

#1703

1703

69

EINRICHTUNGEN ZUR FREIEN LÜFTUNG
UND LÜFTUNGSANLAGEN

Systems for natural and fan ventilation

Uwe Knöbel

Dornier System GmbH
D-7990 Friedrichshafen 1

Abstract

The studies investigate the structure and availability of such systems in domestic housing.

In order to make accurate assessments of natural ventilation efficiency a measurement program was carried out and evaluated.

Fan ventilation systems were systematized under technical and market aspects. Their applicability for efficient ventilation of various mansion-types is discussed.

1. VORBEMERKUNG

Mit zunehmender Reduzierung des Transmissionswärmeverlusts von Wohnbauten wird die Gebäudehülle immer dichter. Damit stellt sich die Frage einer ausreichenden Mindestluftwechselrate unter den Aspekten

- hygienische und physiologische Anforderungen
- Feuchteregulierung zur Vermeidung von Kondensatbildung und dadurch Bauschäden
- Minimierung der Wärmeverluste des Luftaustauschs durch Rückgewinnungsmaßnahmen

Die freie Lüftung ist begrifflich von der maschinellen Lüftung zu unterscheiden: Die Luftförderung erfolgt ausschließlich durch die klimabedingten treibenden Kräfte Temperaturunterschied und Windeinfluß, bei der motorischen Lüftung dagegen durch Ventilatoren.

Zur freien Lüftung gehören die natürliche Lüftung als Selbstlüftung eines Raums bei geschlossenen Fenstern, die Fensterlüftung und die Schachtlüftung. Als Haupttypen können Fenster, regulierbare Lüftungseinrichtungen (RLE) als Zusatzöffnungen und Schächte unterschieden werden.

Bei der maschinellen Lüftung wird eine Unterteilung in Haupttypen vorgenommen, die wiederum in Untertypen systematisiert werden können.

Maßstab zur Beurteilung der Anlagen sind

- Erfüllung der Lüftungsfunktion
- energetische Effizienz bzgl. Minimierung der Lüftungsverluste
- Bedienbarkeit und Wartbarkeit.

2. EINRICHTUNGEN ZUR FREIEN LÜFTUNG

Die technische Leistungsfähigkeit von Lüftungseinrichtungen ist hauptsächlich mit den Kategorien Lüftungsfunktion und Einfluß auf den Energiehaushalt der belüfteten Räume zu beschreiben.

Aussagen über diese Leistungsfähigkeit zur Belüftung spezieller Wohnungen in Ein-, Mehrfamilien- und Hochhäusern können aufgrund der komplexen Struktur dieser Wohneinheiten in sich und im Verbund mit dem gesamten Bauwerk aus den Meßergebnissen im Rahmen dieses Projekts nur begrenzt abgeleitet werden. Dies ist die Aufgabenstellung bei Demonstrativbauten und -bauvorhaben.

Zur Fundierung von solchen Aussagen wurde durch das Institut für Fenstertechnik, Rosenheim, ein Modellraum aufgebaut, der die Größe eines kleinen Wohnraums hatte (ca. 28 m³ Rauminhalt). In Ost- und Westfassade waren Fenster, variable Lüftungsschlitze und austauschbare Lüfter angeordnet.

Durch Messung der Konzentrationsabnahme von CH₄ konnten reale Verhältnisse durch verwirbelte Luftanströmung, thermische Druckgradienten und Kombinationswirkung mehrerer Raumöffnungen über einen längeren Zeitraum hinweg gut erfaßt werden.

Zusätzlich wurden Messungen statischer Art am institutseigenen Unterdruckprüfstand durchgeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse sind im folgenden skizziert:

2.1 Fenster

Aufgrund der weiten Verbreitung wurde vorrangig der Fenstertyp "Drehkipplflügel" untersucht.

Bild 1 zeigt die über die gesamte Meßkampagne hinweg erreichten Volumenströme.

Für die Kippstellung läßt sich eine funktionale Abhängigkeit des Volumenstroms von Kippweite und Temperaturdifferenz nachweisen (Bilder 2 und 3).

Analoge Meßergebnisse liegen für die rein windinduzierte Lüftung vor (Bilder 4 und 5).

Im Querlüftungsfall werden erheblich größere Volumenströme erzielt (Bild 6).

Grundsätzlich ist eine Dauerlüftung, d.h. ein kontrollierter Volumenstrom kleineren Betrages mit tolerierbaren, klimatisch bedingten Schwankungen durch Fenster aller Öffnungsarten möglich, wenn entsprechende Feststell- bzw. Reguliereinrichtungen der Öffnungsweite in kleinem Bereich vorhanden sind. Diese Zusatz- oder integrierten Einrichtungen sind bisher jedoch noch kaum in der Praxis zu finden.

Bei einem Kippflügel üblicher Öffnung ist bisher eine Scherenöffnung des Kippbeschlages in der Form üblich, daß eine obere freie Spaltweite von ca. 10 - 12 cm entsteht. Die Untersuchungen zeigen, daß diese Öffnungsweite bei durchschnittlichen Fenstergrößen von der energiewirtschaftlichen Seite her einen zu hohen Luftdurchsatz bewirkt, wobei das hygienisch und bauphysikalisch notwendige Minimum weit überschritten wird.

Bei einer Temperaturdifferenz von $\Delta t = 20 \text{ K}$ zwischen außen und innen ergibt sich z.B. ein Volumenstrom von ca. $130 \text{ m}^3/\text{h}$ (Bild 7), und bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s ein Volumenstrom von 150 bis $300 \text{ m}^3/\text{h}$, entsprechend einer Luftwechselzahl von $2,4 \text{ h}^{-1}$ bis $4,8 \text{ h}^{-1}$ in einem 25 m^2 großen und $2,5 \text{ m}$ hohen Standardraum (rd. 60 m^3).

Diese Zahlen schließen einerseits die Anwendung der üblichen Kippweite zur (einseitigen) Stoßlüftung weitgehend aus, zeigen jedoch auch die begrenzte Anwendungsfähigkeit zur Dauerlüftung. Lediglich für Sonderfälle, wenn sich z.B. ständig mehrere Personen im Raum aufhalten, oder wenn eine ständige größere Luftmenge zur Abfuhr von Kochdunst und hoher Wasserdampfbelastung in der Küche erforderlich ist, kann diese, bisher allgemein übliche Kippweite eine notwendige Lüftungsstellung werden.

Daher ergibt sich für den normalen Anwendungsfall die Notwendigkeit des Erreichens einer Dauerlüftung bei kleineren, energiesparenden Öffnungsweiten.

Im Bereich der freien Lüftung kann eine bestimmte konstante Luftmenge jedoch nicht allgemein einer bestimmten Einstellung von Kippweite oder Öffnungsgröße zugeordnet werden. So wird in windexponierten Gebieten eine Fensterlüftung stets durch Wind, und in geschützteren Gebieten in der Regel durch die wechselnden Temperaturdifferenzen zwischen außen und innen hervorgerufen werden.

Empfehlungen für eine bestimmte Öffnungsweite, welche durch entsprechende Beschläge einstellbar sein soll, müssen daher differenziert nach Klimagebiet und Jahreszeit erfolgen.

Grundsätzlich ist es nach den durchgeführten Untersuchungen möglich, den Volumenstrom bei bekannten äußeren Bedingungen durch Variation der Öffnungsweite mit genügender Genauigkeit einzustellen und konstant zu halten.

Zieht man Windeinflüsse als bestimmende Randwerte heran, so ergibt sich mit einer Kippöffnungsweite von 2 cm bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s ein Volumenstrom von 25 bis 50 m³/h je nach Anströmrichtung (Bild 8). Bei höheren Windgeschwindigkeiten muß die Öffnungsweite weiter reduzierbar sein.

In Anwendung auf den Energiehaushalt von Wohnungen wird eine Platzierung im Hochhaus, Mehrfamilienhaus und Einfamilienhaus unterschieden. Es kann festgestellt werden, daß für den angenommenen Standardraum mit 25 m² Grundfläche und 2,5 m Höhe und eine Temperaturdifferenz von 20 K bei Gegenüberstellung der Wärmeverluste aus einer bisher fast ausschließlich üblichen Kippweite von 12 cm und der wünschenswerten Kippweite von 2 cm und erforderlichen Mindestluftwechselraten von $n = 0,5 \dots 1,0$ bereits die thermisch bedingte Lüftung eines Fensters in kleiner Kippstellung ausreicht.

Die heute üblichen Kippweiten von 12 cm führen zu weit überhöhten Volumenströmen und damit verbundenen Energieverlusten.

Ein Vergleich der thermisch bedingten Lüftungs- und der Transmissionswärmeströme des Standardraums ist in Bild 9 dargestellt

Bei der Erfassung der windabhängigen Einflüsse auf die Lüftungswärmeströme ist die Lage der Fenster zueinander sowie die Anströmrichtung des Windes von entscheidender Bedeutung.

Die Variationsbreite der Werte bei einem Fenster folgt aus den unterschiedlich möglichen Anströmrichtungen.

Die Gegenüberstellung der Wärmeverluste zeigt wiederum stark überhöhte Volumenströme und damit auch Wärmeverluste bei den heute üblichen 12 cm Kippweite gegenüber ausreichenden 2 cm.

In der Praxis erhöhen sich diese Werte noch um einen Beitrag, der von Lüftungsverlusten durch Raumundichtigkeiten herrührt.

10 veranschaulicht wiederum die Zusammensetzung der Gesamt-
 verluste aus Transmissions- und Lüftungswärme für diesen

Regulierbare Lüftungseinrichtungen

Regulierbare Lüftungseinrichtungen sind definiert als Bauelemen-
 te, die einen Luftaustausch bei geschlossenem Fenster zulassen,
 zum Einbau in die Außenhaut bestimmt sind, keinen motorischen
 Antrieb besitzen und bezüglich des Volumenstroms regulierbar
 sind.

Die speziellen regulierbaren Lüftungseinrichtungen werden aus-
 schließlich zur Dauerlüftung benutzt und haben daher relativ
 kleine Querschnitte. Einen Überblick über vier vermessene Typen
 gibt Bild 11.

Ein Hauptanwendungsgebiet finden sie in schallgedämmter Ausfüh-
 rung, um Räume von lärm- und staubbelasteten Gebäuden lüften zu
 können, ohne die Fenster zu öffnen.

Eine wirksame Lüftung findet in genügend dichten Räumen jedoch
 nur statt, wenn zusätzlich zu einer Einrichtung mindestens ei-
 ne zweite vorhanden ist (Zu- und Abluft).

Soll eine wirksame thermische Lüftung stattfinden (bei fehlender
 oder mangelnder Windeinwirkung), so müssen 2 Einrichtungen mit
 größtmöglichem Höhenabstand eingebaut werden (empfohlen wird der
 Einbau ober- und unterhalb eines Fensters, Bilder 12 und 13).

Bei Verwendung von zwei der größten untersuchten schallgedämmten
 Einrichtungen erreicht man bei rein thermischer Lüftung (pro m
 Länge) zwischen $+10^{\circ}\text{C}$ und -10°C einen Volumenstrom von 10,3 bis
 $17,8 \text{ m}^3/\text{h}$, wenn sie einen Höhenabstand von 1,3 m aufweisen.

Durch Windlüftung könnten mit regulierbaren Einrichtungen höhere Volumenströme erreicht werden, jedoch nur dann, wenn sich 2 Einrichtungen in der Wohnung gegenüberliegen (Querlüftung), oder wenn einer einzelnen Einrichtung passive Undichtigkeiten gegenüberliegen (Bild 14). Erzielbare Volumenstromangaben sind aus reinen Meßergebnissen am Modellraum hierfür nicht übertragbar.

Die bisherige Unsicherheit bezüglich Lüftungswirksamkeit führte oft dazu, in notwendige schallgedämmte Einrichtungen eine mechanische Luftförderung einzubauen. Dies hat nicht nur erkennbare Vorteile bezüglich konstanter Volumenströme, sondern auch im Hinblick auf die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung, welche bei der freien atmosphärischen Lüftung nicht praktikabel ist.

Zur Abschätzung der Energieverluste werden beispielhaft die Lüfter 1 und 3 herangezogen (siehe Bild 11, Einbau wieder im Standardraum). Zwei jeweils gleiche Einheiten sind mit einem Höhenversatz von $\Delta h = 1,3$ m angebracht. Die erzielbaren Luftwechsel liegen dabei bei $0,3 \cdot 1/h$ bzw. $0,2 \cdot 1/h$.

Bei rein thermischer Lüftung genügt der Einbau dieser Vorrichtungen in ein Fenster nicht. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Lüftung müssen noch andere Maßnahmen ergriffen werden.

Windinduzierte Lüftung mit zwei jeweils gegenüberliegenden gleichen Lüftern 1 bzw. 3 führen bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/sec je nach Anströmung zu Luftwechselzahlen von 0,6 bis $1,2 \cdot 1/h$ (Typ 1) bzw. 0,4 bis $0,8 \cdot 1/h$ (Typ 3), also an der Grenze des Mindestluftwechsels. Die Energiebilanzen sind Bild 15 zu entnehmen.

Tendenzen und Entwicklungen

Die Entwicklung von Lüftungseinrichtungen hat in den letzten Jahren vor allem durch die Fortschritte beim Fensterbau entscheidende Impulse erhalten.

So führte die immer besser werdende Abdichtung der Fenster zu Überlegungen, die Lüftungsfunktion völlig unabhängig von dem Bauelement Fenster zu machen und zusätzliche Lüftungselemente einzuführen.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung kann jedoch geschlossen werden, daß das Fenster durchaus seine Funktionalität als Lüftungseinrichtung besitzt und seine Verwendung dafür gerechtfertigt ist.

Entscheidend für diesen Einsatz ist aber eine bessere Regulierbarkeit in Form engunterteilter Dreh- und vor allem Kippstellungen sowie eine bessere Aufklärung der Benutzer über mögliche unnötig hohe Wärmeverluste bei Dauerlüftung mit zu großen Öffnungsweiten.

Dazu sollten den Nutzern Hinweise gegeben werden, die die Lüftungswirkung des Fensters für typische Gebäude und Wohnungen in Abhängigkeit des Außenklimas und der Beschlagstellung illustrieren und den empfohlenen Bereich für Dauerlüftung markieren.

In Gebieten mit starker Umweltbelastung durch Staub und Lärm ist der Einsatz spezieller Lüftungseinrichtungen der beschriebenen Form angebracht.

Hier gehen die Tendenzen in Richtung einzelner, kleiner Dauerlüfter, die so schallgedämmt sind, daß ihr bewertetes Schalldämmmaß dem des Fensters in geschlossenem Zustand entspricht. Zusätzlich sind dabei Filter vorgesehen, die das Eindringen von Stäuben verhindern.

Die Untersuchungen an den Einzellüftern haben aber auch gezeigt daß zur Erfüllung einer ausreichenden Lüftungsfunktion auf die richtige (vertikale oder höhenversetzte) Anbringung und auf genügend große Durchtrittsquerschnitte zu achten ist.

Vor allem im Hinblick auf eine bessere Steuerbarkeit dieser Lüftungseinrichtungen ist es bei der Weiterentwicklung notwendig, die steuerbare Querschnittsfläche auf die kleinste Durchschnitfläche zu beziehen, da diese für den Volumenstrom begrenzend wirkt.

Viele der heute angebotenen Lüfter haben ihre begrenzende Durchtrittsfläche auf der Fassadenseite, während die größere Innenfläche variiert werden kann. Dies führt zu nichtlinearen Kennlinien

LÜFTUNGSANLAGEN

Auf der Seite der motorgetriebenen Lüftungsanlagen ist eine Systematisierung nach Art der Luftförderung und Einsatzgebiet sinnvoll. So können Fortluftsysteme, Außenluftsysteme, Außen- und Fortluftsysteme und Umluftanlagen mit Außen- und/oder Fortluftförderung unterschieden werden. Diese sind wiederum auf Mehrfamilien-, Einfamilienhäuser und Wohnungen und Einzelräume anwendbar (Bild 16).

In Bild 17 sind weitere Unterscheidungsmerkmale aufgelistet, die Eigenschaften baulicher Art und Kombinationsmöglichkeiten mit Wärmerückgewinnungsmaßnahmen und teilweise auch bestehenden Heizanlagen aufzeigen.

3.1 Einzelgeräte-Systeme

Bei der Einzelraumentlüftung läßt sich zwischen der Entlüftung von Gebrauchsräumen (Küche, Bad und WC) und der Dauerlüftung von Wohn- und Schlafräumen unterscheiden.

Die Entlüftung der Gebrauchsräume ist dabei am Bedarf orientiert und wird als Grundlüftung mit Schaltmöglichkeit für erhöhte Bedarfslüftung betrieben oder nur bei Bedarf eingeschaltet, evtl. mit vorgesehener Nachlaufmöglichkeit über ein Zeitrelais. Richtlinien zur diesbezüglichen Entlüftung von Bädern und Spülaborten ohne Außenfenster sind in der DIN 18017 Bl. 3 gegeben. Bei entsprechender Auslegung und Dimensionierung des Fortluftgeräts kann wohl das primäre Ziel - die ausreichende Entlüftung eines einzelnen Raumes - erreicht werden, jedoch gelten für die Lüftung der übrigen Räume der Wohnung folgende Nachteile bzw. Einschränkungen:

- Bei der Entlüftung eines einzelnen Raumes läßt sich die Übertragung von Gerüchen und Feuchtigkeit in die übrigen Wohnbereiche nicht ausschließen.
- Für die ausreichende Lüftung in den Räumen ohne Einzel-Entlüftung sind zusätzliche Maßnahmen zur Lüftung - in der Regel Lüftung über Fenster - unerlässlich.

Für die Dauerlüftung eines Wohn- oder Schlafräume über ein Einzelgerät sind in den meisten Fällen geeignete Schallschutzmaßnahmen notwendig, damit das "Schalldämmfenster" des betroffenen Raums geschlossen bleiben kann. Da bei Entlüftung Schadstoffe und Feuchtigkeit direkt von den Sanitärräumen zum Wohn- bzw. Schlafbereich nachströmen würden, kommen nur Außenluft-, bzw. Außen- und Fortluftgeräte in Betracht. Probleme mit Zugerscheinungen durch die einströmende kalte Außenluft können durch Teilerwärmung verringert werden.

Die Dauerlüftung eines einzelnen Raums setzt zusätzliche Lüftungsmaßnahmen in den restlichen Bereichen der Wohnung - vorrangig Fensterlüftung - voraus. Bei Ausstattung jedes einzelnen Raums mit einem Einzelgerät - Außen- bzw. Außen- und Fortluftgeräte für Wohn- und Schlafräume, Fortluftgeräte für Küche, Bad und WC - dürfte neben nachteiliger gegenseitiger Störeinflüsse auch bzgl. Kosten und Aufwand für Investition und Wartung der Vergleich zu einer Zentralanlage (im einfachsten Fall: Fortluftanlage mit gleichzeitiger Entlüftung von Küche, Bad und WC) ungünstig ausfallen.

Man kann daher feststellen, daß Einzelgeräte zwar einen Einzelraum ausreichend be- oder entlüften können, die Gesamtwohnung jedoch in der Regel nach wie vor auf konventionelle Weise durch Fensterlüftung gelüftet werden muß. Derart ausgestattete Wohnungen lassen sich daher eher in die Kategorie "Natürliche Lüftung" einordnen, wobei die mechanische Einzelraumlüftung eine Zusatzeinrichtung darstellt.

Zentralanlagen-Systeme

Die Anwendung von Außenluftanlagen zur Belüftung von Wohnungen haben in bezug auf die Gesamtlüftung der Wohnung den Nachteil, daß die mit Feuchtigkeit, Gerüchen und Schadstoffen beladene Luft aus den Gebrauchsräumen nicht gezielt und ausreichend erfaßt und ins Freie abgeführt wird.

Das Konzept der Außenluftanlagen sieht Luftzuführung in Wohn- und Schlafräumen vor. Man geht davon aus, daß durch die entstehenden Druckverhältnisse die verbrauchte Luft über Küchen- und Sanitärräume ins Freie abströmt. Störeinflüsse wie z.B. verursacht durch eine undichte Außentür oder bei Winddruck, können dieses Konzept infrage stellen. Auch ohne diese Störungen können zeitlich begrenzte hohe Belastungen der Raumluft (z.B. während der Dusch- und Kochzeiten) nicht ausreichend erfaßt werden. Zusätzliches Fensterlüften - zumindest der Sanitärräume - muß in diesem Fall als richtige Verhaltensweise der Bewohner bezeichnet werden. Schon aufgrund dieser genannten Nachteile sollte die Verwendung von Außenluftanlagen die Ausnahme bilden.

Bei zentralen Fortluftanlagen kann dagegen eine ausreichende Erfassung der verbrauchten Luft aus den belasteten Räumen erreicht werden. Durch Schaltmöglichkeit von Grundlüftung auf höhere Entlüftungsstufen können auch kurzzeitige höhere Lasten abgeführt werden.

Bei Nachströmung der Außenluft durch Undichtheiten ist zu erwarten, daß die Außenluftzufuhr in den einzelnen Wohn- und Schlafräumen sich unterschiedlich gestaltet und weitgehend vom Zufall abhängt. Während ein Raum mit hohen Undichtheiten (z.B. am Fensterrahmen) reichlich Außenluft erhält, kann im Nebenraum Außenluftmangel herrschen. Durch Nachströmelemente in der Außenwand oder Außenluftnachströmung über einen Zuluftschacht und Nachströmöffnungen in den Türen der Sanitärräume läßt sich diese Undichtheit weitestgehend beheben. Mögliche Störungen durch Winddruck und Zugscheinungen sind dabei jedoch verstärkt zu beachten.

Unproblematischer ist die gezielte Außenluftdosierung für die einzelnen Räume bei Außen- und Fortluftanlagen. Entlüftet wird in den Küchen- und Sanitärräumen analog zu den Fortluftanlagen, so daß hierfür die gleichen positiven Eigenschaften gelten. Nur bei undichter Bauweise können durch hohen Winddruck verursachte Querströmungen unter Umständen zur Übertragung von Luft aus den Gebrauchsräumen in den übrigen Wohnbereich führen. Zugerscheinungen im Bereich der Außenluftzuführung können durch Vorwärmen der kalten Außenluft erreicht werden. Bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung sollte dies ebenfalls bei sehr tiefen Außentemperaturen erfolgen.

Bei Umluftanlagen mit Lüftungsfunktion stellt der Lüftungsteil lediglich eine Systemerweiterung dar, bei der bei Außenluftförderung ein Teil des Kanalsystems gemeinsam benutzt wird. Die Fortluft wird dagegen über ein separates Kanalnetz ins Freie abgeführt. Im Grunde gelten daher die gleichen positiven und möglichen negativen Eigenschaften der oben aufgeführten Systeme.

Als Ergebnis läßt sich aussagen, daß eine ausreichende mechanische Be- und Entlüftung der gesamten Wohnung - ohne zusätzliches Fensteröffnen - nur durch zentrale Fortluftanlagen und durch zentrale Außen- und Fortluftanlagen oder deren Kombination mit Umluftanlagen erreicht werden kann.

3.3 Energetische Aspekte

Als Bezugsbasis für eine Abschätzung der durch den Einsatz von Lüftungsanlagen erwarteten Energieeinsparungen dient zunächst der bei herkömmlicher Fensterlüftung zu erwartende Lüftungswärmebedarf. In Bild 18 sind hierzu vier verschiedene "typische" Fälle unterschieden, bei denen je nach Gebäudedichtheit und Verhalten der Bewohner unterschiedlich hohe Luftwechselraten und damit Lüftungswärmeverluste auftreten können.

Im ersten Fall mit Luftwechselraten der Gesamtwohnung von $0,5 \text{ h}^{-1}$ bis $3,0 \text{ h}^{-1}$ oder sogar darüber entsprechen Gebäude mit hohen Undichtheiten oder übermäßig häufiges oder langandauerndes Öffnen der Fenster - selbst bei guter Gebäudedichtheit. Diesem Zustand steht der andere Extremfall mit Luftaustausch nur über Undichtheiten bei dichter Bauweise gegenüber. Typische Luftwechselzahlen von $0,1$ bis $0,2 \text{ h}^{-1}$ sind hierbei zu erwarten. Diese Werte liegen deutlich unter einem zu fordernden Mindestluftwechsel von ca. $0,5 \text{ h}^{-1}$, bezogen auf die Gesamtwohnung. Gesundheitlich und hygienisch nicht vertretbare Raumlufzustände, sowie die Begünstigung von Kondensationserscheinungen wären die Folge.

Beide Fälle zeigen als Extremfälle, die eigentlich vermieden werden sollten, die Bandbreite der zu erwartenden Luftwechselraten bei Wohnungen mit freier Lüftung auf, können jedoch nicht als Referenzfälle aufgefaßt werden. Hierfür sollte das heute als üblich zu bezeichnende Fensteröffnungsverhalten bei durchschnittlich dichter Bauweise (Luftwechselraten durch Infiltration ca. $0,2$ bis $0,4 \text{ h}^{-1}$) herangezogen werden. Ein Gesamtluftwechsel von $1,0 \text{ h}^{-1}$ kann dabei als charakteristisch bezeichnet werden. Dieser Wert liegt zum Beispiel innerhalb dem von Hartmann (1983) experimentell-rechnerisch festgestellten mittleren Luftwechsel von $0,9$ bis $1,2 \text{ h}^{-1}$ für einen "typischen Tages-Lüftungsverlauf" in zwei vierstöckigen Wohnblöcken. Da für Einfamilienhäuser durch Querströmungseffekte und durch die größere Anzahl möglicher Undichtheiten eigentlich noch höhere Luftwechsel zu erwarten sind, erscheint der Referenzwert eines 1-fachen Luftwechsels für "normales" Fensterlüften und durchschnittliche Gebäudedichtheit eher konservativ niedrig angesetzt.

Bei reiner Anwendung der freien Lüftung mit dem Ziel, einen $0,5$ -fachen Luftwechsel zu gewährleisten, ist zu erwarten, daß durch eine Verbesserung der Verhaltensweise der Nutzer und durch den Einsatz der schon beschriebenen zusätzlichen Lüftungseinrichtungen der Referenzwert des Normalfalls von 1 h^{-1}

unterschritten werden kann. Durch witterungsbedingte Einflüsse und der damit verbundenen Notwendigkeit, das Lüftungsverhalten entsprechend anzupassen, dürfte der tatsächlich erreichbare Luftwechsel bei der verbesserten Anwendung von Fensterlüftung und Lüftungseinrichtungen bei durchschnittlich $0,7 \text{ h}^{-1}$ liegen.

Bei einer einfachen Fortluftanlage (Bild 19) lassen sich dagegen Luftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ mit ausreichender Genauigkeit erzielen, ohne die höheren Ansprüche eines verbesserten Lüftungsverhaltens an die Bewohner stellen zu müssen. Die Fenster sind - abgesehen von Ausnahmefällen - in der Heizperiode geschlossen zu halten. Darüberhinaus sind einige anlagentypische Bedienungs- (z.B. Erhöhung des Grundluftwechsels) und Wartungs- bzw. Reinigungsarbeiten durchzuführen. Auch bei einer mäßigen Gebäudedichtheit ist aufgrund der stabilisierenden Wirkung des in der Wohnung erzeugten Unterdrucks nur eine geringfügige Erhöhung des gewünschten Luftwechsels durch Leckluftanteile zu erwarten.

Eine zusätzliche Möglichkeit, die Gesamtbilanz der im Haushalt eingesetzten Energie zu verbessern, bietet der Einsatz einer Brauchwasser-Wärmepumpe mit Wärmenutzung aus der Abluft. Die Abluft hat dabei den Vorteil einer - gerade in der Heizperiode - gleichmäßig konstanten und ausreichenden Wärmequelle bei Temperaturen von 18° bis 22°C . Je nach Anwendungsfall lassen sich ca. 20 - 40 % der in der Abluft enthaltenen Rest-Energie für die Aufheizung von Brauchwasser nutzen.

Im Gegensatz zu Fortluftanlagen ist bei balancierten Außen- und Fortluftförderung näherungsweise die gleiche Leckluftrate, wie sie ohne Lüftungsanlage durch Infiltration über Undichtheiten entsteht, zusätzlich zur mechanisch geförderten Luftmenge zu berücksichtigen. Bei gleicher Auslegung auf eine geförderte Luftmenge entsprechend einem 0,5-fachen Luftwechsel ist daher in jedem Fall bei Außen- und Fortluftanlagen ein höherer Lüftungswärmeverlust zu erwarten, als bei Fortluftanlagen (vgl. Bild 20). Um den höheren Aufwand der zusätzlichen Außenluftförderung zu rechtfertigen, sollte allein aus diesem Grunde grundsätzlich Wärmerückgewinnung zur Verbesserung der Energiebilanz vorgesehen werden.

Bei dichter Bauweise, entsprechend einem Leckluftanteil von $0,2 \text{ h}^{-1}$ oder geringer - was bei schwedischem Standard durchaus erreichbar ist - lassen sich durch Wärmerückgewinnung mit Wärmetauschern ca. 50 % der Lüftungswärmeverluste im Vergleich zur Fortluftanlage einsparen. Bei einer "mäßig" dichten Bauweise wird bei Leckluftanteilen von $0,3$ bis $0,4 \text{ h}^{-1}$ dieser Vorteil zunichte gemacht, da nur der mechanisch geförderte Luftanteil der Wärmerückgewinnung unterliegt. In bezug auf mögliche Energieeinsparungen wird daher der Einsatz der Wärmerückgewinnung erst dann richtig sinnvoll, wenn gleichzeitig erhöhte Ansprüche an die Gebäudedichtheit gestellt werden, um Leckluftanteile gering zu halten.

Mit einer Wärmepumpe Abluft/Zuluft läßt sich - abgesehen von sehr tiefen Außentemperaturen - die Abluft stärker abkühlen als bei den passiven Wärmetauscherverfahren. Durch Nutzung der Abluft unter Einsatz von Exergie, verbunden mit entsprechenden Stromkosten, läßt sich dabei im Jahresmittel mehr Energie gewinnen als zur Aufwärmung der mechanisch geförderten Außenluft auf Zimmertemperatur benötigt wird. In der Abschätzung von Bild 20 führt dies zu einem negativen Lüftungswärmebedarf (Übererwärmung der geförderten Außenluft). Zieht man den nach wie vor positiven Wärmebedarf für den Leckluftanteil bei "dichter" Bauweise in Betracht, so sollte - zumindest rechnerisch - statt eines Lüftungswärmebedarfs ein kleiner "Lüftungswärmegegewinn" übrigbleiben.

Wird die Rückgewinnung der Fortluftwärme mit zusätzlicher Rückgewinnung von Abgaswärme einer konventionellen Gastherme kombiniert, läßt sich ein wesentlich größerer Wärmegegewinn für die Lüftungswärmebilanz errechnen (Jardinier, 1982). Dieser rechnerische Wärmegegewinn hängt neben dem Gesamtwärmebedarf der Wohnung in erster Linie vom Wirkungsgrad des Heizkessels und damit vom Angebot an Abgas-Restwärme ab. Bei Wirkungsgraden von 70 - 80 % ergibt sich beispielsweise ein beträchtlicher Energiegegewinn, während bei den neuartigen sogenannten "Brennwertgeräten" (Abgaswärme-Rückgewinner im Heizkessel integriert) keine latente Abgas-Restwärme zur Verfügung steht. Die Kombination von Lüftungsanlage und Rückgewinnung der Abgaswärme sollte deshalb im

Zusammenhang mit Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten der "Brennwertgeräte" betrachtet werden. In der Bundesrepublik sind die Randbedingungen genehmigungsrechtlicher Art zum Einsatz solcher Geräte noch nicht geklärt.

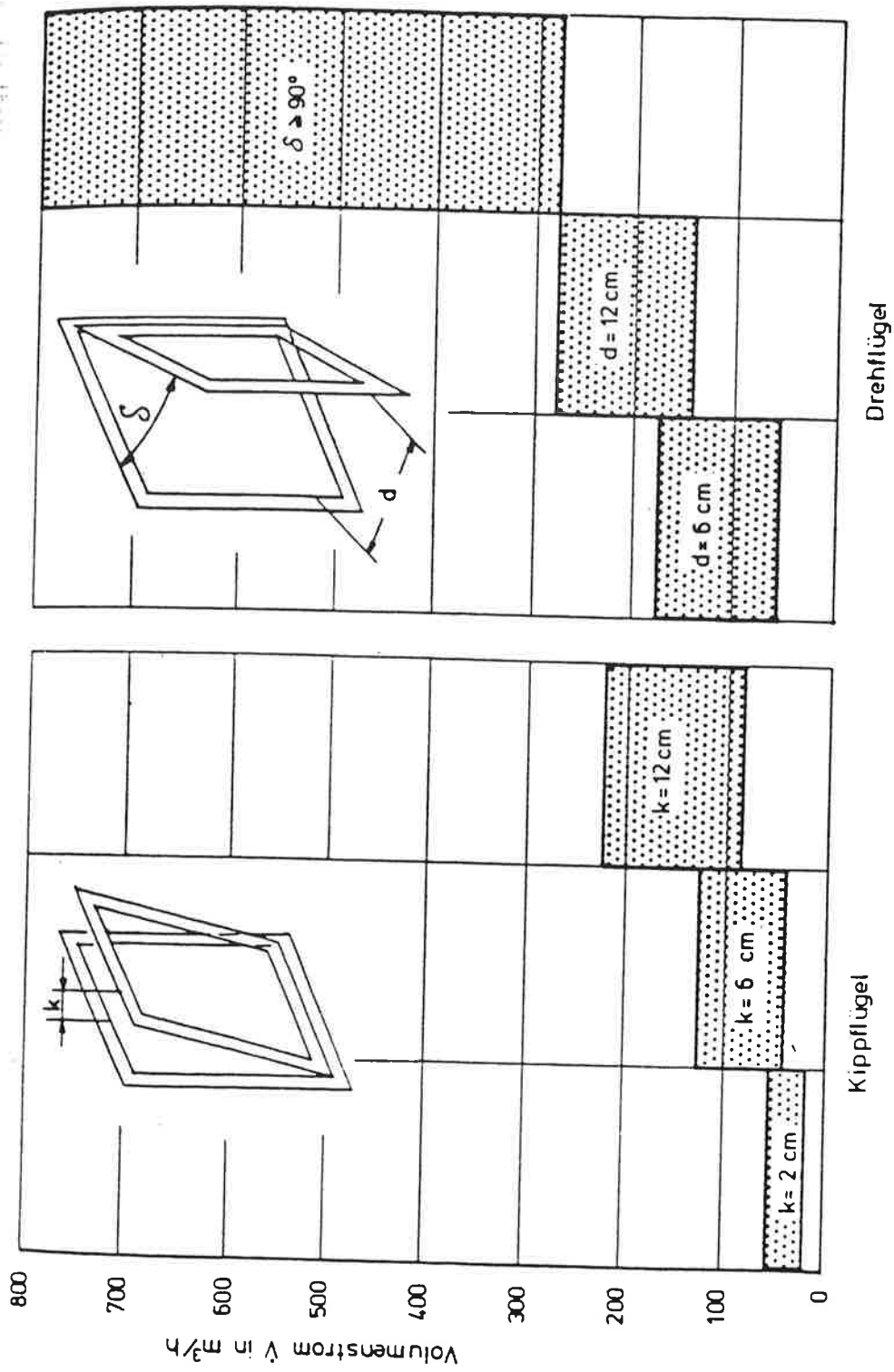


Bild 1 Freie Lüftung am Drehkippfenster, Spannweiten zwischen Maximum und Minimum gemessener Werte

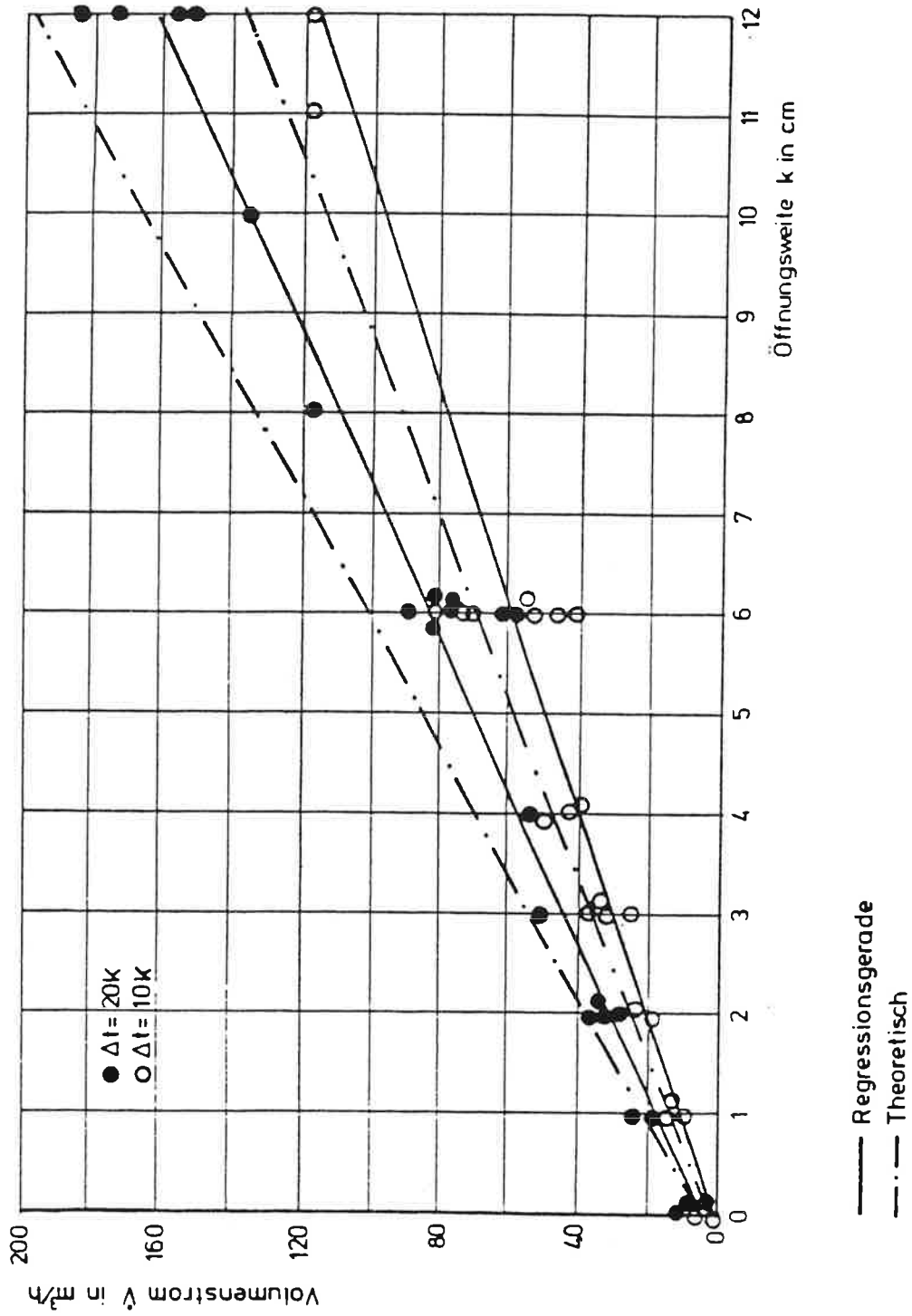


Bild 2 Temperaturlüftung am Kippflügel. Abhängigkeit des Luftdurchgangs von der Öffnungsweite k bei konstanter Temperaturdifferenz Δt und vernachlässigbarem Wind

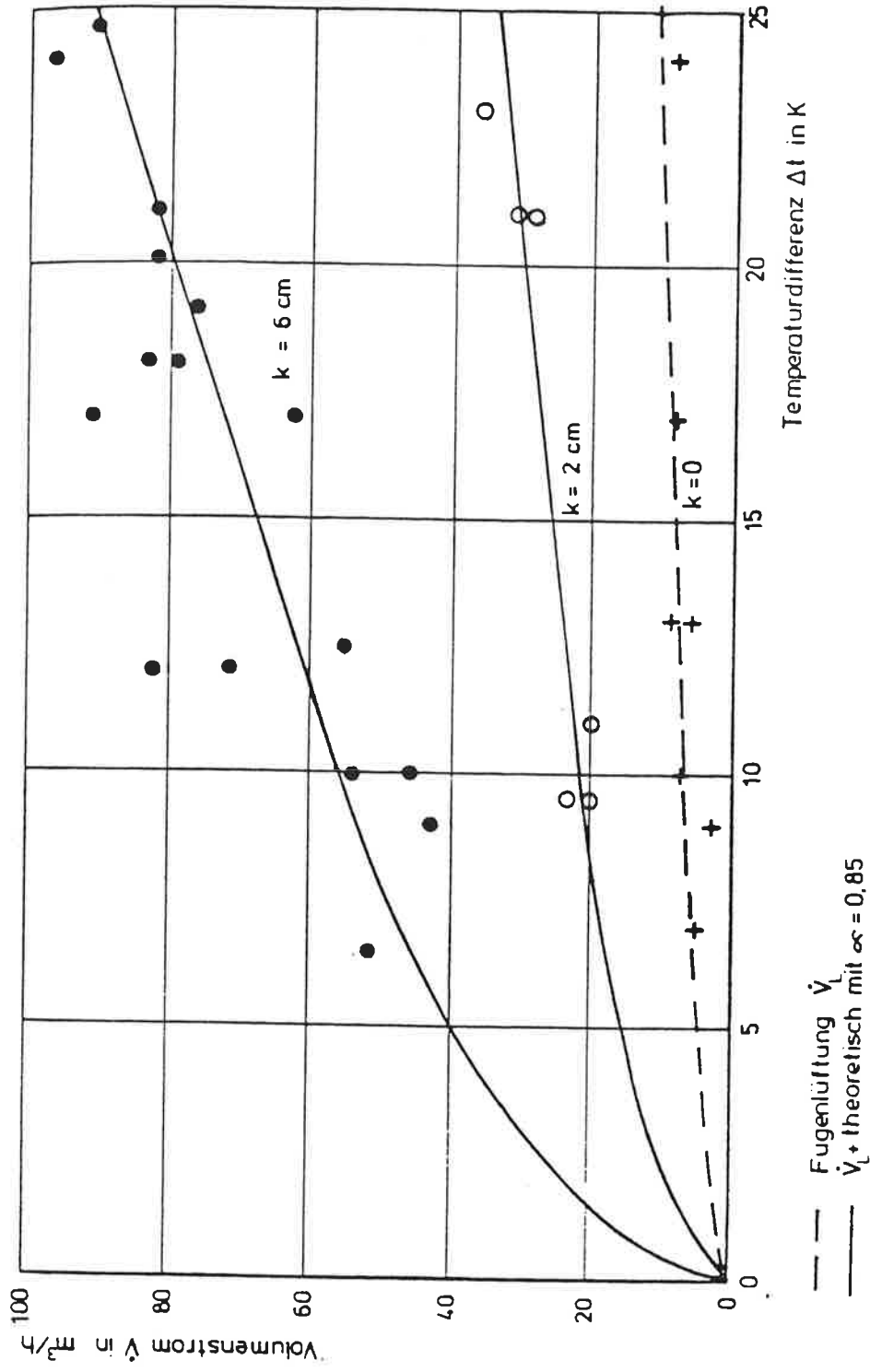


Bild 3 Temperaturlüftung am Kippflügel. Abhängigkeit des Luftdurchgangs von der Temperaturdifferenz bei konstanter Öffnungsweite k . Windgeschwindigkeit $w < 1,5 \text{ m/s}$.

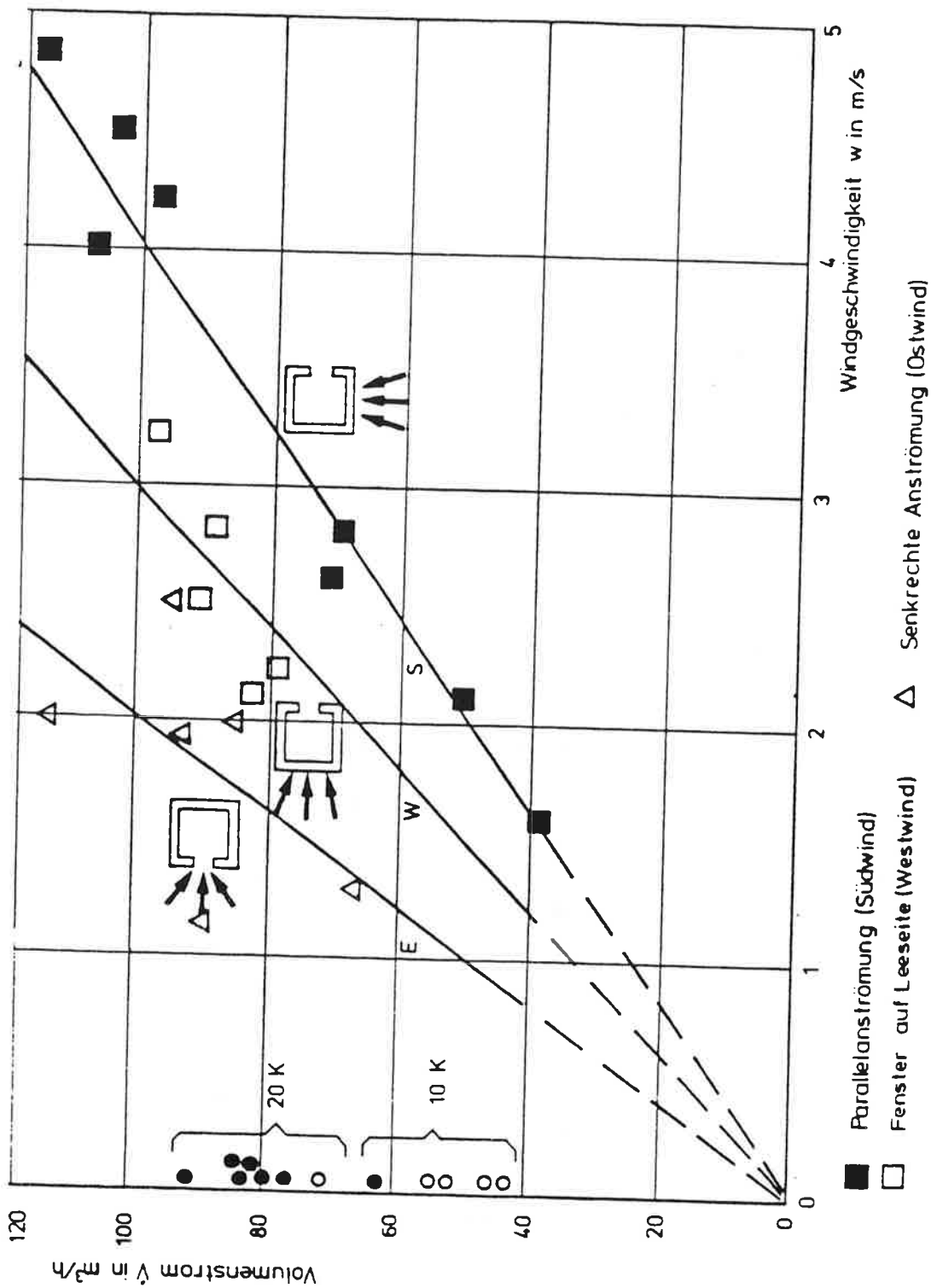


Bild 4 Windlüftung am Kippflügel. Abhängigkeit des Luftdurchgangs von Windgeschwindigkeit w und Windrichtung bei konstanter Öffnungsweite $k = 6 \text{ cm}$ für Temperaturdifferenzen $t \rightarrow 0$. Vergleichswerte für $\Delta t = 10 \text{ K}$ und $\Delta t = 20 \text{ K}$ bei $w \rightarrow 0$.

Bild 4

Windlüftung am Kippflügel. Abhängigkeit des Luftdurchgangs von Windgeschwindigkeit w und Windrichtung bei konstanter Öffnungsweite $k = 5$ cm für Temperaturdifferenzen $t \rightarrow 0$. Vergleichswerte für $\Delta t = 10$ K und $\Delta t = 20$ K bei $w \rightarrow 0$.

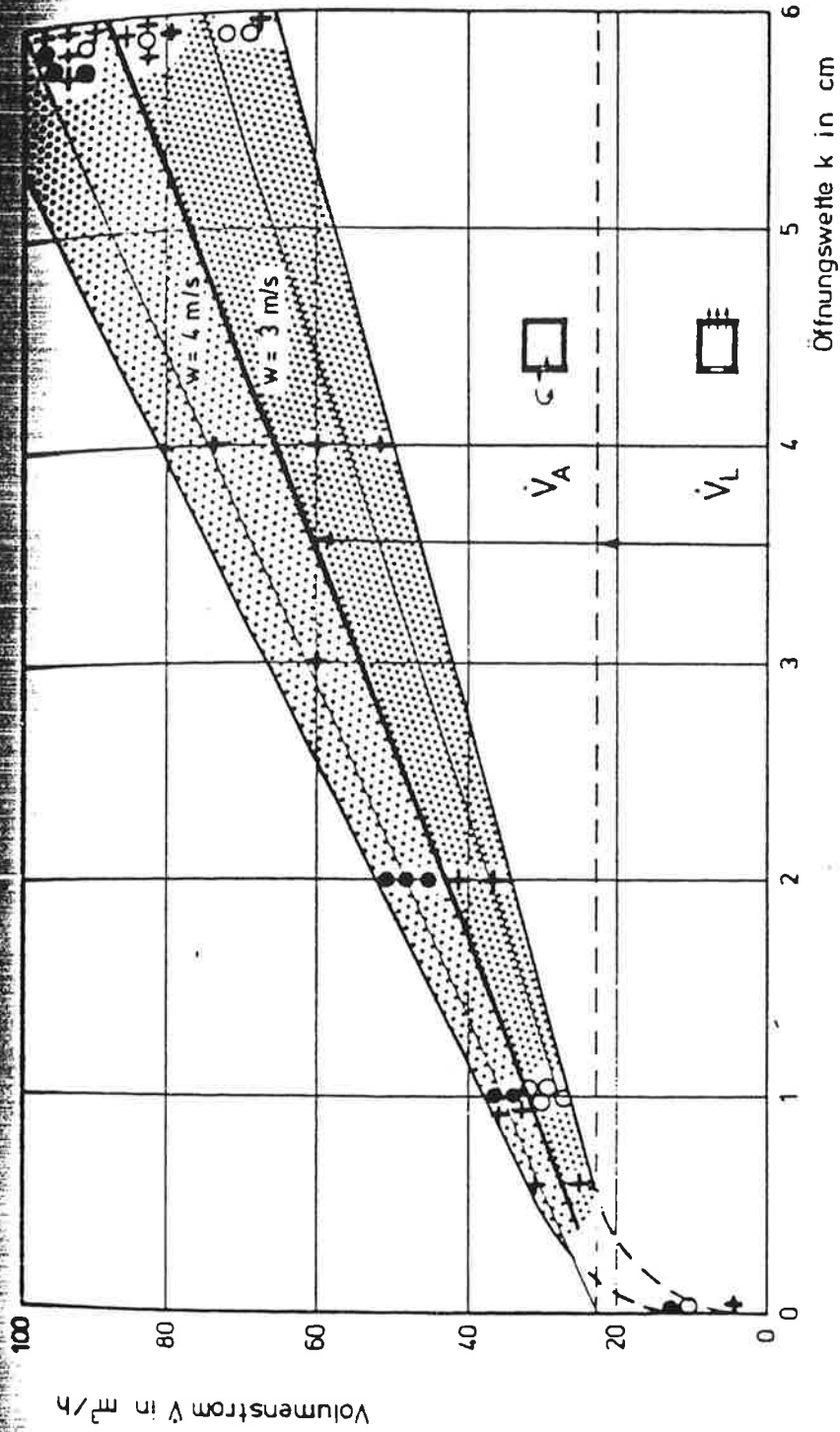
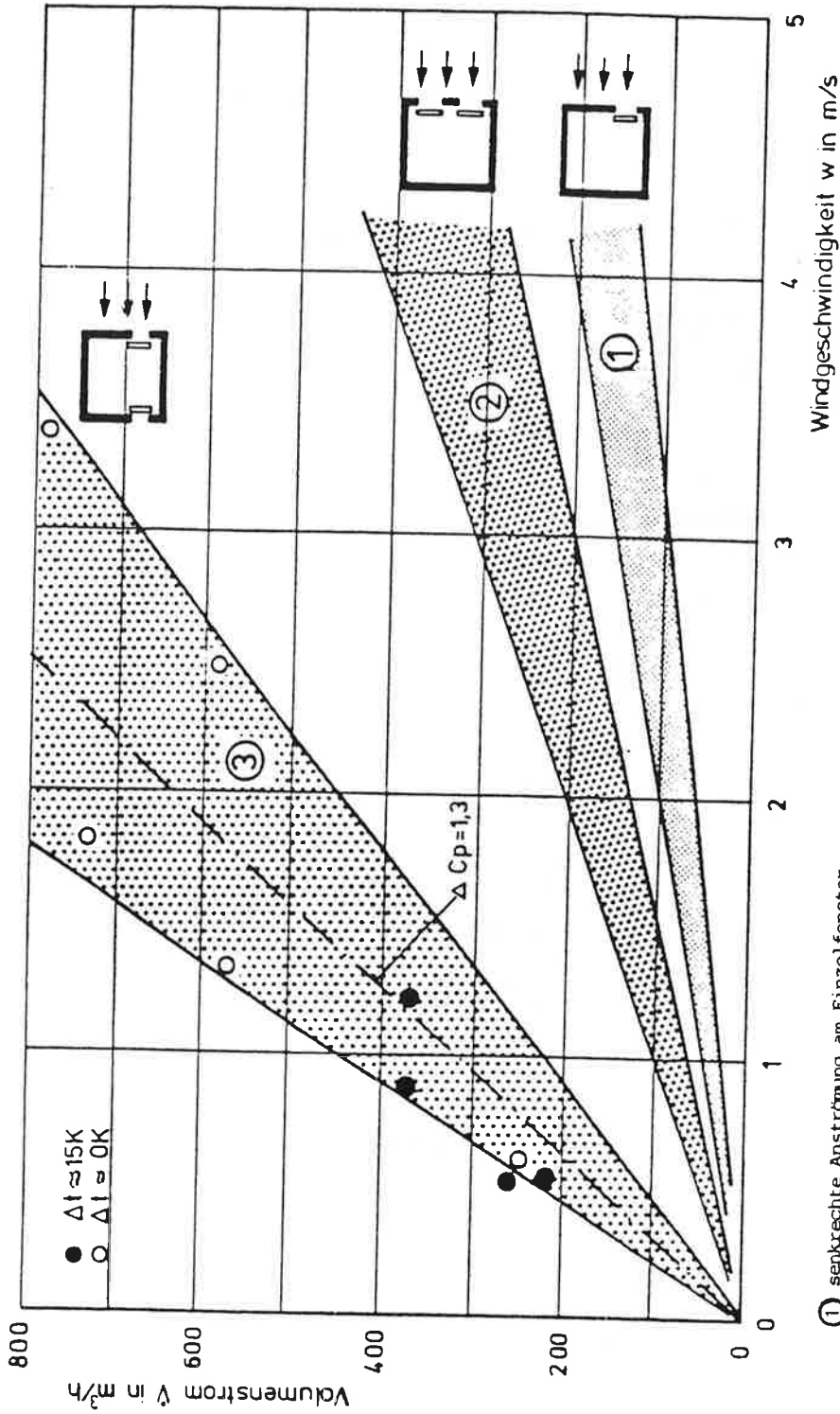


Bild 5 Windlüftung am Kippflügel. Abhängigkeit des Luftdurchgangs von der Öffnungsweite bei konstanter Windeinwirkung. Temperaturdifferenz $\Delta t \rightarrow 0$.



- ① senkrechte Anströmung am Einzelfenster
- ② senkrechte Anströmung zweier nebeneinanderliegender Fenster
- ③ senkrechte Durchströmung gegenüberliegender Fenster (Querlüftung)

Bild 6 Querlüftung durch zwei gegenüberliegende Kippflügel mit jeweils $k = 6 \text{ cm}$ in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit bei senkrechter Einströmung (Ostwind) im Vergleich mit der windabhängigen Lüftung an Einzelfenstern mit $k = 6 \text{ cm}$.

bei der senkrechten Einströmung (Dauwind) im Vergleich mit der windbedingten Lüftung an Einzelsteinen mit $k = 6 \text{ cm}$.

Innentemperatur $t_i = 20^\circ\text{C}$

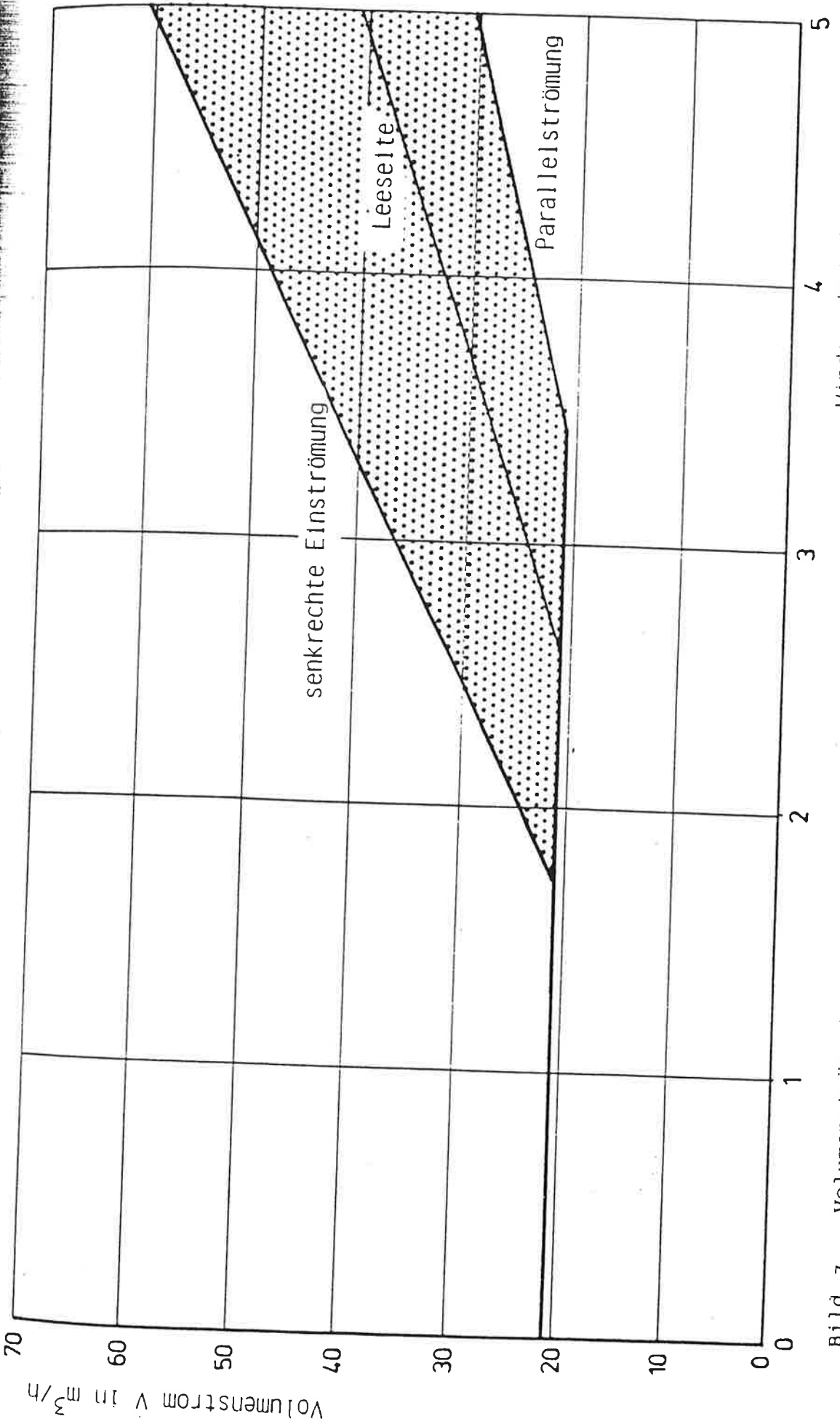


Bild 7 Volumenströme bei windbedingter Lüftung

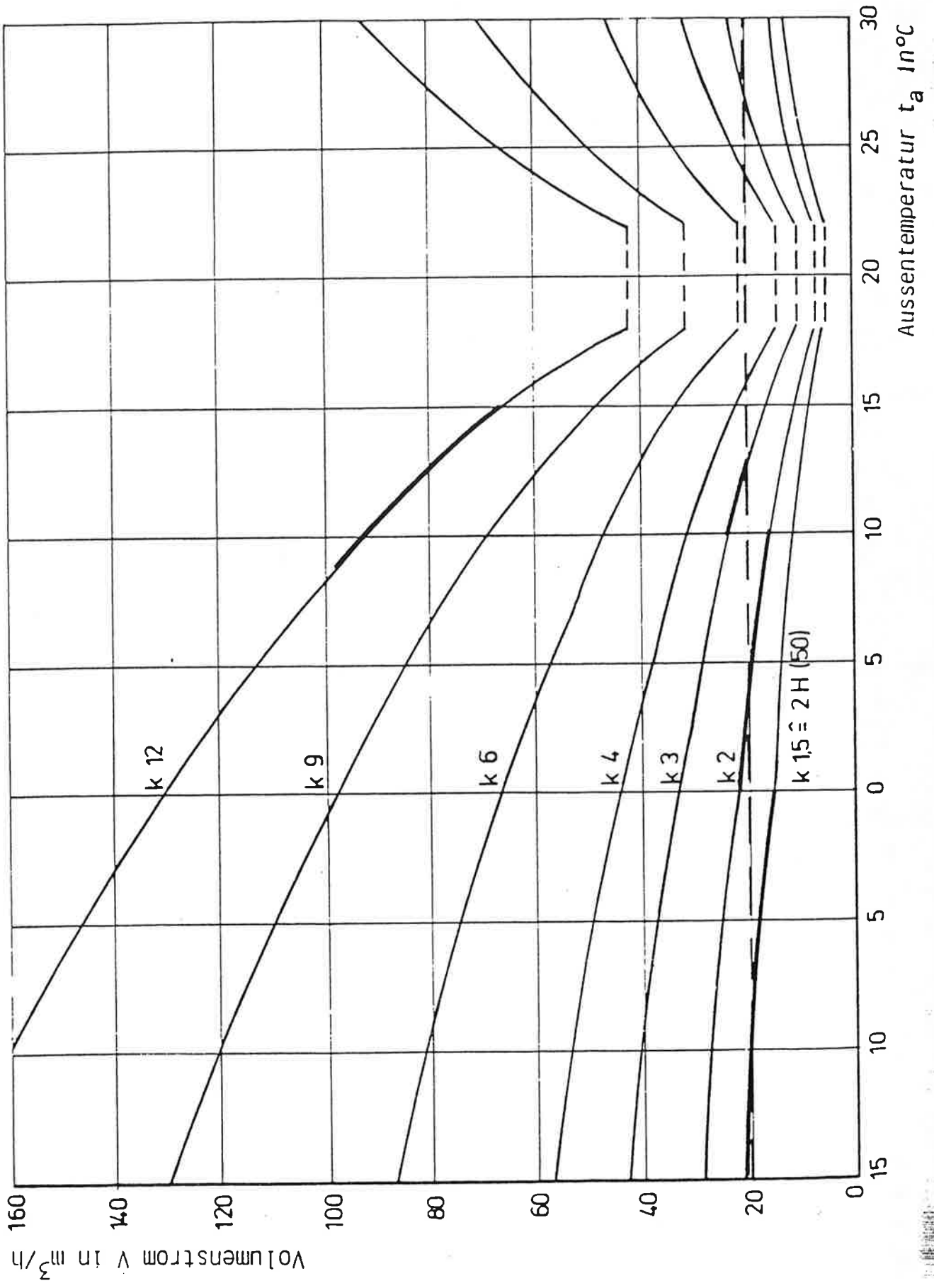


Abbildung 5: Volumenstrom bei thermisch bedingter Lüftung

Hochhaus

Mehrfamilienhaus

Einfamilienhaus

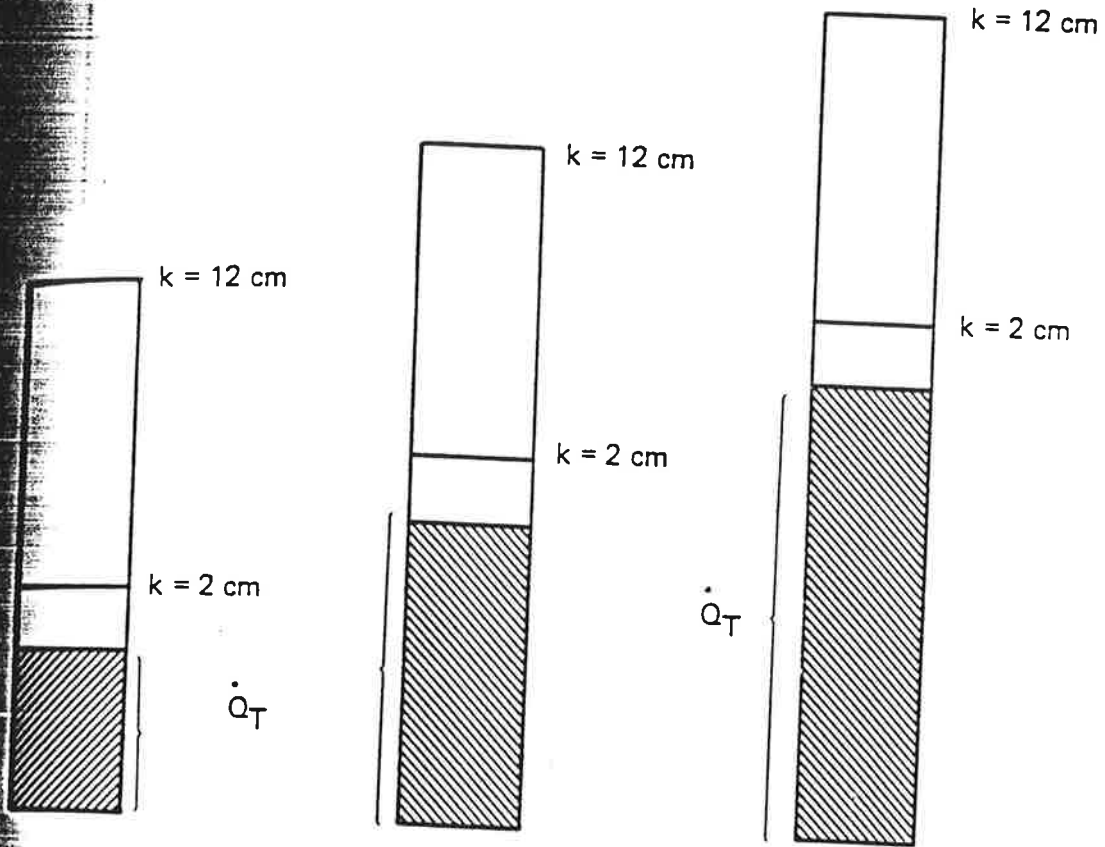


Bild 9

Gesamtwärmeverluste eines Standardraums
 bei unterschiedlichen Kippweiten und
 ausschließlich temperaturinduzierter Lüftung

Hochhaus

Mehrfamilienhaus

Einfamilienhaus

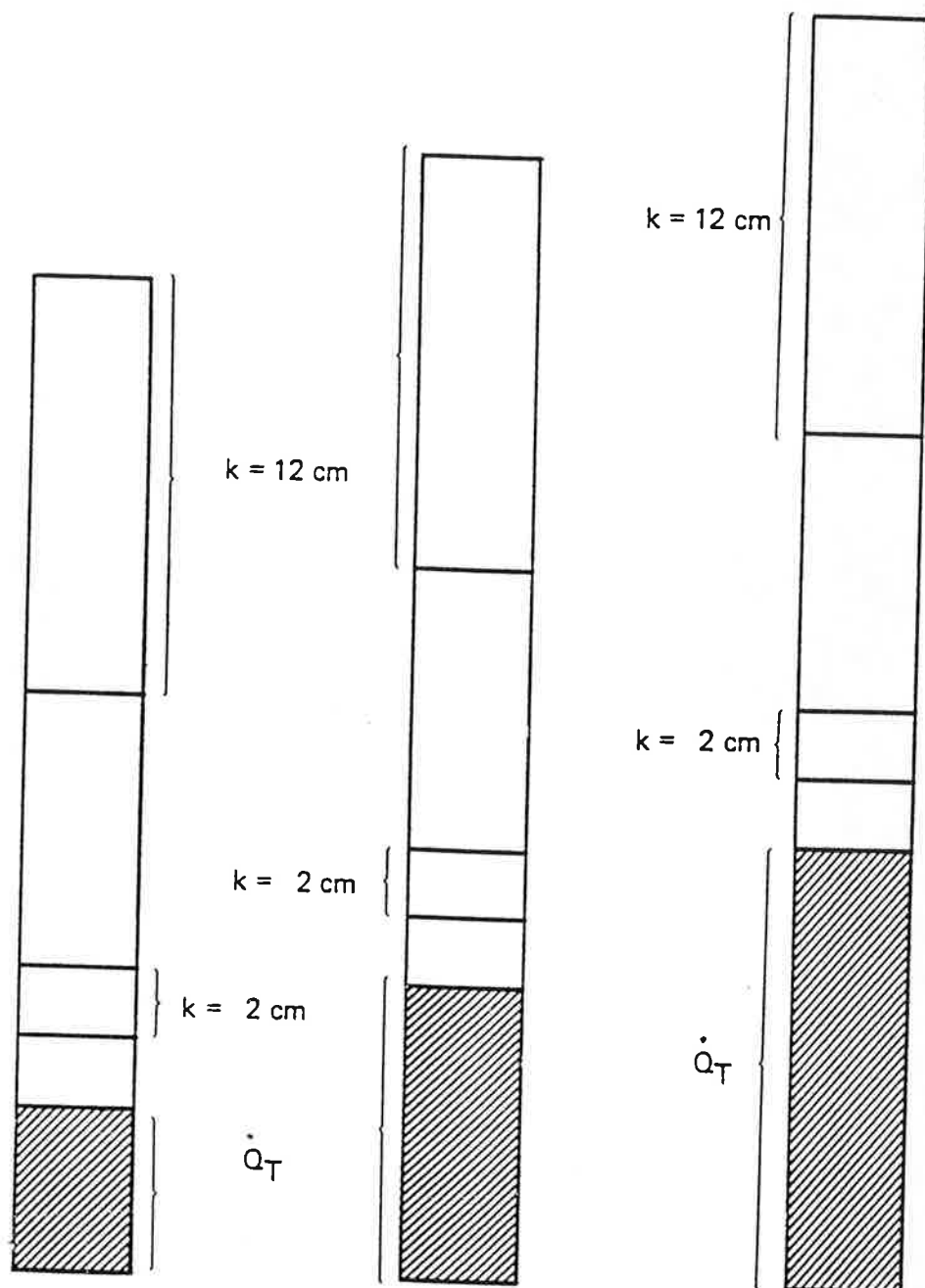


Bild 10 Gesamtwärmeverluste eines Standardraums bei unterschiedlichen Kippweiten und ausschließlich windinduzierter Lüftung

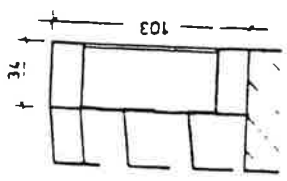
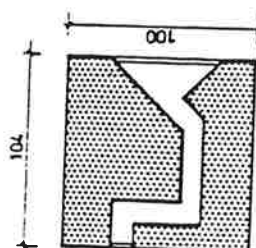
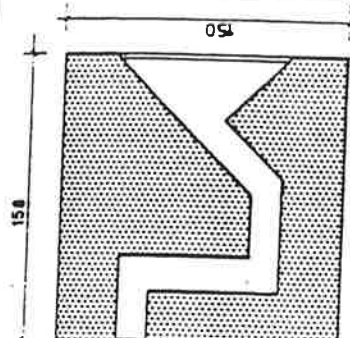
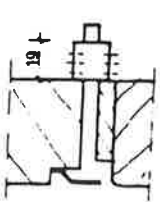
| | | | | |
|-------------------------------|--|---|--|--|
| Vertikalschnitt durch die RLE |  |  |  |  |
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Außenschnitt cm^2 95 Mittenschnitt cm^2 580 Innenschnitt cm^2 111 | Außenschnitt cm^2 60 Mittenschnitt cm^2 79 Innenschnitt cm^2 107 | Außenschnitt cm^2 73 Mittenschnitt cm^2 115 Innenschnitt cm^2 107 | Außenschnitt cm^2 52 Mittenschnitt cm^2 52 Innenschnitt cm^2 40 |
| | Bohrungszahl 2668 Bohrungsdurchmesser mm 2,3 Länge des Prüfobjektes mm 800 | Bohrungszahl 2576 Bohrungsdurchmesser mm 2,3 Länge des Prüfobjektes mm 800 | Bohrungszahl 2576 Bohrungsdurchmesser mm 2,3 Länge des Prüfobjektes mm 800 | Bohrungszahl 815 Bohrungsdurchmesser mm 2,5 Länge des Prüfobjektes mm 800 |

Bild 11 Beschreibung der untersuchten Regulierbaren Lüftungseinrichtungen

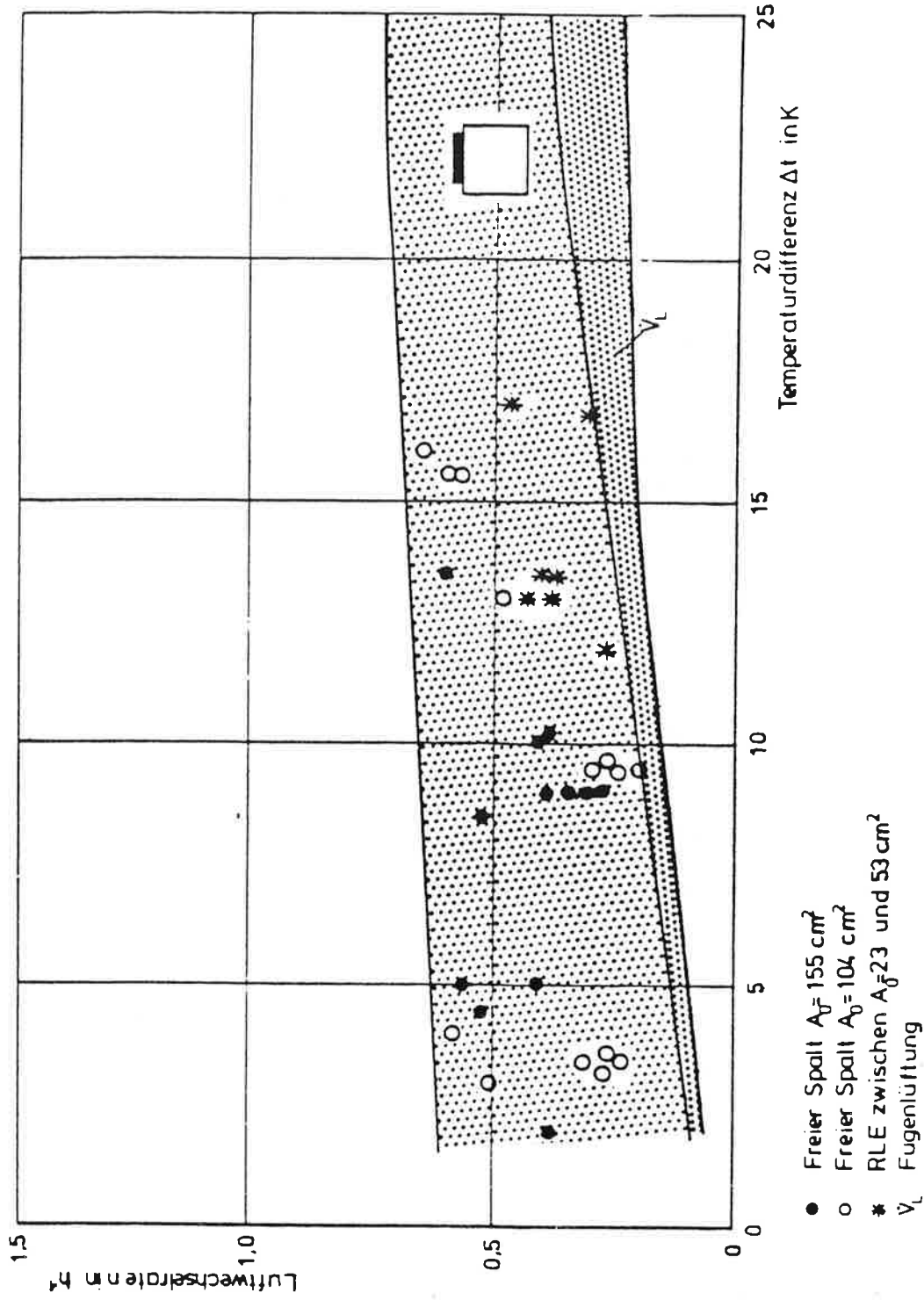
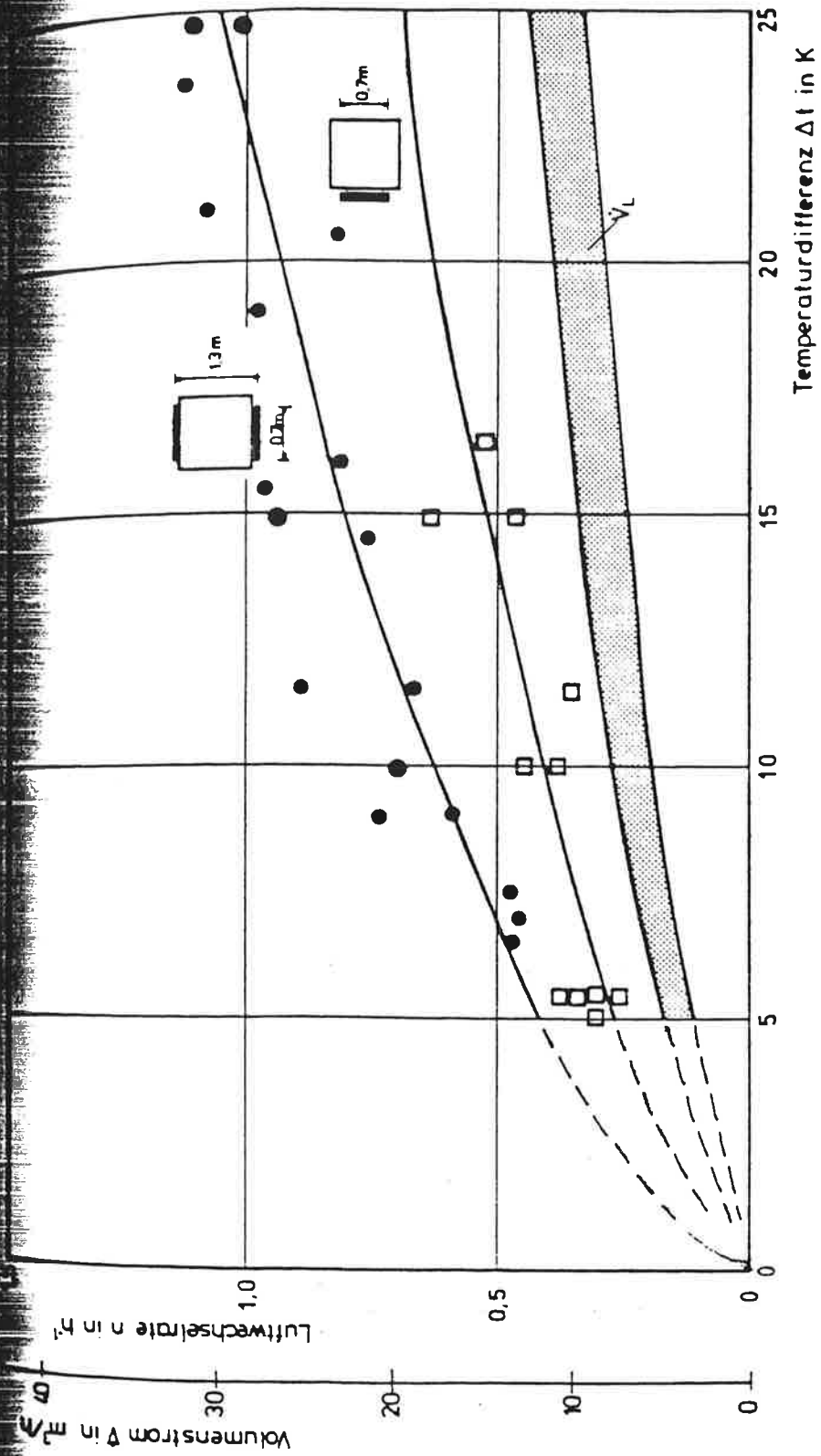


Bild 12 Freie Lüftung mit horizontalen Einzelöffnungen verschiedener Größe in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz bei Windgeschwindigkeiten $w < 1,5 \text{ m/s}$

Bild 12

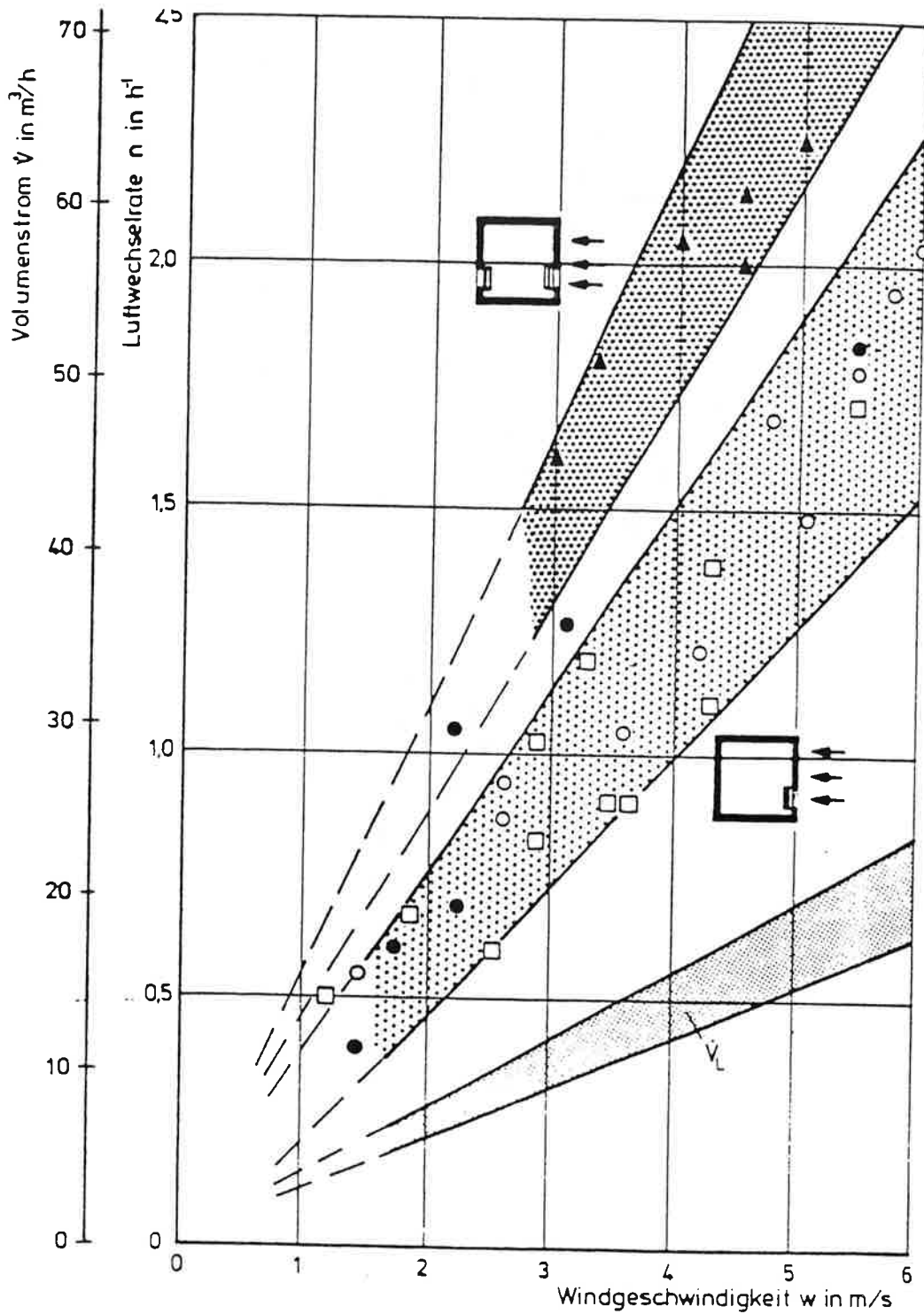
Freie Lüftung mit horizontalen Einzelöffnungen verschiedener Größe in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz bei Windgeschwindigkeiten $w \leq 1,5 \text{ m/s}$



- Zu- und Abluft mit je $A_f = 52 \text{ cm}^2$
- Vertikaler Einzelspalt $A_f = 104 \text{ cm}^2$
- \dot{V}_L Fugenlüftung
- Theoretisch + \dot{V}_L

Bild 13

Temperaturlüftung mit RLE in vertikaler Anordnung und im Zu- und Abluftsystem. Abhängigkeit des Luftdurchgangs von der Temperaturdifferenz bei Windgeschwindigkeiten $w < 1,5 \text{ m/s}$.



- ▲ gegenüberliegende Öffnungen je $A_{\text{F}}=52 \text{ cm}^2$
- einseitig übereinander je $A_{\text{F}}=52 \text{ cm}^2$
- einseitig vertikal $A_{\text{F}}=104 \text{ cm}^2$
- einseitig horizontal $A_{\text{F}}=104 \text{ cm}^2$
- v_L Fugenlüftung

Bild 14

Windabhängiger Luftdurchgang mit Öffnungen verschiedener Anordnung im Modellraum und jeweils gleicher Gesamtöffnungsfläche.

ner

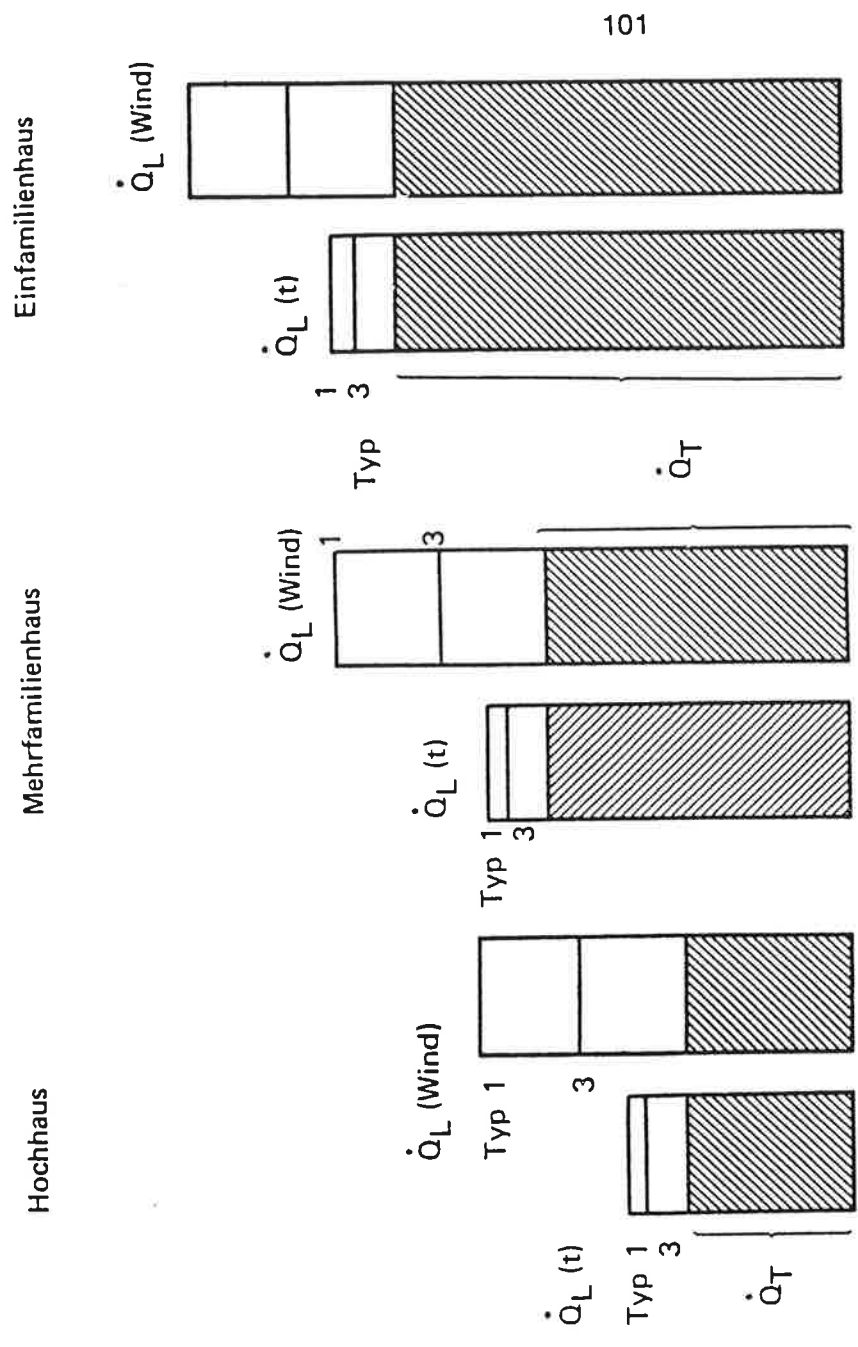


Bild 15 Gesamtwärmeverluste eines Standardraums bei Einbau spezieller Lüftungseinrichtungen

| | Fortluft-System | Außenluft-System | Außen- und Fortluft-System | Umluft-Systeme mit Außen- und/oder Fortluftförderung |
|--|-----------------|------------------|----------------------------|--|
| Zentralanlagen-System - Mehrfamilienhaus - | x | x | x | o |
| Zentralanlagen-System - Einfamilienhaus/ Wohnung - | x | x | x | x |
| Einzelgeräte-System - Einzelraum - | x | x | x | x |

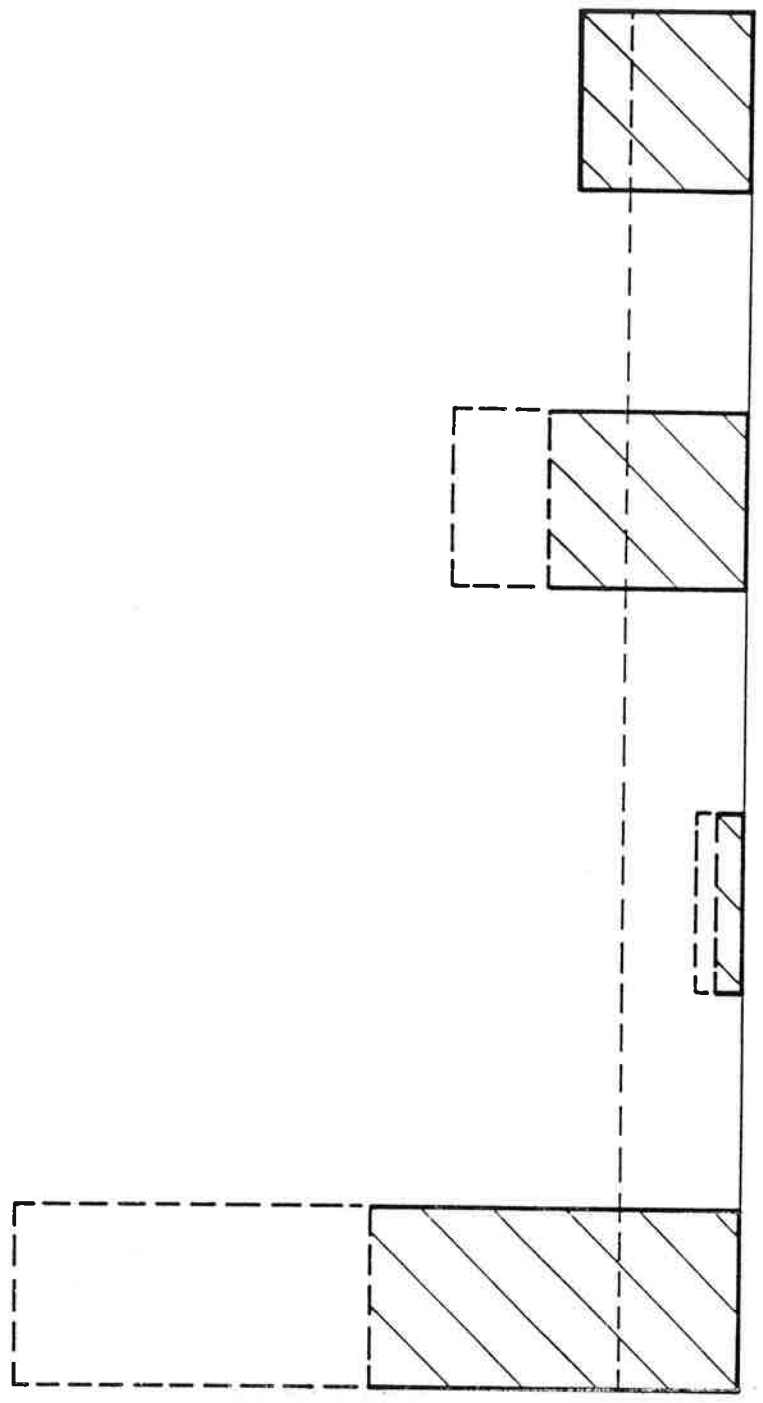
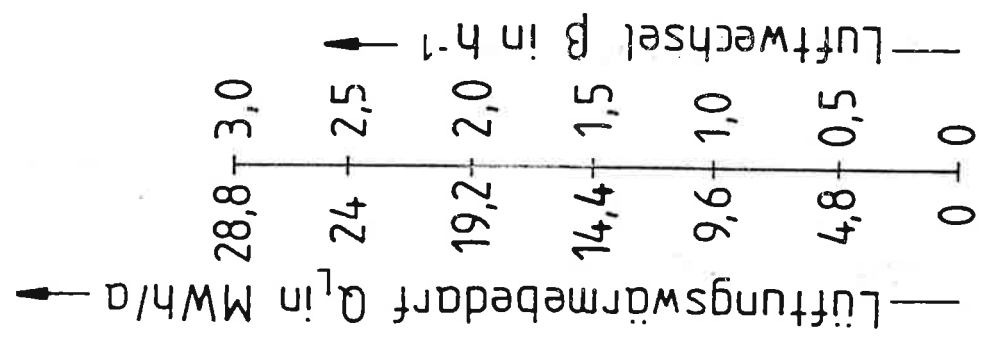
Bild 16 Einteilung in Haupttypen von Lüftungsanlagen im Wohnungsbau

x - möglicher Systemtyp
o - ausgeschlossen

| | Luftnach- bzw. Fortströmung | Rückgewinnung/Vermin- derung | Vorwär- mung | Wärmerückgewinnung aus der Fortluft | Rück- gewin- nung | Kombination Lüftung mit Luftheizung |
|---|-----------------------------|------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Fortluft- System | x | x | o | o | o | o |
| Außenluft- System | x | x | x | o | o | o |
| Außen- und Fortluft- System | o | o | x | x | x | o |
| Umluft- System mit Außen- und/ oder Fort- luft- förderung | x | x | x | x | x | x |

- x - mögliches Unterscheidungsmerkmal
o - ohne Bedeutung/nicht zutreffend

Bild 17 : Charakteristische Unterscheidungsmerkmale gleicher System-Haupttypen.
Zentralanlagen für Mehrfamilienhäuser bzw. Einfamilienhäuser/Wohnungen und Einzelgeräte sind dabei zusammengefaßt.



— Gebäudedichtheit —>

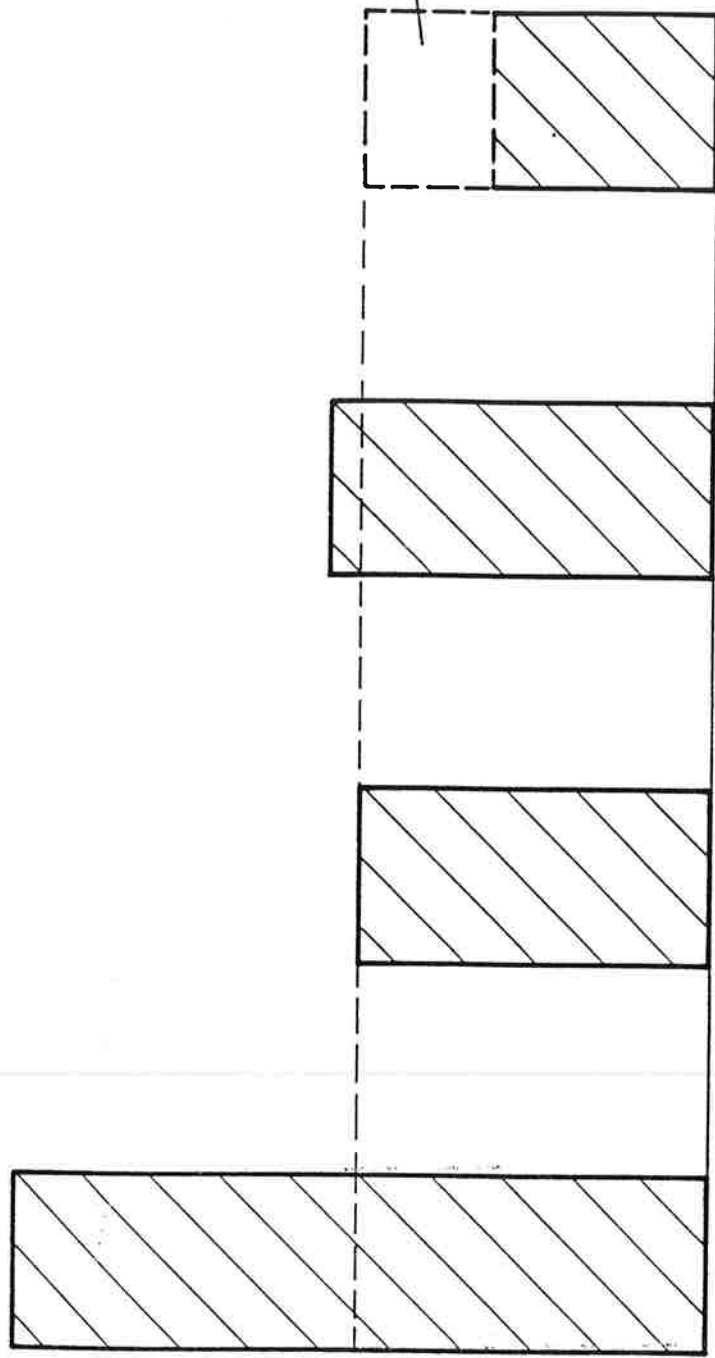
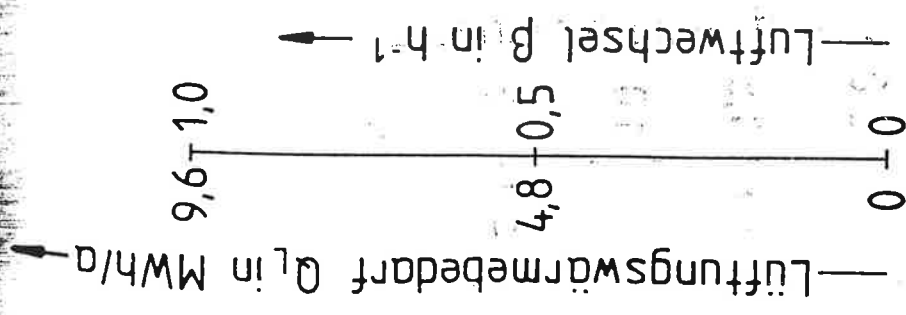
| undicht | dicht | dicht / mäßig dicht | dicht |
|---|--------------------------------------|------------------------|---|
| übermäßiges Fensteröffnen, Dauerlüftung | kein Fensteröffnen, nur Infiltration | normales Fensteröffnen | "Verbesserte" Verhaltensweise, evtl. Einsatz zusätzlicher Lüftungseinrichtungen |
| — Bewohnerverhalten bzgl. Fensterlüftung —> | | | |

Baderluftung

nur Infiltration

vermutlichweise, evtl. Einsatz zusätzlicher Lüftungseinrichtungen

Bewohnerverhalten bzgl. Fensterlüftung



Energie aus der Fortluft

— Gebäudedichtheit —>

dicht / mäßig dicht

dicht

mäßig dicht

dicht

-Referenzwert- „Normale Fensterlüftung“

Fortluft-anlage

Fortluft-anlage

Fortluftanlage mit Wärmepumpe zur Brauchwassererwärmung

— Art des Lüftungssystems —>

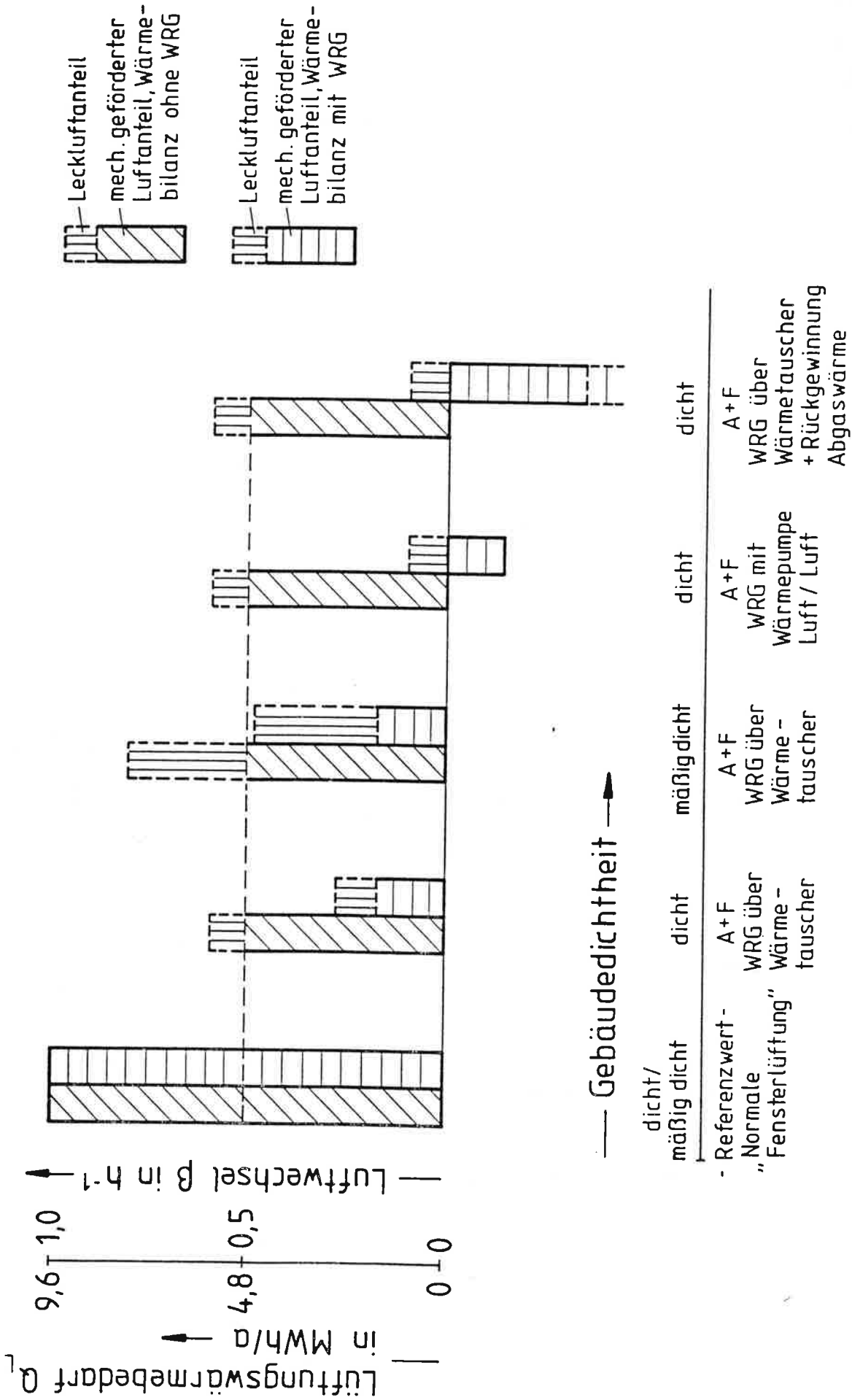


Bild 20

TEIL II. UNTERSCHIEDLICHE LÜFTUNGSSYSTEME IM VERGLEICH

Comparison of Different Ventilation Systems

ART des Lüftungssystems →

