

Gebäudeeingänge mit grossem Publikumsverkehr

Anforderungen

Die Eingangspartie muss im geschlossenen Zustand den Wärmedämmvorschriften entsprechen. Sie muss die Anforderungen der Empfehlung SIA 380/1 über die Luftdichtheit (Fugendurchlässigkeit $< 0.3 \text{ m}^3/\text{hmPa}^{2/3}$) erfüllen. Diese Anforderungen gelten auch beim Ersatz oder bei grösseren Reparaturen. Bei Eingängen mit sehr hohem Publikumsverkehr (im Durchschnitt über die Betriebszeit mehr als 600 Personen pro Stunde) kann der wärmegeämmte und luftdichte Türabschluss als separate Konstruktion, die während der Betriebszeit entfernt wird, vorgesehen werden.

Das Gebäude muss luftdicht sein gemäss Norm SIA 180.

Empfehlungen

- Eingänge an windexponierten Lagen (Gebäudeecken usw.) und mehrere Eingänge an verschiedenen Fassaden oder auf verschiedenen Etagen sollen vermieden werden, wenn keine inneren Abtrennungen vorhanden sind.
- Die Türhöhe soll 2.10 m betragen. Die Türbreite soll entsprechend dem Publikumsverkehr möglichst klein gewählt werden; sie soll für die kältesten und windigsten Tage reduziert werden können.
- Die Raumlufttemperatur soll höchstens 20 °C betragen.
- Nicht hochfrequentierte Eingänge sind mit automatisch schliessenden Türen auszurüsten (autom. Schiebetüren, Normaltür mit Türschliesser oder Drehtüren mit Personensensor, max. eine Umdrehung pro Einzelperson).

Untersuchungen

1. Problemstellung

Verkaufsgeschäfte haben häufig Eingänge, welche direkt vom Aussenklima in den Verkaufsraum führen. An solche Eingänge werden widersprüchliche Anforderungen gestellt. Aus der Sicht des Ladenbesitzers sollte der Eingang vor allem attraktiv sein. Ein offener, ungehinderter Zugang sollte möglichst viele Kundinnen und Kunden anziehen; vor allem auch solche, welche zufällig vorbeigehen und durch einen Blick auf die Auslagen verlockt werden einzutreten. Ein offener Zugang führt aber zu unerwünschtem Eindringen von Aussenluft. In der kalten Jahreszeit sind dadurch Komfortprobleme für das Verkaufspersonal und auch Energieverluste die Folge.

An solchen Eingängen werden häufig Warmluftvorhänge installiert. In der Annahme, dass Warmluftvorhänge grosse Energieverluste verursachen, wurde 1992 in der Energieverordnung des Bundes eine Bewilligungspflicht für Warmluftvorhänge eingeführt. Die Bewilligung darf nur unter sehr schwer zu erfüllenden Bedingungen erteilt wer-

- Bei über mehrere Geschosse offenen Lokalen muss verhindert werden, dass in den oberen Stockwerken die Fenster geöffnet werden.
- Eine allfällige Lüftungsanlage muss mit möglichst gut ausbalanciertem Aussenluftstrom betrieben werden. Der Luftüberschuss muss deutlich kleiner sein als der Volumenstrom des Warmluftvorhangs.
- Wenn der Eingang windexponiert, die Lüftungsanlage nicht ausbalanciert oder das Gebäude undicht ist und diese Probleme, z.B. bei einem bestehenden Gebäude, nicht korrigiert werden können, lassen sich annehmbare Komfortbedingungen nur mit Drehtüren mit innerem Luftvorhang erreichen.
- Wenn diese Problembedingungen nicht vorhanden sind, können auch Normal- oder Schiebetüren mit Luftvorhang eingesetzt werden. Normaltüren und Windfänge sind vor allem bei kleinem Publikumsverkehr vorteilhaft. Bei Gebäuden mit Eingängen an verschiedenen Fassaden oder auf verschiedenen Niveaus darf nur ein Eingang mit Normal- oder Schiebetür ausgerüstet sein; bei allen restlichen Eingängen sind dichte Drehtüren unbedingt erforderlich.
- Warmluftvorhänge sind so zu dimensionieren, dass sie die ganze Türöffnung wirksam überdecken. Zwischen dem Luftvorhang und der Türkonstruktion darf es keine Lücken geben, durch welche kalte Luft einströmen kann. Die Ausblasttemperatur soll nicht mehr als 30 °C betragen. Bei steigender Aussenlufttemperatur kann die Ausblasttemperatur gesenkt werden.

den. In der Praxis wird – nach Verweigerung der Bewilligung – häufig eine einfache Schiebetüre installiert oder der Eingang wird sogar dauernd offen gehalten; Lösungen, die nach heutigem Wissensstand energetisch und komfortmässig kontraproduktiv sind.

Eingänge zu Bürohäusern stellen im Allgemeinen ein kleineres Problem dar, weil der Personenverkehr weniger gross ist und weil die Eingänge nicht unmittelbar in Arbeitszonen, sondern in Verkehrszonen führen, welche als grosszügige Windfänge betrachtet werden können. Für Portierlogen können sich allerdings ebenfalls Komfortprobleme ergeben.

Das Ziel ist es daher, Lösungen für Publikumseingänge zu Verkaufsräumen vorzuschlagen, welche den Energieverlust minimieren und für das in der Nähe des Eingangs arbeitende Personal akzeptable Komfortbedingungen bieten. In der Regel führt ein Eingang mit geringen Wärmeverlusten auch zu angemessenen Komfortbedingungen. Randbedingung ist dabei die gute Zugänglichkeit der Verkaufsräume für das Publikum.

2. Wärmedämmung und Luftdichtigkeit der Eingangstüren

Verkaufsräume sind meist während mehr als der Hälfte der Wochenzeit nicht in Betrieb, d.h. die Eingangstüren sind geschlossen. Auch während der Betriebszeit sind die Türen – ausser bei grossem Publikumsverkehr – häufig zu. Es ist daher wichtig, dass die Türen im geschlossenen Zustand richtig wärmegeklämt und luftdicht sind.

Die Türen müssen im geschlossenen Zustand die Wärmedämmvorschriften erfüllen. Wenn der Nachweis mit Hilfe der Einzelbauteilvorschriften erbracht wird, gilt ein maximaler k-Wert von 2.0 W/m²K. Beim Systemnachweis kommt die Norm SIA 180 zum Tragen, welche aus hygienischen und bauphysikalischen Gründen einen maximalen k-Wert von 3.0 W/m²K (Ausgabe 1988) bzw. 2.4 W/m²K (Entwurf 1998) vorsieht. Dafür ist eine Wärmeschutzverglasung mit thermisch getrennten Profilen notwendig. Schiebetüren mit Einfachverglasung (k-Wert ca. 6 W/m²K) genügen diesen Vorgaben bei weitem nicht.

Bei normalen Türen ist die Luftdichtheit normalerweise kein Problem. Eine besondere gesetzliche Vorschrift dafür gibt es daher nicht. Bei Schiebetüren oder bei anderen Abschlusskonstruktionen von Publikumseingängen ist eine angemessene Luftdichtheit aber oft nicht gegeben. Nach SIA 380/1 (1988) gilt für die Fugendurchlässigkeit von Aussen-türen ein Grenzwert von 0.3 m³/hmPa^{2/3}.

Bei Eingängen mit sehr grossem Publikumsverkehr, z.B. bei Haupteingängen von grossen Warenhäusern, ist die Frequenz so hoch, dass allfällige Türen während der Betriebszeit praktisch nie geschlossen wären. Das ist etwa ab einer durchschnittlichen Frequenz von 600 Personen pro Stunde (d.h. alle 6 Sekunden eine Person) der Fall. In solchen Fällen kann die Wärmedämmung und Luftdichtheit während der Nicht-Betriebszeit auch durch eine separate Konstruktion, die während der Betriebszeit entfernt wird, gewährleistet werden. In allen andern Fällen müssen die Türabschlüsse auch während der Betriebszeit die Anforderungen an Wärmedämmung und Luftdichtheit erfüllen.

3. Wärmeverluste der Eingangspartie während der Betriebszeit

Die Zürcher Energieberatung, die Abteilung Energie des AWEL des Kantons Zürich und das Bundesamt für Energie haben eine Studie *Gebäudeeingänge mit grossem Publikumsverkehr* erarbeiten lassen (erhältlich gegen Schutzgebühr von Fr. 20.– bei der Zürcher Energieberatung, Postfach, 8023 Zürich, Tel. 01 / 212 24 24, Fax 01 / 212 19 30).

An rund 10 Eingängen von Verkaufslökalen wurden Messungen von Temperaturen und Luftströmungen durchgeführt. Gängige Eingangsgestaltungen wurden mit Luftströmungsberechnungen untersucht. Dabei konnten auch die Wärmeverluste berechnet werden. Die Erkenntnisse aus den Messungen und Berechnungen stimmen gut überein. Die folgenden Ausführungen und Empfehlungen basieren auf dieser Studie.

3.1 Einfluss der Lüftungsanlage, der Windexponiertheit und der Luftdichtheit des Gebäudes

Wichtigste Kriterien für einen energie- und komfortgerechten Eingang sind seine Lage, die Luftdichtheit des Verkaufsrums und die Balance der Lüftungsanlage. Luftströmungen in offenen Türen mit und ohne Luftvorhang reagieren nämlich sehr stark auf Druckdifferenzen zwischen dem Innen- und Aussenraum. Eingänge an Gebäudeecken sind oft windexponiert und führen bei Wind zu Komfortproblemen und Energieverlusten. Wind führt ebenfalls zu Komfortproblemen, wenn der Verkaufsraum Eingänge an verschiedenen Fassaden hat. Ein Luftüberschuss in der Lüftungsan-

lage (Überdruck im Gebäude) wird im Allgemeinen über die offene Eingangstür ausgeglichen, d.h. es ergibt sich ein Netto-Luftstrom nach aussen mit dem entsprechenden Energieverlust. Wenn der Luftüberschuss ungefähr gleich gross ist wie der Volumenstrom eines allfälligen Warmluftvorhangs, wird dieser nach aussen geblasen und am Boden kann kalte Luft einströmen. Paradoxiertweise wird also in einem solchen Fall durch einen Luftüberschuss das Eindringen kalter Luft nicht verhindert, sondern geradezu begünstigt.

Bei einem Luftdefizit der Lüftungsanlage (Unterdruck) wird kalte Luft direkt über den Eingang angesogen. Eine ähnliche Wirkung hat eine undichte Gebäudehülle, wenn der Verkaufsraum sich über mehrere Stockwerke erstreckt oder offene Treppenhäuser aufweist. Durch den thermischen Auftrieb ergibt sich dann ein Luftstrom von unten nach oben. Er tritt durch den Eingang ins Gebäude ein und verlässt ihn in den oberen Etagen durch Undichtheiten bei den Fenstern, in den Lüftungsanlagen oder durch den Liftschacht. Besonders stark wird diese Luftströmung, wenn in den oberen Stockwerken die Fenster geöffnet werden oder wenn dort ein weiterer Eingang vorhanden ist. Undichte Gebäude sind die häufigste Ursache von Komfortproblemen bei Publikumseingängen! Die beste Lösung ist es, die undichten Stellen ausfindig zu machen und sie abzudichten.

Norm SIA 180 (Entwurf 1998, Ziffer 3 1 4) gibt für die Luftdurchlässigkeit $v_{a,4}$ einen Grenzwert von 0.75 m³/hm² für Neubauten und von 1.5 m³/hm² für Umbauten und Renovationen an. (Der spezifische Luftstrom durch die Gebäudehülle $v_{a,4}$ ist der Luftstrom bei einer Druckdifferenz von 4 Pa bezogen auf die Fläche der Gebäudehülle.) Bei einem Gebäude in Massivbauweise kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass es genügend dicht ist, wenn Fenster und Türen geschlossen und genügend dicht sind. Da Lifttüren immer undicht sind, müssen Lüftungsöffnungen in Liftschächten mit Klappen geschlossen werden und es dürfen keine Lifttüren ins Aussenklima führen (vgl. Merkblatt AWEL, Kt. Zürich: *Reduktion der Wärmeverluste bei Aufzugsanlagen*). Die Gebäudedichtheit kann durch Messungen des Luftstroms bei verschiedenen Druckdifferenzen bestimmt werden. Im Winter kann eine Abschätzung durch Bestimmen des Neutralpunkts bei der betreffenden Tür erhalten werden: Bei einem dichten Gebäude mit ausgeschalteter Lüftung ist der Punkt, bei welchem die Luft weder nach aussen noch nach innen bläst, in der Mitte der Türhöhe. Je höher der Neutralpunkt, desto undichter das Gebäude. Eindeutig undicht ist das Gebäude, wenn über die ganze Türhöhe die Luft nach innen strömt.

3.2 Gestaltung der Türöffnungen

Bei einer offenen Tür nimmt der Wärmeverlust linear mit der Türbreite und überproportional (Exponent 1.5) mit der Türhöhe zu. Besonders wichtig ist es daher, die Türhöhe auf das minimal erforderliche Mass (etwa 2.10 m) zu reduzieren. Wenn der optische Eindruck eines grosszügigen Eingangs erhalten werden soll, kann das auch mit Blenden aus Glas erreicht werden. Auch in der Breite sollte die Türöffnung auf das Notwendige beschränkt werden. Für die kältere Jahreszeit ist eine Möglichkeit zur Reduktion der Türbreite zweckmässig. Bei automatischen Schiebetüren ist eine solche «Winteröffnung» meist bereits vorgesehen.

Um Wärmeverluste und Komfortprobleme zu vermeiden, sollten Türen nur so lange wie nötig offenstehen. Um dies zu gewährleisten, sind automatische Schliessvorrichtungen notwendig (Normaltür mit Türschliesser, automatische Schiebetüren). Drehtüren sind mit einem Personensensor zu steuern, so dass sie nur drehen, wenn eine Person passieren will. Beim Durchgang einer Einzelperson sollen sie höchstens eine Umdrehung machen.

3.3 Raumlufftemperatur

Der Wärmeverlust ist auch proportional zum Temperaturunterschied zwischen der Raum- und der Aussenlufttemperatur. Die Raumlufftemperatur sollte daher nicht über 20 °C betragen. Das ist die richtige Komforttemperatur für das Verkaufspersonal und trägt dem Umstand Rechnung, dass die Einkaufenden für das Aussenklima gekleidet sind. Allfällige Klagen des Verkaufspersonals über zu tiefe Temperaturen sind in den meisten Fällen auf das Eindringen von Kaltluft durch den Eingang oder auf Lüftungen mit schlechten Ausblasöffnungen zurückzuführen und nicht auf eine zu tiefe Raumlufftemperatur.

3.4 Warmluftvorhänge

Richtig eingesetzt können Warmluftvorhänge Energieverluste vermindern helfen. Das ist sowohl mit vertikalen als auch mit horizontalen Vorhängen möglich, wenn der ausgeblasene Luftstrom gut gerichtet und stark genug ist. Horizontale Warmluftvorhänge sind aber weniger stabil und werden durch die ein- und austretenden Menschen stärker gestört. Massgeblich für die Stabilität ist neben der Ausströmgeschwindigkeit die Gestaltung der Ausströmöffnungen.

Der ausgeblasene Luftstrom muss so stark sein, dass an jedem Ort der Tür sich eine Geschwindigkeit einstellt, die grösser ist als die Geschwindigkeit der thermischen Ausgleichsströmung. Bei einem normalen Eingang ist das ungefähr 0.7 m/s. Wichtig ist besonders, dass der Warmluftvorhang die ganze Türöffnung wirksam abdeckt und seitlich und oben gut an die Konstruktion anschliesst. Warmluftvorhänge müssen daher unmittelbar hinter der Türkonstruktion angebracht werden. Zwischen dem Ausblaskasten des Warmluftvorhangs und der Konstruktion darf es keine Öffnung geben, durch welche Kaltluft in den Raum bzw. Warmluft nach aussen strömen kann. Günstig ist es auch, wenn der Warmluftvorhang durch seitliche Blenden oder Wände, z.B. in einem Windfang, gefasst wird.

Der Luftvorhang kann mit dem Türöffner ein- und ausgeschaltet werden, obwohl er ein bis zwei Sekunden braucht, bis er über die volle Öffnung wirksam wird. Er muss aber mit dem Sensor für die Türöffnung gesteuert, damit keine Verzögerung eintritt. Bei einem Windfang muss der Luftvorhang starten, sobald eine Tür geöffnet wird.

Ein Luftvorhang mit unterer Absaugung vermindert das Eindringen von Kaltluft und die Energieverluste; die Windstabilität des Luftvorhangs wird aber nicht verbessert. Da bei unterer Absaugung vorwiegend kalte Luft angesaugt wird, ist eine grosse Heizleistung des Warmluftvorhangs notwendig.

Auch bei einem gut funktionierenden Warmluftvorhang tritt am Boden kalte Luft ein. Um diese Kaltluft auf Raumlufftemperatur zu erwärmen, wird sie mit der auf 30 – 35 °C Ausblastemperatur erwärmten Luft des Warmluftvorhangs vermischt. Die Temperaturerhöhung der angesaugten Raumluft im Warmluftvorhang um 10 – 15 K entspricht bei einer Luftrate von 3000 m³/h einer thermischen Leistung von 10 – 15 kW. Wenn der Warmluftvorhang nicht ein- und ausgeschaltet wird, trägt diese Wärmeleistung bei geschlossener Tür voll zur Raumheizung bei. Bei offener Tür und bei einer Temperaturdifferenz von 20 K zwischen Raum- und Aussenlufttemperatur ist die Wärmeleistung etwa gleich gross wie der Energieverlust der Türöffnung gegen aussen (13 kW). Bei höheren Aussenlufttemperaturen und einem dementsprechend kleineren Wärmeverlust ergibt sich ein immer grösserer Beitrag zur Raumheizung. Insgesamt kann ein Warmluftvorhang, vor allem wenn er nicht ein- und ausgeschaltet ist, wesentlich zu einer Überhitzung des Verkaufsrums beitragen. In gewissen Fällen ist der Wärmeeintrag so gross, dass er auch durch Ausschalten der normalen Raumheizung nicht kompensiert werden kann. Die Ausblas-

temperatur des Warmluftvorhangs sollte daher in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur soweit reduziert werden, wie es vom Komfort her noch verantwortet werden kann.

Es ergibt sich ein komplexes Regelproblem. Der Wärmeeintrag kann nämlich auch reduziert werden, indem die Luftmenge des Warmluftvorhangs vermindert wird. Auf Grund der Aussenlufttemperatur, der Raumlufftemperatur und der Lufttemperatur in Bodennähe müssen Luftmenge und Ausblastemperatur so optimiert werden, dass der Luftvorhang gegen aussen gut abschliesst, am Boden keine Kaltluftströmung entsteht und die Raumlufftemperatur nicht ansteigt. Leider gibt es dafür noch keine automatischen Regelungen. Wenn ein Gebäudeleitsystem vorhanden ist, kann dieses eingesetzt werden.

Bei einem «kalten» Luftvorhang, d.h. einem Vorhang ohne Erwärmung der umgewälzten Luft, reduziert sich der Wärmeverlust auf 7 kW. Ein «kalter» Luftvorhang trägt auch nicht zu einer Überhitzung des Raums bei.

3.5 Drehtüren

Drehtüren «schaufeln» kalte Luft nach innen und warme Luft nach aussen, da die Luftvolumen der Drehtürsegmente sich mit der Innenluft bzw. mit der Aussenluft weitgehend austauschen. Der Wärmeverlust bei Drehtüren pro Umdrehung nimmt daher ungefähr mit dem Volumen der Drehtür zu. Wenn man davon ausgeht, dass für den Eintritt einer Person mindestens eine halbe Umdrehung notwendig ist, ist der Wärmeverlust nicht von der Anzahl Segmente der Drehtür abhängig. Um das Eindringen kalter Luft zu reduzieren, kann eine Drehtür auch mit einem Warmluftvorhang kombiniert werden. Dieser sollte an der inneren Öffnung der Drehtür angebracht werden. Um unnötige Wärmeverluste zu verhindern, muss die Drehung durch einen Personensensor geregelt werden. Beim Durchgang einer Einzelperson soll höchstens eine volle Drehung erfolgen.

Der grosse Vorteil der Drehtüren ist, dass die Luftströmungen kaum beeinflusst werden durch den Wind, die Balance der Lüftungsanlage oder die Luftdichtheit der Gebäude. Die Luftdichtheit der Drehtüren selbst ist bei den heutigen Konstruktionen allerdings vielfach noch unbefriedigend.

Bei durchgehenden Verkaufsräumen mit mehreren Eingängen an verschiedenen Fassaden oder auf verschiedenen Stockwerken darf nur ein Eingang mit Normal- oder Schiebetür ausgerüstet sein; bei allen andern Eingängen sind dichte Drehtüren erforderlich, weil das Gebäude sonst undicht wird und der Warmluftvorhang an der Normal- bzw. Schiebetür nicht stabil bleibt.

3.6 Windfänge

Windfänge sind vom Energieverlust her betrachtet ideale Eingänge, wenn sie als echte Schleusen betrieben werden, d.h. wenn sie klein sind und dennoch die äussere und innere Tür nicht gleichzeitig geöffnet sind. In der Praxis ist das höchstens bei zwei handbedienten Normaltüren der Fall. Bei der üblichen Anordnung mit zwei automatischen Schiebetüren in 3 Meter Abstand sind sogar beim Durchgang einer Einzelperson zeitweise beide Türen offen. Bei grösserem Publikumsverkehr sind meist beide Türen offen. Luftströmungstechnisch ist dann der Unterschied zum Eingang mit einfacher Schiebetür nicht mehr gross.

Windfänge müssen daher mit einem Warmluftvorhang kombiniert werden. Er kann auf der Innenseite der inneren Tür angebracht werden. Wenn er im Windfang zwischen den beiden Türen installiert ist, wird er seitlich geführt und ist damit stabiler als wenn er im Rauminnern angebracht ist. Die äussere Tür des Windfangs muss dann den Wärmedämmvorschriften entsprechen. Damit der Windfang bei geschlossenen Türen nicht überhitzt wird, muss der Warm-

luftvorhang über die Türöffnung ein- und ausgeschaltet werden oder seine Heizleistung muss über einen Raumthermostaten im Windfang gesteuert werden.

4. Vergleich der verschiedenen Eingangsgestaltungen

Mit Hilfe von Strömungsberechnungen wurde der Wärmeverlust unter anderem für folgende Eingangsgestaltungen untersucht:

- Normaltür (Breite 1 m)
- automatische Schiebetür (AST) ohne Warmluftvorhang (Breite 1.6 m, Höhe 2.08 m)
- automatische Schiebetür (AST) mit Warmluftvorhang (Breite 1.6 m, Höhe 2.08 m)
- Drehtür (Durchmesser 4.75 m, 4 Segmente)
- Drehtür (Durchmesser 4.2 m, 2 Segmente)

Die Berechnungen erfolgten bei einer Temperaturdifferenz von 20 K zwischen Aussen- und Raumlufttemperatur und bei Vollbetrieb (Türen offen bzw. Drehtür ständig drehend). Für den Durchgang einer Einzelperson wurden folgende Türöffnungszeiten angenommen: Normaltür 2 Sekunden, automatische Schiebetür 4 Sekunden, Windfang 2.5 Sekunden beide Türen offen, Drehtür Austausch eines Segmentvolumens. Die Berechnungen wurden einerseits unter der idealen Annahme eines dichten Gebäudes (kein Druckunterschied zwischen innen und aussen) und für ein Gebäude, bei welchem in einem sich über mehrere Stockwerke erstreckenden Verkaufsraum auf 20 m Höhe ein Fenster von 1.4 m² offen steht, vorgenommen. (Solche sehr undichten Gebäude wurden bei den Untersuchungen ange-troffen!)

Es muss darauf hingewiesen werden, dass diese Eingänge in Bezug auf die Personenkapazität nicht gleichwertig sind. Die kleinste Kapazität hat die Normaltür, welche der Vollständigkeit halber mitbetrachtet wurde. Die Schiebetüren mit und ohne Warmluftvorhang und der Windfang haben dieselbe Breite (1.6 m) und damit auch dieselbe Kapazität. Die kleine Drehtür hat ebenfalls eine Öffnung von 1.6 m Breite, aber eine kleinere Kapazität wegen der Behinderungen durch die Drehtür selbst. Die grössere Drehtür mit einer Eingangsbreite von 2.4 m dürfte etwa dieselbe Kapazität haben wie die Schiebetür.

Hier aufgeführt ist einerseits der konstante Wärmeverlust bei Vollbetrieb (d.h. bei offener Tür bzw. bei ständig rotierender

Drehtür). Das ergibt eine Wärmeverlustleistung in kW. Im Gegensatz dazu ist der Verlust bei einer einzelnen passierenden Person eine Wärmemenge, die in kJ angegeben wird.

Vorerst betrachten wir die Resultate für ein dichtes Gebäude:

Durch einen Warmluftvorhang kann der Wärmeverlust um etwas mehr als ein Drittel reduziert werden. Bei einer Ausblastemperatur von 27 °C statt 34 °C oder mit einem doppelten Luftvorhang (ausssen «kalter» Vorhang, unten nach innen fliessend, innen warmer Vorhang, unten nach aussen fliessend) kann der Verlust auf ungefähr die Hälfte reduziert werden.

Ein Windfang bringt im Vollbetrieb, wenn beide Türen offen sind, nur eine marginale Verbesserung. Bei kleinem Publikumsverkehr ist der Wärmeverlust pro Person ungefähr gleich gross wie mit einem Warmluftvorhang, da die Zeit, während der beide Türen offen sind, kleiner ist als die Türöffnungszeit bei einer einfachen Tür.

Die grosse Drehtür hat im Vollbetrieb ungefähr gleich grosse Verluste wie ein Windfang, sie sind nur wenig kleiner als bei der Schiebetür ohne Warmluftvorhang. Der Verlust für eine Einzelperson ist bei der Drehtür unverhältnismässig grösser, da eine Drehtür bei einem Einzeldurchgang eine halbe Umdrehung (d.h. ungefähr 15 Sekunden) drehen muss. Wegen des reduzierten Volumens und der kürzeren Drehzeit sind bei der kleineren Drehtür vor allem die Verluste pro Einzelperson wesentlich kleiner.

Die Reduktion des Wärmeverlusts durch einen Warmluftvorhang ist beschränkt. Immer noch kommt ein Drittel bis zwei Drittel so viel kalte Luft in den Raum wie bei der Schiebetür ohne Luftvorhang. Wesentlich verbessert werden hingegen die Komfortbedingungen, da die einströmende Kaltluft mit der erwärmten Luft des Warmluftvorhangs gemischt wird. Das heisst, der Warmluftvorhang bringt vor allem für den Komfort des Personals wesentliche Vorteile.

Heute ist hingegen das undichte Gebäude der Normalfall. Hier präsentieren sich die Resultate ganz anders: Bei der offenen Tür vervielfacht sich durch den Druckunterschied die Verlustrate. Der Warmluftvorhang reduziert den Verlust nur noch unwesentlich, da der Luftstrahl weggeblasen wird. Bei der Drehtür werden die Verluste hingegen nur unbedeutend höher als im dichten Gebäude. In einem sehr undichten Gebäude ist daher nur die Drehtür eine akzeptable Lösung.

Dichtes Gebäude

| | Vollbetrieb* | Einzelperson |
|----------------|--------------|--------------|
| Normaltüre | 12 kW | 24 kJ |
| AST ohne WLV | 20 kW | 80 kJ |
| AST mit WLV | 13 kW | 52 kJ |
| Windfang | 18 kW | 45 kJ |
| Drehtüre gross | 17 kW | 350 kJ |
| Drehtüre klein | 13 kW | 150 kJ |

Wärmeverlust von unterschiedlich gestalteten Publikumseingängen in einem dichten Gebäude.

*Türen dauernd offen bzw. Drehtüren ständig drehend.

Sehr undichtes Gebäude

| | Vollbetrieb* | Einzelperson |
|----------------|--------------|--------------|
| Normaltüre | 90 kW | 180 kJ |
| AST ohne WLV | 100 kW | 400 kJ |
| AST mit WLV | 85 kW | 340 kJ |
| Windfang | 95 kW | 240 kJ |
| Drehtüre gross | 19 kW | 390 kJ |
| Drehtüre klein | 15 kW | 170 kJ |

Wärmeverlust von unterschiedlich gestalteten Publikumseingängen in einem sehr undichten Gebäude.

*Türen dauernd offen bzw. Drehtüren ständig drehend.