



UNTERSUCHUNGEN ZUR BESTIMMUNG DES LÜFTUNGSWÄRMEBEDARFS

A106

Aufgrund des verbesserten Wärmeschutzes gewinnt der Lüftungswärmebedarf wegen seines dadurch gestiegenen Anteiles am Gesamtwärmebedarf zunehmend an Bedeutung. Dies zeigt sich insbesondere bei hohen mehrgeschossigen Gebäuden (Schachttypgebäude). Der Lüftungswärmebedarf in den einzelnen Räumen unterliegt einer räumlich und zeitlich sehr differenzierten Änderung, die nicht in einem bestimmten Verhältnis zur Außentemperatur steht. Dies erfordert eine spezielle Betrachtung des Gesamtwärmebedarfs bei unterschiedlichen gebäudespezifischen Bedingungen sowie deren Berücksichtigung bei der Auslegung der Raumheizflächen.

Prof. Dr.-Ing. András Zöld, TU Budapest, und Dipl.-Ing. Károly Balázs, Institut für Bauwissenschaft, Budapest

Luftdurchströmung von Gebäuden und Lüftungswärmebedarf

Die Luftdurchströmung von Gebäuden ist vom Auftrieb und vom Winddruck sowie von der Betriebsweise der gegebenenfalls vorhandenen Raumlufttechnischen (RLT-)Anlagen abhängig. Unter Berücksichtigung dieser drei Effekte kann der Lüftungswärmebedarf nach der Methode der Netzströme berechnet werden [1].

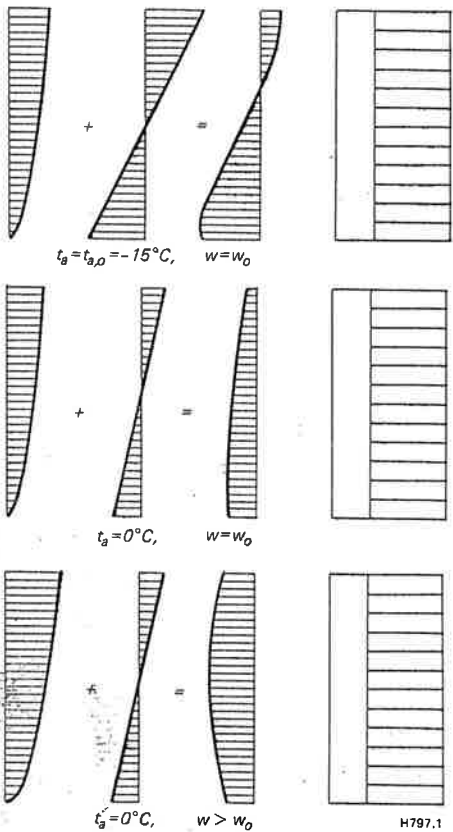


Bild 1: Größe und Verlauf der Druckdifferenzen bei verschiedenen Außentemperaturen und Windgeschwindigkeiten (oben bei Auslegungsbedingungen, Mitte bei mittlerer Außentemperatur und Auslegungswindgeschwindigkeit, unten bei mittlerer Außentemperatur und zugehöriger Windgeschwindigkeit)

Da die für die Berechnung von Auftriebsdruck und Winddruck zur Verfügung stehende vereinfachte Methode [2, 3, 4] allgemein bekannt ist, wird im folgenden die Analyse nach der zuletzt genannten Methode durchgeführt. Danach folgt ein Hinweis auf den Einfluß der

RLT-Anlagen und ein Vergleich mit einer detaillierteren EDV-Berechnung.

Die aus dem Auftrieb resultierende Druckdifferenz zwischen innen und außen ist proportional zur Temperaturdifferenz. Die Änderung des Winddruckes mit der Gebäudehöhe läßt sich mit einer parabolischen Funktion angenähert darstellen. Insbesondere für geringere Höhen ergibt ein logarithmisches Profil zwar eine bessere und genauere Beschreibung, für diese Aufgabe wird aber die geringe Ungenauigkeit des parabolischen Profils wegen der einfacheren und einheitlicheren mathematischen Behandlung hingenommen. Der Exponent der Parabel ist abhängig von der adiabatischen Temperaturschichtung und im Falle höherer Windgeschwindigkeiten von der aerodynamischen Rauigkeit der Oberfläche. Die Resultierende dieser Einflüsse ergibt sich aus der Addition der einzelnen Druckdifferenzen.

Aufgrund der Größe und des Verlaufes der Druckdifferenzen wird erkennbar, was sich auch durch Rechnungen beweisen läßt, daß nach den in der Regel zugrundegelegten Auslegungsbedingungen die infolge der Auftriebskraft entstehende Druckdifferenz in den höheren Stockwerken größer ist als der Winddruck und dort mit einer Exfiltration gerechnet werden muß. Die neutrale Zone ergibt sich dann in der halben Höhe des Gebäudes (Bild 1, oben).

Selbst wenn der Winddruck als konstant vorausgesetzt wird, entsteht mit steigender Außentemperatur eine Situation, bei der oberhalb der neutralen Zone der Winddruck bereits größer als die infolge des Auftriebes entstandene Druckdifferenz ist. Deshalb erfolgt hier eine Umkehr der Strömungsrichtung, statt der Exfiltration tritt eine Infiltration in den Außenräumen auf. Obwohl die Differenz zwischen der Innen- und Außentemperatur abnimmt, nimmt infolge des größeren Gesamtluftmassenstromes der absolute Wert des Lüftungswärmebedarfes zu (Bild 1, Mitte).

Diese Erscheinung wird noch dadurch verstärkt, daß — abgesehen von Küstengebieten — zwischen Windgeschwindigkeit und Außentemperatur eine gewisse Korrelation besteht, derart, daß zu höheren Außentemperaturen größere Windgeschwindigkeiten gehö-

ren. In den unteren Geschossen treten keine besonderen Probleme auf: Bei tieferen Außentemperaturen ist aufgrund des Auftriebsdruckes eine intensive Infiltration vorhanden; bei höheren Außentemperaturen nimmt der Auftrieb ab und der Winddruck steigt an. Die Änderungen beider Einflüsse gleichen sich einander in gewissem Maße aus. In höheren Stockwerken kann man solche Ausgleicherscheinungen nicht beobachten, sondern es tritt eine gegenteilige Wirkung ein: Die Änderungen der beiden Einflüsse verstärken sich, denn mit der Zunahme der Außentemperatur nimmt die Auftriebskraft (d.h. der Überdruck im Inneren des Gebäudes) ab, und der Winddruck nimmt zu (d.h. der Luftwechsel wird größer). Ist der Anstieg der Luftwechselzahl größer als die Verminderung der Differenz zwischen der Innen- und Außentemperatur, dann wird bei höheren Außentemperaturen der Lüftungswärmebedarf größer als bei Auslegungsbedingungen (Bild 1, unten).

Maximalwerte des Lüftungswärmebedarfs

Die vorstehend erläuterten Zusammenhänge können natürlich nur für einen gegebenen Standort sowie gegebene meteorologische Daten numerisch ausgewertet werden. Diese Auswertung wurde für die Stadt Budapest durchgeführt.

Die Wechselbeziehungen zwischen Windgeschwindigkeit und Außentemperatur sind von den in Tabelle 1 aufgeführten Wertepaaren gekennzeichnet. Charakteristisch für alle Wertepaare ist, daß bei gegebenen Außentemperaturen größere Werte als die veranschlagten Windgeschwindigkeiten jährlich höchstens in einer Zeitdauer von 22 h auftreten.

Für die in Tabelle 1 dargestellten Wertepaare von Außentemperatur und Windgeschwindigkeit wurden die Hauskenngröße und die Höhenkorrekturfaktoren nach dem in [2, 3] beschriebenen Verfahren berechnet. Aufgrund der ermittelten Werte erfolgte die Bestimmung der Außentemperatur, bei welcher der Maximalwert des Lüftungswärmebedarfes zu erwarten ist. Die Ergebnisse sind in Bild 2 bis 5 dargestellt. Die Bilder zeigen als Funktion der relativen Gebäudehöhe ($z - 1,5/H$) die Innen- und Außentemperaturdifferenz, die einen maximalen Lüftungswärmebedarf verursacht.

Tabelle 1: Wertepaare der Außentemperatur und der Windgeschwindigkeit (Meßort Budapest) für die Monate Dezember, Januar und Februar*

Lufttemperatur °C	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0
Windgeschwindigkeit m/s	2,0	3,0	4,0	6,0	7,0	8,0	8,7	9,0	9,6

* Die Wertepaare ergeben sich aus einer Häufigkeitsauswertung von Meßwerten der Lufttemperatur

Die Ergebnisse weichen etwas von den Werten gemäß DIN 4701 ab. Die Gründe hierfür sind:

- Es wurde versucht, die Höhengrenzen auf die Stockwerkhöhe — bzw. auf die Vielfachen dieser Höhe — abzustimmen. Für den Sockel wurde 1 m Höhe vorausgesetzt.
- Als obere Grenze der Gebäudehöhe wurden 55 m festgelegt. Für die Berechnung von höheren Gebäuden empfiehlt sich die Anwendung eines ausführlichen rechnergestützten Verfahrens.
- Die Einflüsse unterschiedlicher Gelände- und Bebauungsformen wurden durch eine differenzierte Betrachtungsweise berücksichtigt.

Die aerodynamische Rauigkeit des Geländes ist bei größeren Windgeschwindigkeiten ein dominierender Faktor des Exponenten, der die Höhenveränderungen der Windgeschwindigkeit eines parabolischen Windprofils beschreibt. Unter der Wirkung verschiedener Geländeformen verändert sich der Winddruck bei einem gegebenen Höhengniveau und identischen meteorologischen Referenzgeschwindigkeiten beträchtlich.

Die ermittelten Ergebnisse beweisen eindeutig, daß der Maximalwert des Lüftungswärmebedarfes der Räume in den verschiedenen Stockwerken des gleichen Gebäudes bei unterschiedlich hohen Außentemperaturen erreicht wird. In manchen Fällen tritt der Maximalwert bei einer Außentemperatur von 2 °C auf.

Wenn im Gebäude eine maschinelle Abluftanlage betrieben wird, nimmt der Druck unter ihrer Wirkung innerhalb des Gebäudes ab. Bei entsprechender Einregulierung und Betriebsführung bleibt die Größe der von der Lüftungsanlage hervorgerufenen Druckverminderung in allen Räumen konstant.

Unter der Wirkung von Abluftanlagen wird die Infiltration in den unteren Stockwerken intensiver sein, da sich die von der Lüftungsanlage und der Auftriebskraft hervorgerufenen Unterdrücke addieren. In den oberen Stockwerken üben der sich aufgrund der Auftriebskraft ergebende Überdruck und der von der Abluftanlage hervorgerufene Unterdruck eine entgegengesetzte Wirkung aus. Demzufolge läßt die Intensität der Exfiltration nach, und die neutrale Zone ergibt sich weiter oben.

Mit steigender Außentemperatur nimmt der Auftriebsdruck ab; der von Abluftanlagen verursachte Unterdruck bleibt dagegen unverändert. Aus diesem Grund wandert die neutrale Zone immer mehr nach oben, und über eine gewisse Grenze hinaus wirkt sie sich auf das Gebäude gar nicht mehr aus. In diesem Fall kann sich der Lüftungswärmebedarf in den höheren Stockwerken bei steigenden Außentemperaturen auch erhöhen.

Auslegung und Betriebsverhalten des Heizsystems

Nach der Ermittlung der Maximalwerte des Lüftungswärmebedarfes nach dem vorstehend ausgeführten Verfahren läßt sich die Leistung der erforderlichen Raumheizflächen theoretisch ohne Schwierigkeiten bestimmen. Die praktische Durchführung der Auslegung ist jedoch etwas kompliziert, weil der maximale Lüftungswärmebedarf in den verschiedenen Räumen bei unterschiedlichen Außentemperaturen auftritt. Das heißt, daß die Heizflächen entsprechend der verschiedenen Vorlauftemperaturen und Wärmedurchgangskoeffizienten berechnet werden müssen; letztere sind wiederum von den Heizkörper- und Raumtemperaturen abhängig. Für die Deckung der erforderlichen Heizleistung sind daher bei höheren Außentemperaturen und entsprechend niedrigeren Vorlauftemperaturen größere Heizflächen als nach den normalen Auslegungskriterien erforderlich.

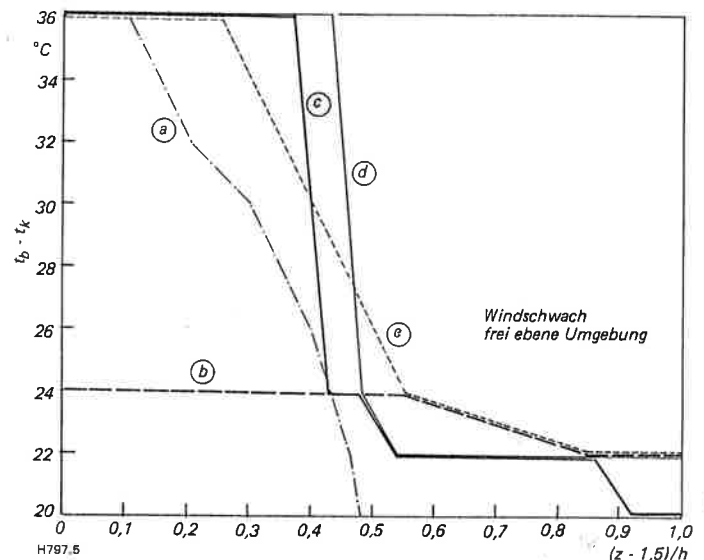
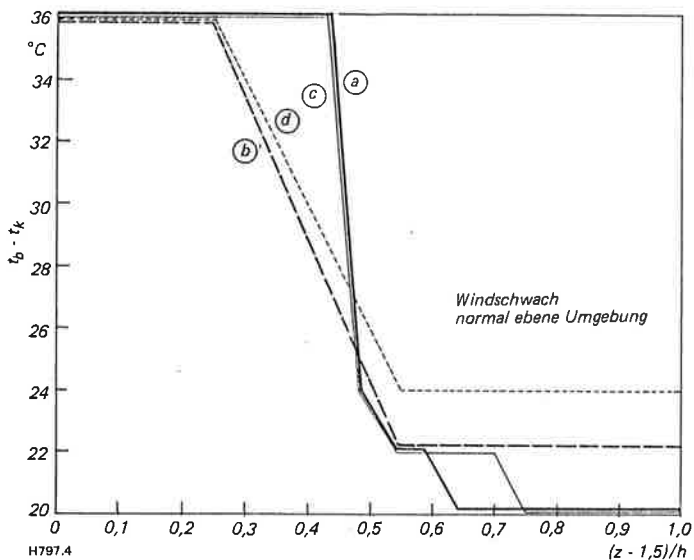
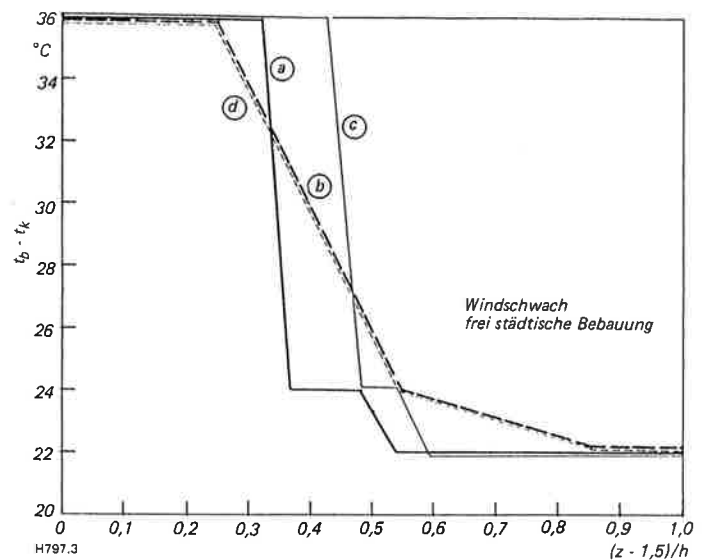
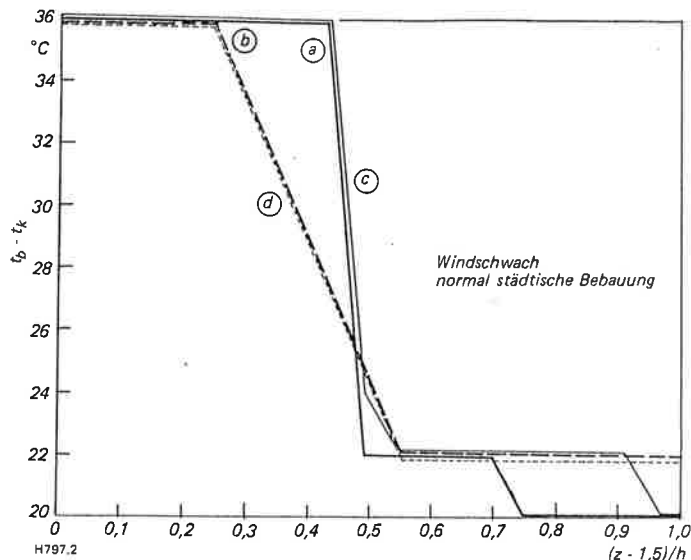
Für die Räume der oberen Stockwerke gilt:

- Der maximale Lüftungswärmebedarf tritt nicht bei der für die Auslegung zugrundegelegten Außentemperatur, sondern bei einer höheren Außentemperatur auf.
- Der gesamte Wärmebedarf (Transmissionswärmeverlust und Lüftungswärmebedarf) ist kleiner als der Auslegungswert. Er vermindert sich aber nicht nach dem Verhältnis

$$\frac{t_i - t_a}{t_i - t_{a,0}}$$

sondern entsprechend dem Zusammenhang $Q_H = A_H k_H (t_{H,m} - t_i)$. Somit sind größere Heizflächen notwendig als nach den normalen Auslegungsrichtlinien. (Es bedeuten: A_H Heizfläche, k_H Wärmedurchgangskoeffizient, $t_{H,m}$ Durchschnittstemperatur des Heizmittels.)

Aus den vorerwähnten Gründen ist es zweckmäßig, das Auslegungsverfahren so zu gestalten, daß man für alle Räume zunächst von der Auslegungstemperatur ausgeht. Tritt aber der Maximalwert



Bilder 2 bis 5: Maximalwerte des Lüftungswärmebedarfs in Abhängigkeit vom Temperaturunterschied bei verschiedener Bebauung bzw. Topografie
Bilder: Verfasser

des Lüftungswärmebedarfs bei einer anderen Außentemperatur auf, muß ein entsprechender Höhenkorrekturfaktor angesetzt werden, um den Einfluß der niedrigeren Vorlauftemperatur auf die Heizflächenleistung zu kompensieren.

Dieses Verfahren verursacht sprunghafte Änderungen bei den Auslegungswerten an den in den *Bildern 2 bis 5* angegebenen Stellen. Dies kann zur Folge haben, daß bei Außentemperaturen entsprechend den normalen Auslegungsverfahren die Räume in den oberen Stockwerken überheizt werden. Die Wahrscheinlichkeit, daß dieser Zustand eintritt, ist aber gering.

Die Einhaltung der vorgeschriebenen Raumtemperaturen ist bei einem sich sehr unterschiedlich ändernden Lüftungswärmebedarf, wie er vorstehend beschrieben wurde, im Grunde genommen nur durch ein Heizsystem mit Einzelraumregelung möglich. Diese Lösung wird man zwar nicht immer durchsetzen können. Bei Hochhäusern kann es aber

zweckmäßig sein, das Heizsystem nicht nur in bezug auf die Fassadenseiten, sondern auch entsprechend der Höhe in Zonen aufzuteilen.

Zusammenfassung

Bei der Auslegung von Heizanlagen in hohen Gebäuden ist es erforderlich, daß man in bezug auf die Ermittlung des maximalen Wärmebedarfes der in den verschiedenen Stockwerken liegenden Räume den veränderlichen Lüftungswärmebedarf bei sehr unterschiedlichen Außentemperaturen berücksichtigt. Mit Hilfe der Wertepaare „Außentemperatur — Windgeschwindigkeit“ ist die Bestimmung des maximalen Lüftungswärmebedarfes ohne besondere Schwierigkeiten möglich. Bei der Auslegung der Heizflächen ist jedoch zu beachten, daß die für die Deckung des maximalen Lüftungswärmebedarfes erforderliche Heizleistung bei verschiedenen Vorlauftemperaturwerten gesichert sein muß. Die

Verwendung eines entsprechenden Korrekturfaktors bietet die Möglichkeit, das Risiko einer Unterbeheizung zu vermeiden. Das beste Mittel gegen eine Überbeheizung ist eine Einzelraumregelung oder eine Zoneneinteilung des Heizsystems auch nach der Gebäudehöhe.

[H 797]

Literaturangaben

- [1] Zöld, A.: Berechnung des Filtrationsluftaustausches in Gebäuden. HLH 24 (1973) Nr. 8, S. 245/47.
- [2] Esdorn, H.: DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden — Grundzüge des Neuentwurfs. GI 99 (1978) Nr. 7, S. 192/209.
- [3] Esdorn, H., u. W. Brinkmann: Der Lüftungswärmebedarf von Gebäuden unter Wind- und Auftriebsinflüssen. GI 99 (1978) Nr. 4, S. 98/105.
- [4] Esdorn, H., u. P. Schmidt: Neuvorschläge zum Entwurf DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden. HLH 32 (1981) Nr. 11, S. 427/28.