf, 1986
- [4] Neff-Schlussbericht Nr. 225: Der Einfluss von hochisolierenden Fenster- und Fassadensystemen auf Raumklima und Energiebedarf, Geilinger Winterthur, 1985

# Entwicklung von Fenstersystemen

Von N. Kohler, Lausanne

## Istzustand

Die zu Beginn des IEA-Forschungsprojektes durchgeführte Studie über die Aufteilung der in der Schweiz üblichen Fenstersysteme und Glastypen zeigte folgendes Bild:

- der schweizerische Fenstermarkt umfasst jährlich rund 750 000 Fenster, was einer Fläche von 1,8 Mio. m<sup>2</sup> entspricht. Rund 30% der Fenster werden für Renovationen verwendet.
- Holz ist das dominierende Rahmenmaterial, vor allem im Wohnsektor. Der Kunststoffanteil erhöht sich vor allem bei den Renovationen. Metallfenster werden praktisch nur im Industrie- und Verwaltungsbau eingesetzt.
- Das Doppelisolierglas ist der meist verwendete Glastyp. Einfachgläser werden praktisch nicht mehr verwendet. 3fach-Isoliergläser und Wärmeschutzgläser sind im Wettbewerb, wobei die 3 IV-Gläser zurzeit sicher noch dominieren.

## Die wichtigsten Entwicklungstendenzen

Unter der Vielzahl von Faktoren, die zur Entwicklung der Fenster beitragen, können drei Hauptgruppen gebildet werden:

### Dauerhaftigkeit und Aussehen

Der Wettbewerb zwischen Holz- und Kunststoffrahmen dreht sich vor allem um Unterhaltsprobleme. Es wird ver-

durch den Einsatz von NC-Maschinen und EDV bei der administrativen Auftragsabwicklung wettbewerbsfähig. Die Herstellungsmethoden und die konstruktive Ausbildung der Fenster haben sich stark vereinheitlicht. Wie auf dem Gebiet der Kunststofffenster setzen sich auch bei den Aluminiumprofilen Systemhersteller durch, die vollständige Systeme, inbegriffen EDV-Programme für die Auftragsabwicklung und z. T. schon CAD (Computergestützten Entwurf) und CIM (Computergestützte integrierte Fabrikation) anbieten.

Auf dem Gebiet der Montage, des Anschlags auf dem Bau werden immer spezialisierte Befestigungssysteme, sog. Fasteners, eingesetzt, die eine erhöhte Produktivität auf dem Bauplatz, der eigentlichen Schwachstelle des ganzen Prozesses, erlauben. Aussehen, Dauerhaftigkeit und bauphysikalische Eigenschaften werden dadurch jedoch nicht stark beeinflusst.

sucht, die Dauerhaftigkeit von Holzrahmen entweder durch direkte Änderung am Holz (z. B. Schichtholz) oder durch verbesserte Beschichtungs- und Anstrichsysteme zu verbessern. Die Entwicklung geht in beiden Fällen in Richtung einer weitergehenden Industrialisierung. Viele Architekten wünschen sich eine grössere Auswahl an Farben und z. T. verschiedene Farben Innen und Aussen. Aluminiumprofile mit getrenntem Steg sowie Holzmetallfenster sind hier im Vorteil.

## Herstellung und Montage

Die Holzfensterherstellung wird heute praktisch ausschliesslich industriell getätig. Auch kleinere Betriebe bleiben

Bild 1. Rahmenmaterial nach Anwendungsgebiet

