

Das Porenlüftungssystem und seine Anwendung  
im Wohnungsbau

---

Dipl.Ing.Dr.techn. Helmut B a r t u s s e k , Irdning

1. EINLEITUNG

Das hier beschriebene neue System einer Belüftung von Aufenthaltsräumen durch luftdurchlässige flächige Bauteile (Wände, Decken), vom Verfasser 1979 "Porenlüftung" genannt, wurde seit 6 Jahren in erster Linie im Bereich des Stallbaues entwickelt und inzwischen auch an mehreren Einfamilienwohnhäusern realisiert. Die meisten Erfahrungen und Forschungsergebnisse liegen jedoch bei den Stallungen vor, sodaß vorwiegend das Thema anhand dieses Bereiches abgehandelt wird. Dies ist durchaus auch fachlich zu vertreten, da sowohl Bauphysik und Lüftungstechnik als auch die von den Systemen berührten Bereiche der Stoffwechsel- und Atemphysiologie sowohl bei den landwirtschaftlichen Nutztieren als auch beim Menschen grundsätzlich den selben Gesetzmäßigkeiten unterliegen. Ja, die Erfahrungen aus dem Stallbaubereich stellen für den Wohnbau sogar Ergebnisse mit besonders hoher Sicherheit dar, weil Schadstoff- und Wasserdampfbelastung der Konstruktionen und die notwendigen Luftwechselzahlen im Stall ein Vielfaches (bis hundertfaches!) von denjenigen im Wohnbau betragen. Nach kurzen Überlegungen zum Luftbedarf des Menschen und zur bisher üblichen Art, diesen Bedarf zu decken, werden daher das grundsätzliche Prinzip, die möglichen prinzipiellen Systeme, sowie die bauphysikalischen Besonderheiten der Porenlüftung vorerst an Beispielen aus dem Landwirtschaftsbau erläutert.

2. DER LUFTBEDARF DES MENSCHEN

Angesichts der Tatsache, daß Luft ein unentbehrliches Lebensmittel ist, gibt es in der Öffentlichkeit ein erstaunlich geringes Bewußtsein über die Problematik, die durch das neue Energiesparbewußtsein hervorgerufen wurde: Verringerung des Lüftungswärmebedarfes durch Abdichten von Fenster- und Türfugen - staatlich gefördert! - also durch eine Reduktion der Frischluftzufuhr, des stündlichen Luftwechsels, erhöht das Krankheitsrisiko durch

vermehrten Schadstoffgehalt in der Atemluft. Sicherlich ist das Dauerlüften von Aufenthaltsräumen durch Fensterfugen (Fugen zwischen Stock und Mauer, zwischen Stock und Flügel, zwischen Flügel und Glas) vom Prinzip her falsch: Der auf diese Weise zufällig erreichte Luftwechsel hängt nicht vom physiologischen Bedarf, sondern von Witterungsbedingungen ab. Dichte Fugen sind daher eine durchaus logische Konsequenz. Das empfohlene Stoßlüften ist jedoch zumindest während der Nacht nicht durchführbar - es müßte stündlich vorgenommen werden - und unterbleibt auch nur zu oft tagsüber. Außerdem erzeugt es Zugluft! Die notwendige Luftqualität bleibt auf der Strecke.

Für die Verschmutzung der Innenluft in Wohnräumen sind folgende Quellen verantwortlich:

- a) Der Mensch selbst durch seine Stoffwechselftigkeit, Geruchserzeugung, Rauchen, Verwendung oder Erzeugung von kontaminierenden Substanzen in der Haushaltsführung (Kochen, Reinigen, Pflegen usw.) oder beim Hobby.
- b) Die Innenausstattung der Räume (Oberflächen, Fußböden, Verkleidungen, Möbel usw.), die heute nicht selten bedenkliche Stoffe an die Innenluft abgeben.
- c) Die Baumaterialien selbst, die vor allem radioaktive Substanzen, Formaldehyd und verschiedene organische Stoffe abgeben können.

Tabellen 1 und 2 geben dazu einen Überblick:

Tabelle 1: Luftverunreinigungen in Gebäuden (nach HOLLOWELL et al; 1979 a,b, übersetzt vom Verfasser)

QUELLE	ART DER VERUNREINIGUNG
1. <u>AUSSEN</u> a) Umgebungsluft	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO Kohlenwasserstoffe, Staub
b) KFZ-Verkehr	CO, Pb

Fortsetzung Tabelle 1

QUELLE	ART DER VERUNREINIGUNG
2. <u>INNEN</u>	
a) BEWOHNER Stoffwechseltätigkeit	CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , Organische Stoffe Gerüche, Mikroorganismen
b) MENSCHLICHE TÄTIGKEITEN Rauchen	CO, NO <sub>2</sub> , HCN, Organische Stoffe, Gerüche
Sprays	Fluorkohlenstoffe, Vinylchlorid
Reinigungsprodukte	Kohlenwasserstoffe, Gerüche, NH <sub>3</sub>
Hobbies und Handwerk	Organische Stoffe
c) EINRICHTUNGEN Heizen und Kochen mit offenen Flammen	CO, SO <sub>2</sub> , NO, Stäube
Möbel	Organische Stoffe, Gerüche
Wasserversorgung, Erdgas	Radon
d) BAUMATERIALIEN Beton	Radon
Spanplatten	Formaldehyd
Dämmstoffe	Formaldehyd
Kleber	Organische Stoffe
Farben	Organische Stoffe, Quecksilber

Tabelle 2: Organische Luftverunreinigungen in Wohnungen nach HOLLOWELL et al. 1979 a, 6 (übersetzt vom Verfasser)

STOFF und STOFFGRUPPEN	GESUNDHEITLICHE AUSWIRKUNGEN	VORKOMMEN/GEBRAUCH
1,1,1-Trichlorethan	Verdacht auf krebs- erregende Wirkung	Sprays, Pestizide, Reinigungs- mittel
Trichlorethylen	krebs <sup>r</sup> erregend	Öl- und Wachslösungsmittel, in Reinigungsmitteln, dampf- entfettende Produkte, Trocken- reinigungsmittel
Toluol	Betäubungsmittel, Verdacht auf Anae- mieauslösende Wir- kung	Lösungsmittel, Nebenprodukt organischer Komponenten, in vielen Haushaltsprodukten vorkommend
Chlorbenzol	starkes Narkotikum, Erkrankungen von Lungen, Leber, Nieren	in verschiedenen organischen Lösungsmitteln, Farben, Pesti- ziden, Lacken, Polituren
Polichlorierte Biphenyle (PCB)	Verdacht auf krebs- erregende Wirkung	Weichmacher in Plastik- und Papierprodukten, Elektroin- stallation
C <sub>n</sub> Alkane N=5-16 C <sub>n</sub> Alkene N=5-16	narkotisierend, Ver- haltensstörungen	Lösungsmittel
Benzol	krebs <sup>r</sup> erregend, Er- krankungen des Atem- traktes	Plastik- und Gummi-Lösungs- mittel, in Farben und Lacken
Ethyl Benzol	greift Augen stark an	Lösungsmittel, in Styrol-ver- wandten Produkten
Xylol	Narkotikum, Verhal- tensstörungen, hohe Konzentrationen ver- ursachen Störungen und Erkrankungen von Herz, Leber, Nieren und Nervensystem	Lösungsmittel für Kleber, Lacke usw., Bleichungs <sup>m</sup> ittel
Styrol	Narkotikum, verur- sacht Kopfschmerzen, Müdigkeit, Depressio- nen, Verhaltensstö- rungen, Sehstörungen, Stupor	vielfach verwendet bei der Herstellung von Plastik, synthetischem Gummi und Kleber

Nach eingehendem Literaturstudium kommt BARTUSSEK (1981) zu nachfolgenden Empfehlungen für den Luftwechsel, um die vorgenannten Kontaminantien auf einem Konzentrationsniveau zu halten, das noch gesundheitlich vertreten werden kann. Je nach Quelle der Verschmutzung muß demnach zwischen personenbezogenen, raumbezogenen und verrichtungsbezogenen Frischluftströmen unterschieden werden und der jeweils größte dieser 3 Arten sichergestellt sein:

a) Raumbezogener Luftwechsel (LW in 1/h)

- bei vorwiegender Verwendung von stärker radioaktiven Baumaterialien, Spanplatten, Kunststoffen, Kunstfasern und bedenklichen Hilfsmitteln im Haushalt:  $LW \geq 0,8$
- bei vorwiegender Verwendung neutraler Materialien (schwach radioaktive Baustoffe, unbehandeltes Holz, Naturfasern, unbedenkliche Wasch- und Hilfsmittel im Haushalt):  $LW \geq 0,4$

b) Personenbezogene Luftraten (L in  $m^3/h$ , Person)

- im Ruhezustand (Schlafräume):  $L \geq 20$
- bei leichter Hausarbeit (Wohnräume):  $L \geq 30$
- bei Rauchern :  $L \geq 40$

c) Verrichtungsbezogene Luftraten (L in  $m^3/h$ )

- in Küchen mit Gasherden, während der Benützung mit Direktabsaugung über dem Herd:  $L \sim 300 m^3/h$
- in Küchen mit Elektroherden:  $L \sim 200 m^3/h$
- in Bädern während der Benützung:  $L \sim 60 m^3/h$
- in WCs während der Benützung mit Direktabsaugung aus Muschel:  $L \sim 30 m^3/h$

Die verrichtungsbezogenen Luftraten können bei Nachströmung aus dem restlichen Wohnverband auf den allgemeinen Luftwechsel nach a) oder b) angerechnet werden.

Einer  $100 m^2$ -Wohnung z.B. müssen daher je nach Art der Ausstattung etwa 100 bis  $200 m^3$  Frischluft stündlich und kontinuierlich zugeführt werden und zwar derart, daß keine Zugluft entsteht.

### 3. DER NATÜRLICHE LUFTWECHSEL DURCH GESCHLOSSENE FENSTER

Druck- und Sogkräfte an Gebäuden infolge von Wind und Thermik führen zu einem Raumlftwechsel durch Undichtheiten des Bauwerkes, in erster Linie durch Fugen bei beweglichen Teilen (Fenster, Türen) und Anschlußfugen verschiedener Bauteile. Eine Abschätzung der wirksamen Druckkräfte, sowie die wenigen durchgeführten Messungen zeigen, daß schon vor der Energiekrise 1973, da Fenster in aller Regel noch keine dauerelastischen Fugenabdichtungen aufwiesen, Luftwechselzahlen bei geschlossenen Fenstern über 0,3 (1/h) äußerst selten vorkamen (siehe hierzu: BARTUSSEK, 1981, Seiten 12 bis 16). Seit 1973 hat sich die Situation bedeutend verschärft, da inzwischen nicht nur gut dichtende Fenster üblich geworden sind, sondern auch mit dem Öffnen der Fenster im Winter sparsamer umgegangen wird. Man muß feststellen, daß eine ausreichende Frischluftversorgung im Winter bei üblichen Wohnbauten heute nicht mehr sichergestellt ist.

### 4. DIE SOG. "ATMUNGSFÄHIGKEIT" VON BAUSTOFFEN

In Bauzeitschriften, Prospekten und Fachbüchern wird immer noch von "atmungs-fähigen" Baustoffen gesprochen, ohne daß diese Eigenschaft näher definiert wird. Gar nicht selten wird der Begriff sogar mit angeblich möglichen Gas-austauschvorgängen durch Wände und Decken verknüpft, durch die eine wirksame Raumlüftung möglich sein soll. In diesem Zusammenhang wird meistens dem Holz, dem gebrannten Tonziegel und dem Kalkmörtel gegenüber anderen Materialien der Vorzug gegeben. Hier herrschen völlig falsche Vorstellungen, die auf Arbeiten von PETTENKOFER im vorigen Jahrhundert (1858, 1872) zurückgehen, aber durch exakte Versuche durch RAISCH (1928) und RAISCH und STEGER (1934) schon vor einem halben Jahrhundert korrigiert wurden! Warum sie sich auch heute noch in der Literatur finden, kann sachlich nicht begründet werden.

Der nebulösen Qualität "Atmungs-fähigkeit" können 3 genau definierte bauphysi-kalische Begriffe zugeordnet werden:

- a) Luftdurchlässigkeit ermöglicht den Transport von Luft durch Bauteile als Folge von unterschiedlichem Gesamtluftdruck zu beiden Seiten des jeweiligen Bauteiles. (Druckdifferenzen infolge von Wind, Thermik oder mechanischen Maßnahmen). Sie ist bei allen heute üblichen Wand- und Deckenbaustoffen,

also auch bei Vollholz, Ziegel, Putzen, Papiertapeten usw. derart gering, daß sie für eine Raumlüftung nicht in Frage kommen.

- b) Diffusion von Gasen durch Bauteile beschreibt den molekularen Stofftransport als Folge von Partialdruckdifferenzen verschieden zusammengesetzter Luft bei gleichem Gesamtluftdruck zu beiden Seiten des Bauteiles. Bei Einhaltung zulässiger Schadgaskonzentrationen (z.B.  $\text{CO}_2 < 0,1 \text{ Vol\%}$ ) im Rauminnen bleiben die wirksamen Partialdruckdifferenzen so gering, daß auch bei sehr "diffusionsfreudigen" Baustoffen ein Stofftransport in ausreichender Menge bei weitem nicht gegeben ist. Sogar für die Abfuhr von physiologisch bedenklichem Wasserdampf aus der Ausatmung hat die Diffusion praktisch keine Bedeutung, obwohl hier im Winter nicht geringe Partialdruckdifferenzen zwischen innen und außen bestehen. Wie KÜNZEL (1970) zeigen konnte, beträgt die durch Diffusion aus einem Wohnraum mit Ziegelwänden abtransportierte Feuchtigkeitsmenge bei winterlichen Außentemperaturen nur 1 - 2 % der durch den notwendigen 0,8-fachen Luftwechsel abgeführten Menge.
- c) Adsorption und Desorption bezeichnen die Aufnahme und Abgabe gasförmiger Substanzen in der Grenzschicht einer raumbildenden Oberfläche als Folge steigender und fallender Stoffkonzentrationen in der Raumluft. Diese Stoffeigenschaft z.B. von Holz, Gips, Papiertapeten, Naturfasern usw. führen zu einer Pufferung bei stoßweise anfallenden Schadgasen oder Wasserdampf und damit zu einer sicherlich vorteilhaften Stabilisierung der Raumluftverhältnisse bei instationären Zuständen. Zum kontinuierlich nötigen Luftwechsel tragen diese Eigenschaften nichts bei.

Diese Klärung schien notwendig, da hier immer noch Konfusion herrscht. Die Forderung nach angeblich "atmenden" Holz- oder Ziegelwänden zum Zwecke der Lufterneuerung in Räumen hat keine berechtigte sachliche Begründung! (Vollholz-Blockhäuser, wenn sie nicht außen oder innen luftdicht verkleidet sind, zeigen jedoch einen relativ starken Luftwechsel, da es offenbar nicht möglich ist, die immer arbeitenden vielen Fugen sicher abzudichten. Der so erreichte Luftwechsel ist jedoch mit dem gleichen Mangel behaftet wie die Dauerlüftung durch undichte Fensterfugen: Bei Windstille zu wenig Luft, bei stärkerem Wind zuviel Wärmeverluste).

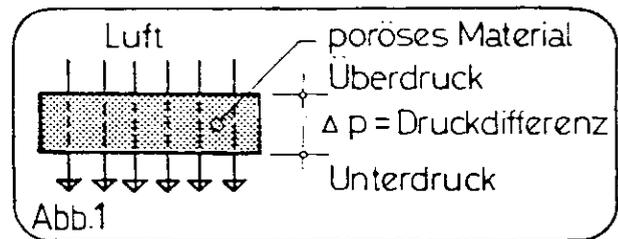
## 5. DIE ENTWICKLUNG DER PORENLÜFTUNG IM STALLBAU

Nach wertvollen Vorarbeiten in Kanada (PATTIE, 1965, 1966, 1967) begann der Norweger GRAEE gezielt luftdurchlässige Decken zur Belüftung von Ställen zu entwickeln (GRAEE, 1970, 1972, 1974). Der Verfasser wurde mit diesen Arbeiten bekannt, nachdem er selbst in Laborversuchen die Prinzipien erarbeitet, ein Versuchswohnhaus realisiert und die Luftdurchlässigkeit vieler Baustoffe gemessen hatte (BARTUSSEK, 1976). Durch den ausländischen Erfahrungshintergrund gelang der Sprung in die landwirtschaftliche Praxis und die rasche Weiterentwicklung der Systeme für Stall- und Wohnraumlüftung (BARTUSSEK, 1977, 1979, 1980 a,b,c,d, 1981; BARTUSSEK u. HAUSLEITNER, 1979). 1980 publizierten die Schweden eine mathematische Theorie luftdurchlässiger Konstruktionen (NIMMERMARK, DOLBY und SÄLLVIK, 1980).

### 5.1. Funktionsprinzip

Durch luftdurchlässige Bauteile wandert Luft, wenn auf beiden Seiten der Schicht eine Druckdifferenz ( $\Delta p$ ) besteht (Abb. 1). Bei den allermeisten für derartige

Konstruktionen brauchbaren Materialien ist der Luftdurchgang direkt proportional zur wirksamen Druckdifferenz. Es sollten möglichst große Flächen der



raumumschließenden Oberflächen (am besten geeignet sind die Deckenflächen) in das System einbezogen werden. Das System gewährleistet absolute Luftruhe im zu belüftenden Raum. Mit Ausnahme eines sehr engen Bereiches unmittelbar vor der Absaug- bzw. Abluftöffnung bewegt sich im ganzen Raum die Luftgeschwindigkeit ausschließlich in dem geringen Bereich, der durch die natürlichen Konvektionsströme über den Tieren (und über eventuellen Heizflächen) auftritt (Abb. 2).

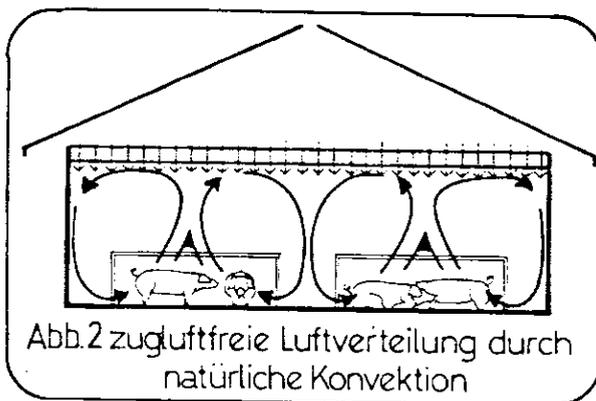


Abb. 2 zugluftfreie Luftverteilung durch natürliche Konvektion

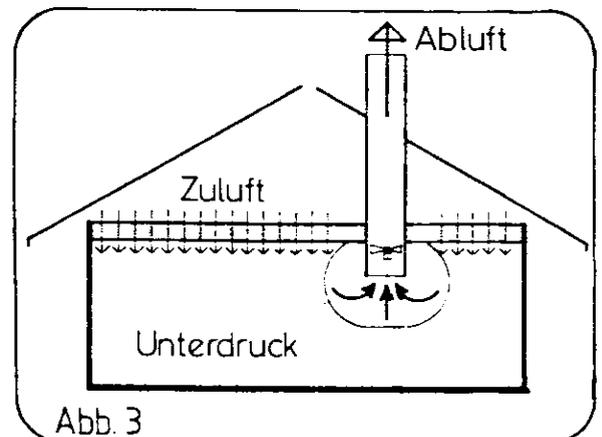
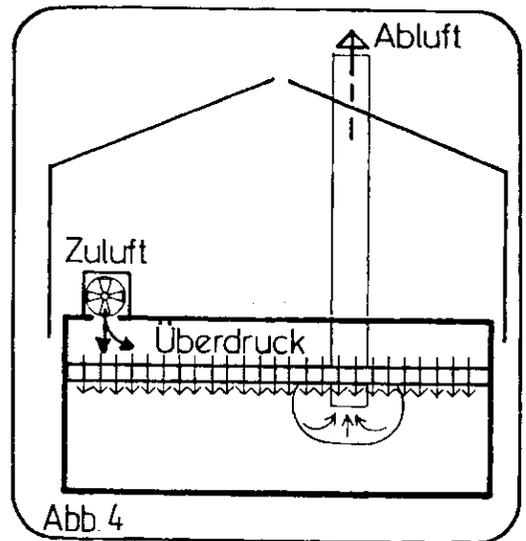


Abb. 3

Zur Erzeugung der notwendigen Druckdifferenzen sind grundsätzlich sowohl Unterdruck-, Überdruck- als auch Gleichdrucksysteme möglich. Bei einigermaßen dichten Fenstern, Türen und Abwasserableitungen sind Unterdrucksysteme am leichtesten und einfachsten zu realisieren und funktionieren überdies bei entsprechenden Bedingungen auch mit Schwerkraft (Abb. 3). Bei vorhandenen oder geplanten Massivdecken (deckenlastige Lagerung, Feuerschutz) sowie bei sehr undichten übrigen Öffnungen (Altbausanierung) ist ein Überdrucksystem entsprechend Abb. 4 vorzusehen.



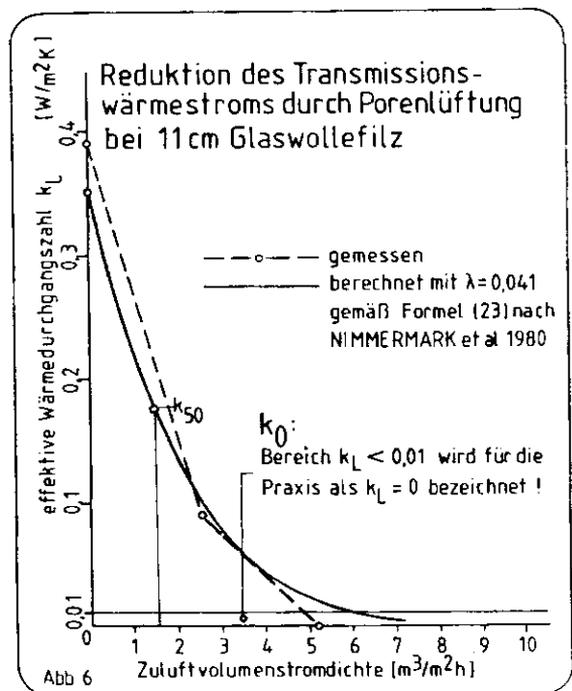
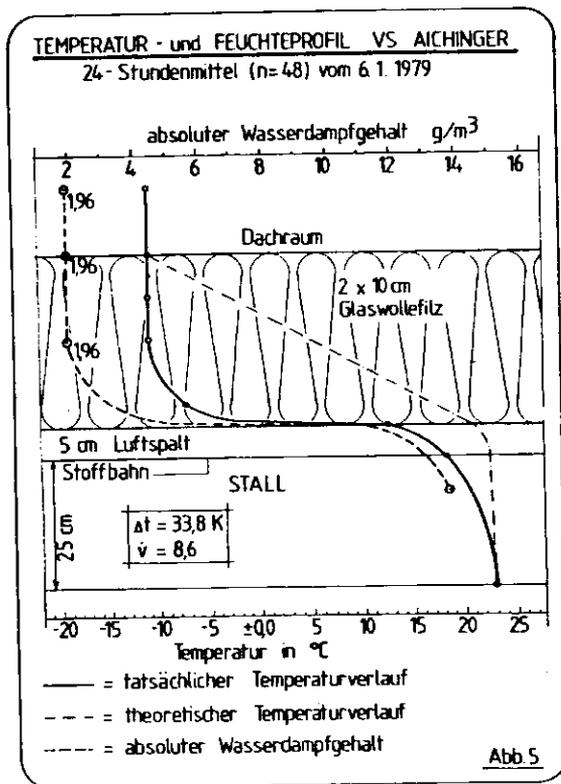
## 5.2. Materialien

Für Porenlüftungssysteme eignen sich prinzipiell alle offenporigen Bau- und Dämm-Materialien, wobei zur Erzielung eines gleichmäßigen Luftdurchganges eine entsprechende Feinporigkeit notwendig ist. Exakte Meßergebnisse über die Luftdurchlässigkeit (Luftleitzahl, Luftdurchgangszahl) von rund 100 Materialien liegen vor. Am besten geeignet sind lose Schüttungen (Sägespäne, Perlite lose, Leca oder Korkschröt lose) sowie Mineralfaser- und Kokosfasermatten oder -platten. Sie müssen auf bzw. zwischen luftdurchlässigen Tragschichten aufgelegt oder aufgeschüttet werden. Dazu eignen sich am besten mineralisierte Holzwolleplatten, aber auch Sparschalungen, Gitter usw.

## 5.3 Bauphysik

Der Luftdurchgang von der kalten zur warmen Seite bewirkt eine Reduktion bis Verhinderung des Transmissionswärmestromes, da gleichsam wie in einem Wärmetauscher die Transmissionswärme von der hereinströmenden Frischluft aufgenommen wird. Dadurch wird die Zuluft selbsttätig vorgewärmt. Das Ausmaß der Reduktion des Transmissionswärmeverlustes sowie der Zuluftvorwärmung hängt von der Wärmeleitzahl des luftdurchlässigen Materials, der

Schichtdicke desselben, sowie der Zuluftvolumenstromdichte ( $\dot{v}$ ) ab. Abb. 5 zeigt den Temperaturverlauf in der Decke eines Schweinestalles bestehend aus 20 cm Mineralfasermatten auf Drahtgitter mit untergespannter Stoffdecke bei  $8,6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  Frischluftzufuhr von oben nach unten. Im oberen Zweidrittel bis Dreiviertel der Decke besteht kein Temperaturgradient und deshalb auch kein Wärmestrom nach außen. Die Zuluft wird beträchtlich vorgewärmt. Abb. 6 zeigt die Reduktion des effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  von 11 cm Glaswolle in Abhängigkeit von der Volumenstromdichte. Die strichlierte Kurve zeigt unsere Meßergebnisse aus Modellmessungen.



Die ausgezogene Kurve ergibt sich aus der schon erwähnten von NIMMERMARK, DOLBY und SÄLLVIK (1980) veröffentlichten Theorie. Bei einer Volumenstromdichte von rund  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  tritt kein Transmissionswärmeverlust mehr auf.

Abb. 7 zeigt die Bedingungen (Schichtdicke und Zuluftvolumenstromdichten) für Materialien von verschiedener Wärmeleitfähigkeit, bei denen der effektive Wärmedurchgangskoeffizient praktisch Null wird ( $k_L < 0,01 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ).

Der Luftdurchgang reduziert nicht nur den Transmissionswärmestrom sondern auch die Wasserdampfdiffusion. Der Luftdurchgang wirkt quasi wie eine Dampfsperre. In Abb. 5 zeigen die Meßergebnisse des absoluten Wasserdampfgehaltes, daß noch in der Stoffmitte die gleichen Wasserdampfkonzentrationen herrschen wie im darüberliegenden Dachraum, aus dem die Luft geholt wird. Nachdem das luftdurchlässige Dämm-Material an sich keinerlei Diffusionswiderstände aufweist und zudem keine Dampfbremsen eingebaut sind (sie würden als Luftsperrern den Luftdurchgang verhindern), andererseits im Charakter des Kurvenverlaufes aus Abb. 5 die Wirkung einer Dampfsperre abgelesen werden kann, ist diese Wirkung dem Luftdurchgang zuzuschreiben. Dies ist auch theoretisch verständlich, da die Wanderungsgeschwindigkeit der hereinströmenden Luft größer als die Diffusionsgeschwindigkeit der Wasserdampfmoleküle (ohne Konvektion) ist. Seit sechs Jahren konnte in keinem der rund 100 Stallungen mit luftdurchlässigen Decken Kondenswasserausfall beobachtet werden, solange das vorgesehene Lüftungsprinzip aufrecht erhalten bleibt. Bei Umkehr der geplanten Strömungsrichtung, d.h. wenn warme, feuchte Stall-Luft durch die Decken nach außen wandert (z.B. bei offenen Türen während der Fütterungszeit oder bei Desinfektionsmaßnahmen) kann es zu geringfügiger Kondenswasserbildung auf der oberen Grenzschichte des Wärmedämmpaketes kommen. Die für die entsprechende Nachströmung der Frischluft sowie notwendigen Hinterlüftungsquerschnitte der Dachräume führen zu einem sehr raschen Abtrocknen jeder Feuchtigkeit. Irgendwelche schädlichen Auswirkungen konnten in keinem Fall beobachtet werden.

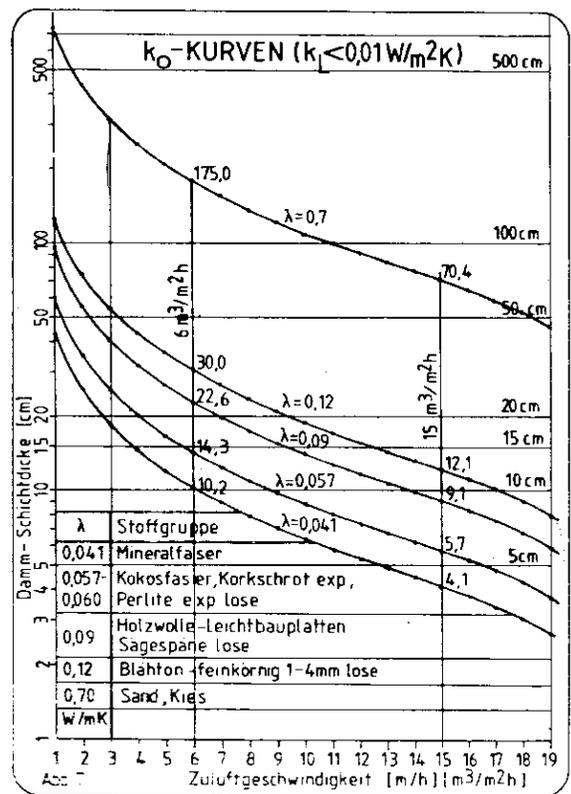
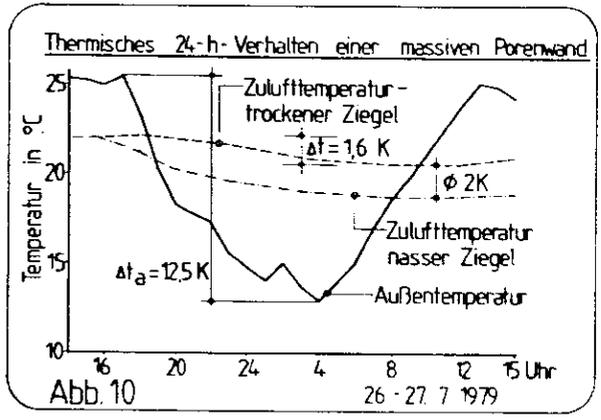
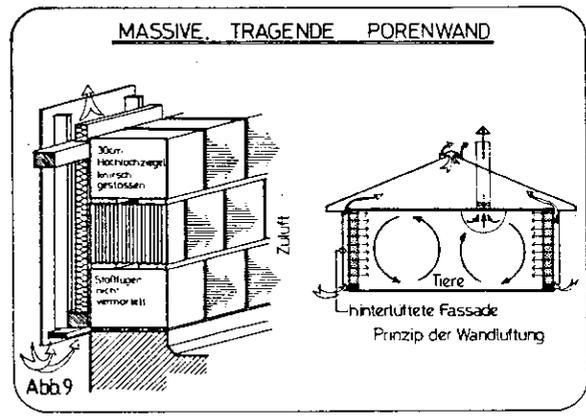
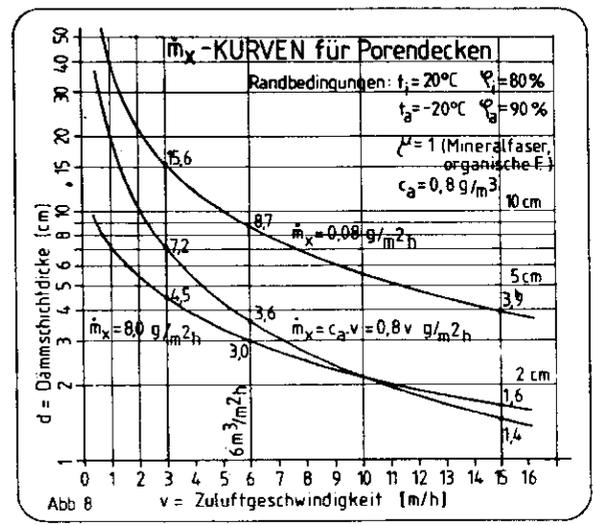


Abb. 8 zeigt die Randbedingungen (Schichtdicken und Zuluftvolumenstromdichten), bei denen Kondenswasserausfall mit Sicherheit vermieden wird. Der Verlauf der mittleren Kurve zeigt die Bedingungen, unter denen der Nettowasserdampf-Transport in der Decke gleich Null ist. Die Diffusionsstromdichte ( $\dot{m}_x$ ) von innen nach außen ist in diesem Fall gleich groß wie der Wasserdampftransport infolge Lüftung von außen nach innen. Die dazu gewählten Randbedingungen der Innen- und Außenklimate sind Extremwerte, sodaß die Anwendung dieser Kurve in der Praxis auf jeden Fall Kondenswasserausfall mit Sicherheit verhindert. Abb. 9 zeigt das Prinzip einer luftdurchlässigen Massivwand. Dabei wird eine konventionelle Wand aus Hochlochziegeln nicht verputzt. Die Stoßfugen sind knirsch gestoßen. Außen ist eine luftdurchlässige Wärmedämmschichte sowie eine winddichte Fassade derart angebracht, daß im Sockelbereich bei Windstaudruck einströmende Luft über den Dachraum auf die Leeseite strömen kann und auf die eigentliche luftdurchlässige Fläche keinen Staudruck bewirkt. Die Luft strömt infolge des Unterdruckes im Stall durch die Mineralfaserplatten (Wärmetauschschicht) und durch den offenen Stoßfugenraster ins Stallinnere. Bei derartigen Konstruktionen, wobei z.B. auch haufwerksporige Betone verwendet werden können, kann die Wärmespeicherkapazität der Massivbauweise dazu genutzt werden, die Zuluft für den Sommerlüftungsfall kostenlos zu konditionieren. Abb. 10 zeigt ein diesbezügliches Meßergebnis an einer derartigen



Wand in einem Mastschweineestall bei einer durchschnittlichen Zuluftvolumenstromdichte von  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ . Während die Außenluft im Schatten etwa zwischen 13 Grad in der Nacht und 27 Grad am frühen Nachmittag schwankt, pendelt die Temperatur der an den Stoßfugen hereinströmenden Luft nur zwischen 20,5 und 22 Grad Celsius. Im Wohn- oder Bürobau müssen derartige Wände innen entsprechend luftdurchlässig verkleidet und können nicht mit Schränken verbaut werden.

#### 5.4. Konstruktive Hinweise

Windstaudruck muß von luftdurchlässigen Flächen immer mit Sicherheit abgehalten werden; unter leichten Dächern übernimmt die Dachhaut diese Aufgabe, wenn neben entsprechenden Öffnungen an der Traufe auch durchgehende offene Firste vorhanden sind. Entsprechende Windabweiser vor den Firstöffnungen erzeugen bei jeder Strömungsrichtung zusätzlich Sog und verbessern dadurch die Luftabfuhr aus dem Dachraum, was vor allem für die sommerliche Entwärmung von ausschlaggebender Bedeutung ist. In den vom Verfasser herausgegebenen Veröffentlichungen finden sich zahlreiche konkrete Angaben zur Ausführung luftdurchlässiger Decken und Wände, sowie zur Ausbildung der entsprechenden Hinterlüftungsdetails (siehe Quellennachweis).

#### 5.5. Nachteil

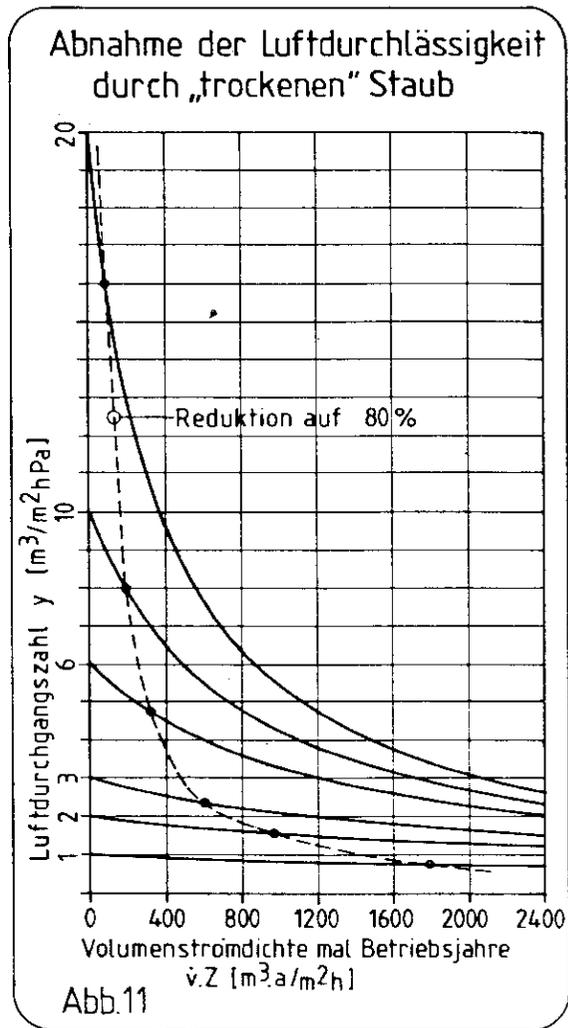
Luftdurchlässige Flächen wirken als Staubfilter. Einerseits wird dadurch dem Raum zwar reinere Außenluft zugeführt, andererseits nimmt die Luftdurchlässigkeit durch die Staubanlagerung mit der Zeit ab. Abb. 1 zeigt die Abnahme der Luftdurchgangszahl  $\gamma$  durch die Anlagerung von Staub,<sup>\*)</sup> wie er im ländlichen Raum vorhanden ist ("trockener" Staub von Staubstraßen, Feldern, Heu usw.) in Abhängigkeit von Volumenstromdichte und Betriebsdauer. Auf der Waagrechten ist das Produkt von Volumenstromdichte ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$ ) und Betriebsjahren angegeben. Bei einer durchschnittlichen Volumenstromdichte von z.B.  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  (wie dies bei Wohnräumen größenordnungsmäßig etwa dem Jahresschnitt entspricht) bedeutet also ein Wert von 400 auf der Waagrechten eine Betriebsdauer von 80 Jahren. Die Reduktion der Luftdurchlässigkeit hängt gemäß Abb. 11 sehr stark von der ursprünglichen Luft-

---

\*) Versuche in unmittelbarer Nähe starker Staubquellen (Heuboden, Straße)

durchgangszahl  $y$  des reinen Materials ab. Wird von vornherein bei der Planung des Systems von verhältnismäßig geringen Luftdurchgangszahlen und geringen Volumenstromdichten (möglichst große Teile der raumumschließenden Oberflächen sind dazu in das System einzubeziehen), so spielt die Verstaubung praktisch keine Rolle. Eine Verringerung des Luftdurchganges auf etwa 80 % (strichlierte Kurve der Abb. 11), die alleine schon durch immer vorhandene Fugen kompensiert wird, tritt dann erst nach vielen Jahrzehnten ein. Die Zusammenhänge aus Abb. 11 wurden aus eigenen Versuchsergebnissen abgeleitet<sup>\*)</sup>

und zeigen, daß vor allem bei Betriebsgebäuden mit geringen luftdurchlässigen Flächen (streifenförmige Kanäle usw.), wie sie bei der nachträglichen Sanierung von vorhandenen Stallungen gerne ausgeführt werden, die Verstaubung relativ rasch zu einer spürbaren Verringerung der Luftleistung führen kann. Gerade bei geringen Flächen sind hohe Volumenstromdichten, und zur Niedrighaltung der Druckdifferenzen daher auch hohe Luftdurchgangszahlen notwendig, wodurch sich die Faktoren, die zu einer raschen Reduktion des Luftdurchlasses führen, addieren. In diesem Fall sind Konstruktionen zu wählen, die verhältnismäßig einfach ausgetauscht oder gereinigt werden können. Bei rußigem Staub aus Ölheizungen und Industrien, wie er in Ballungsräumen vorkommt, könnte die Luftdurchlässigkeit eventuell rascher abnehmen. Dazu liegen dem Verfasser jedoch keine eigenen Meßergebnisse vor.



<sup>\*)</sup> Versuche in unmittelbarer Nähe starker Staubquellen (Heuboden, Straße)

## 6. ANWENDUNG IM WOHNBAU

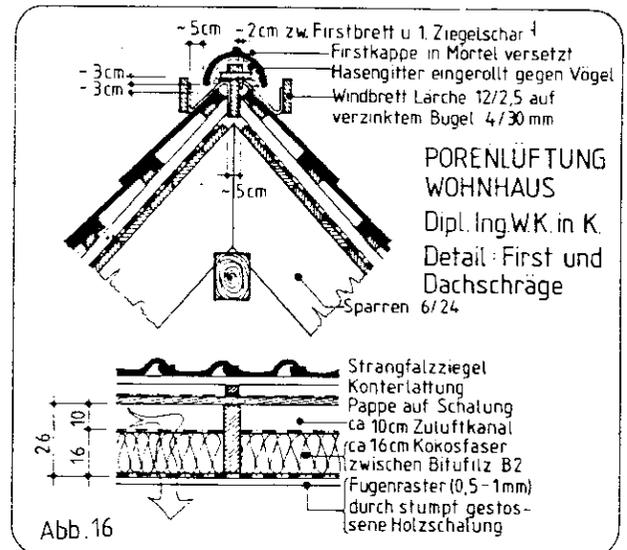
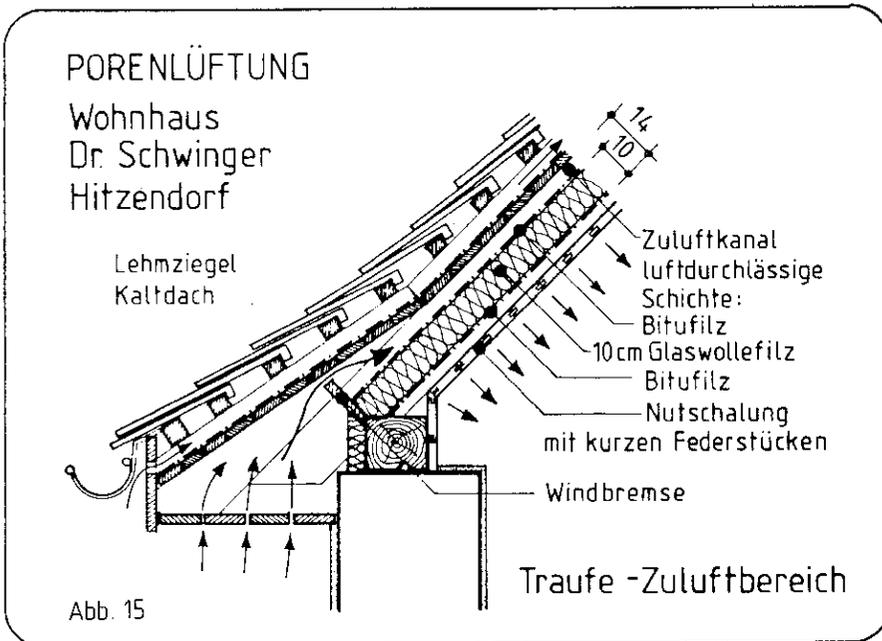
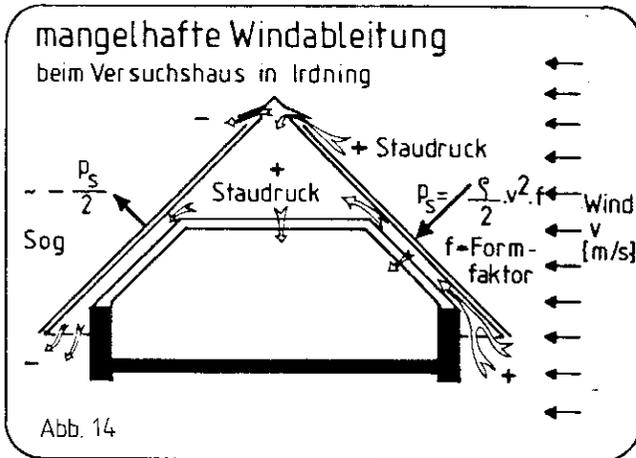
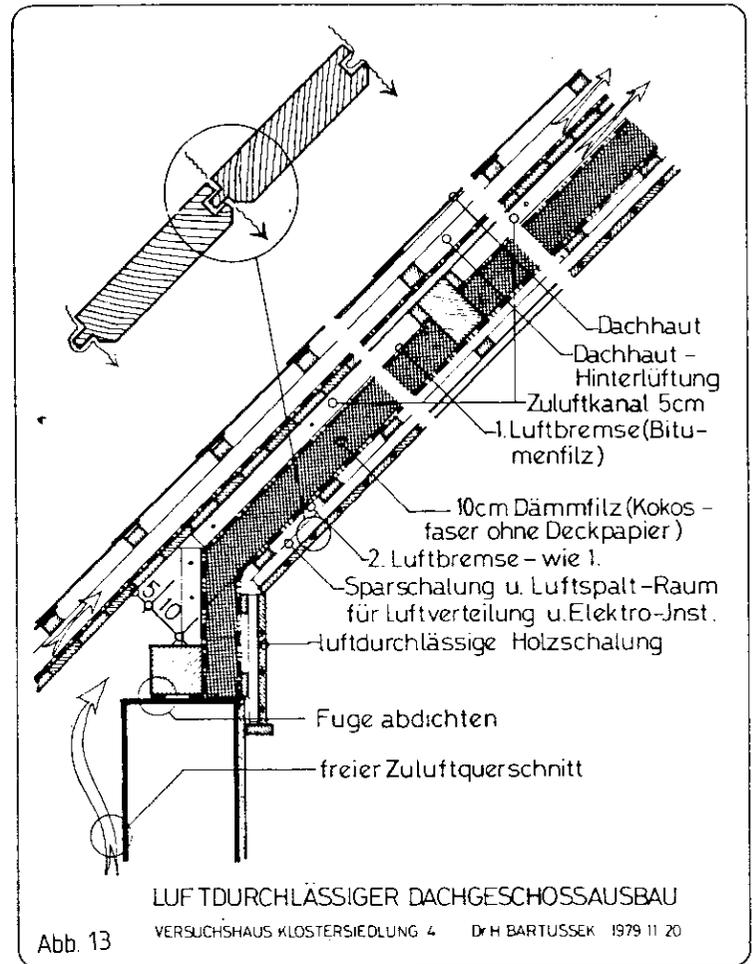
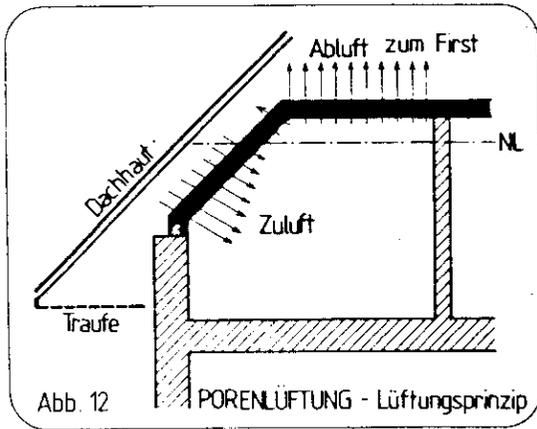
Am einfachsten läßt sich das Porenlüftungsprinzip beim Dachgeschoßausbau realisieren, da die Tragkonstruktion (Dachstuhl) dafür bestens geeignet und eine windabweisende Vorsatzschale in Form der Dachhaut ohne Mehrkosten bereits vorhanden ist. Mehrjährige Versuche haben gezeigt, daß es beim Wohnbau (im Gegensatz zu Viehstallungen) durchaus möglich ist, nicht nur die Frischluft durch Porenflächen herein, sondern auch die Abluft durch luftdurchlässige Flächen hinauszulassen. Kondensation in den Abluftflächen kann sicher vermieden werden, wenn:

- die Massenstromdichte des Wasserdampfes durch die Abluftführung  $8 - 10 \text{ g/m}^2 \text{ h}$  nicht übersteigt, und
- die Dach- oder Hohlräume, in die die Abluft entweicht, bestens hinterlüftet werden (durchgehende Trauf- und Firstöffnungen!) und hygroskopische Materialien enthalten (Holz, Holzwerkstoffe als Wasserdampfpuffer).

Auch die Abluftführung durch Porenflächen verringert deren Transmissionswärmeverluste bis zu 50 %.

Wird Zu- und Abluft durch Porenflächen geführt, müssen diese Höhenunterschiede aufweisen, da sonst keine Thermosiphonwirkung zustande kommt. Derartige Systeme können nicht gesteuert werden und müssen daher für mittlere Winterverhältnisse berechnet und ausgelegt sein. Wird es im Freien wärmer, verringert sich die Frischluftzufuhr und umgekehrt. Werden Räume oder ein Raumverband mit Abluftschornsteinen und Drosselklappen versehen, so kann die Lüftung derart gesteuert werden, daß bis zu einer minimalen Temperaturdifferenz zwischen außen und innen die Luftvolumenströme weitgehend konstant gehalten werden können.

Im Einfamilienhausbau wurden bisher mehrere Dachgeschosse mit Porenlüftung gemäß Abb. 12 ausgestattet. Abb. 13 zeigt den konstruktiven Aufbau. Beim ersten Versuchshaus wurde zuwenig auf Windeinflüsse geachtet. Die Trauföffnungen waren zu groß; die Firstöffnungen bestanden aus konventionellen Lüftungssteinen. Wie aus Abb. 14 ersichtlich, führte dies zu Staudruck an den Porenflächen und damit zu unkontrollierter Lüftung. Abb. 15 und 16 zeigen wesentlich verbesserte Details: Luftbremsen im Traufbereich; offener First mit sogerzeugenden Windabweisern. Für die offenen Firste existieren gut funktionierende Details bei Dächern aus Well- und Platteneternit und Ziegel. In Flugschnee-gefährdeten Gebieten (niederösterreichischer Windgürtel) gewährleisten die Windabweiser keinen ausreichenden Schutz

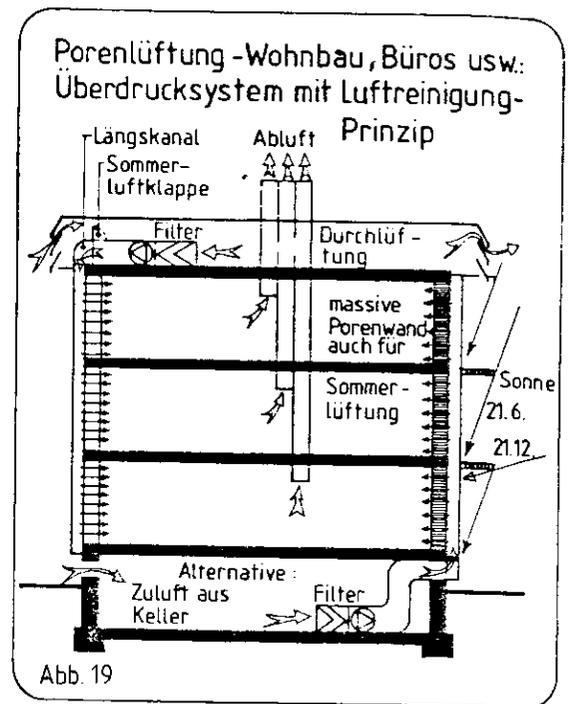
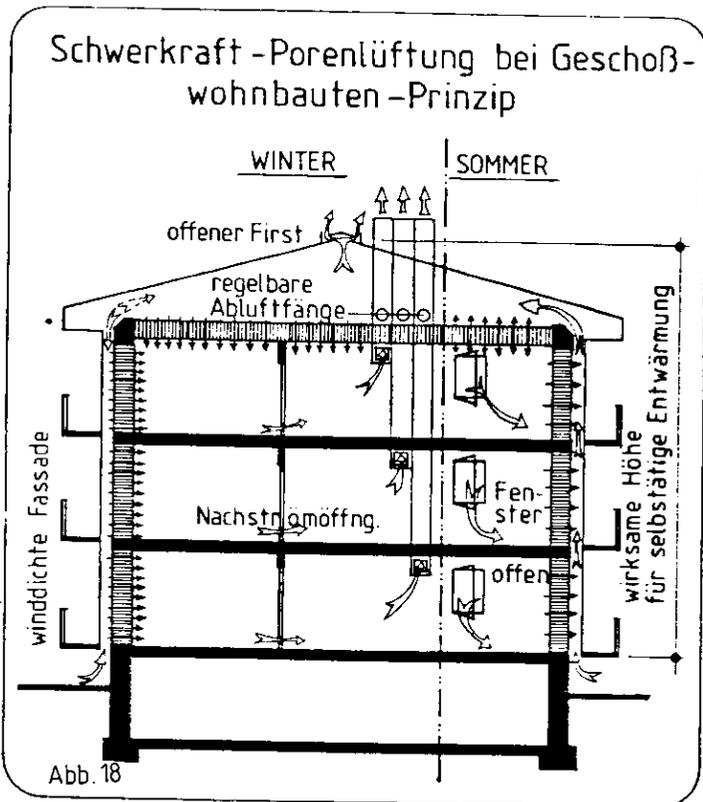
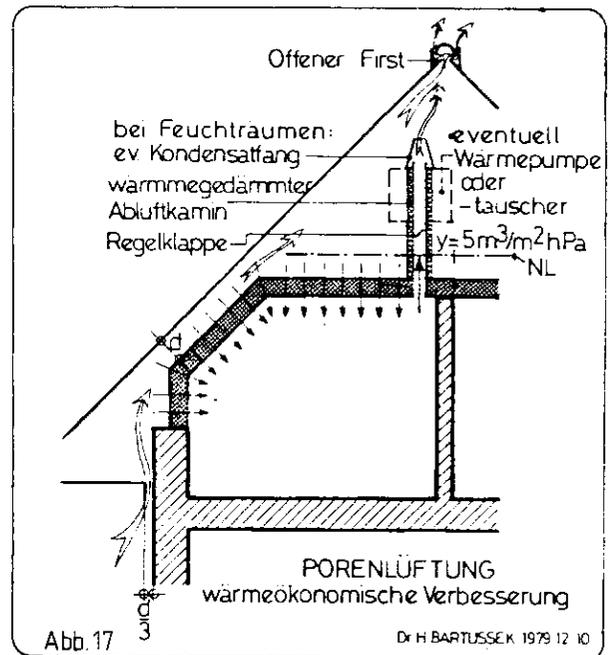


gegen Schnee-Eintrag. Wir empfehlen die Einlage eines entsprechend breiten und 3 cm dicken Kokosfaserstreifens. Er ist für den Normal-Lüftungsfall ausreichend luftdurchlässig und verhindert weitestgehend den Flugschnee-Eintrag.

Als luftdurchlässige Holzverkleidung innen haben sich stumpf gestoßene Bretter (Abb. 16) oder beidseitig genutete Bretter mit kurzen Fremdfederstücken (Abb. 15) besser bewährt als die in Abb. 13 gezeigte Schalung mit breiter Nut. Letztere gewährleistet keinen gleichmäßigen Luftdurchgang. Aus Feuerschutzgründen ist auch die Verwendung von Steinwolle als Füllung sowie von Heraklith (nicht verputzt) als Zwischenschicht möglich.

Abb. 17 zeigt eine Verbesserung des Systems mit Abluftrohr. Mittels Regelklappe kann die Lüftrate auch bei stark wechselnden Außentemperaturen weitgehend konstant gehalten werden.

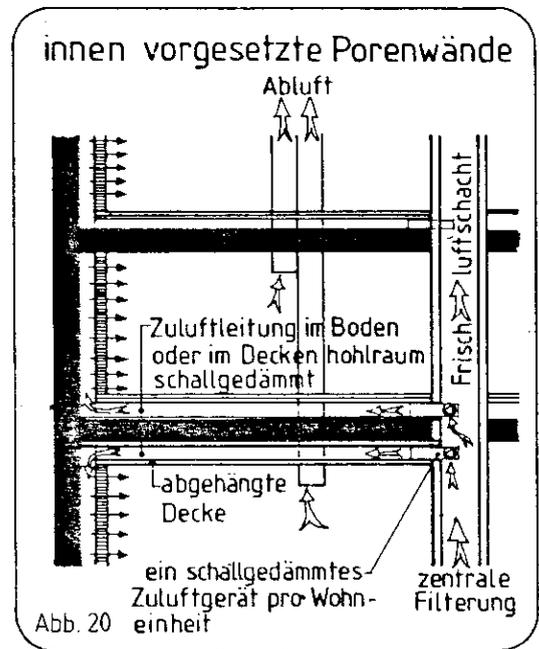
Abb. 18, 19 und 20 zeigen mögliche Anwendungen im Geschosswohnbau.



Das System nach Abb. 18 funktioniert mit Schwerkraft und selbstätiger Entwärmung im Sommer. Die winddichte Fassade muß einen durchgehenden Luftkanal gewährleisten! Zu Reinigungszwecken empfiehlt es sich, die Porenflächen im Bereich von Loggien oder Balkonen leicht zugänglich vorzusehen, und die Fassadenelemente abnehmbar oder öffnbar auszuführen.

Bei anderen Vorschlägen sind mechanische Luftfördereinrichtungen nötig, denen Staubfilter vorgelagert sein können.

Abb. 20 zeigt den nachträglichen Einbau in bestehende Wohnungen.



## 7. BEMESSUNG

Die Grundlagen für die Bemessung der Systeme - insbesondere für die Luftdurchgangszahlen  $y$  gängiger Konstruktionen - finden sich in BARTUSSEK (1981). Da der Luftdurchgang hinreichend genau proportional der Druckdifferenz ( $\Delta p$ ), letztere wieder proportional der Temperaturdifferenz ( $\Delta t$ ) und der wirksamen Höhe ( $h_w$ ) ist, beruht die Berechnung der Volumenströmen ( $\dot{V}$  in  $m^3/h$ ) bei gegebener Luftdurchgangszahl, oder der Luftdurchgangszahl bei gegebenem Volumenstrom (Luftrate) auf einfachen mathematischen Zusammenhängen:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= y \cdot \Delta p \cdot F & (m^3/h) & \quad \text{mit: } \dot{V} = \text{Volumenstrom} \\ y &= \frac{\dot{V}}{\Delta p \cdot F} & (m^3/m^2 \cdot h \cdot Pa) & \quad F = \text{luftdurchlässige Fläche } (m^2) \\ & & & \quad y = \text{Luftdurchgangszahl } (m^3/m^2 \cdot h \cdot Pa) \\ \Delta p &= h_w \cdot \Delta t \cdot \overline{\Delta p} & (Pa) & \quad \Delta p = \text{Druckdifferenz } (Pa) \\ & & & \quad h_w = \text{wirksame Höhe } (m) \\ \overline{\Delta p} &= 9,81 \cdot \Delta \rho & (Pa) & \quad \Delta t = \text{Temperaturdifferenz zwischen innen und außen } (K) \\ & & & \quad \overline{\Delta p} = \text{spezifische Druckdifferenz für 1 m Höhe und 1 K Temperaturdifferenz} \\ & & & \quad = \sim 0,046 \text{ (Pa)} \\ & & & \quad \Delta \rho = \text{Differenz der Luftdichte innen und außen bei 1 K Temperaturdifferenz} \\ & & & \quad = (kg/m^3) \end{aligned}$$

Die wirksame Höhe ist abhängig von der Lage der Null-Linie (NL). Bei Schwerkraftsystemen ohne Abluftschornstein ist die Höhe der Null-Linie über der Unterkante der Porenflächen ausschließlich eine Funktion der Raumgeometrie und der Luftdurchgangszahlen; bei Schornsteinsystemen zudem eine Funktion der Druckverluste im Schornstein ( $p_{s_{ab}}$ )

Die folgenden Abbildungen Nr. 21 - 22 geben eine systematische Zusammenstellung aller möglichen Schwerkraftsysteme, sowie die abgeleiteten Gleichungen für die Lage der Null-Linie ( $x$ ), Volumenströme ( $\dot{V}$ ) und Luftdurchgangszahlen ( $y$ ) in Abhängigkeit von ebener Raumgeometrie (Querschnitt), Raumtiefe ( $l$ ) und Systemart. Mit diesen hier erstmalig veröffentlichten Gleichungen können alle Schwerkraft-Porenlüftungssysteme berechnet werden. (Bei senkrechten Wänden ist  $\alpha = 90^\circ$  und  $\sin \alpha = 1!$ ). Bei räumlichen Systemen, bei denen der Querschnitt über die Raumtiefe variiert, wird empfohlen, eine Zerlegung in einzelne ebene Systeme vorzunehmen.

Mit diesen Unterlagen kann die Frage exakt beantwortet werden, wieviel Frischluft ( $\dot{V}$ ) bei vorgegebener Konstruktion und Temperaturdifferenz gefördert wird, oder welche Luftdurchgangszahlen gewählt werden müssen, um eine bestimmte Lüfrate bei gegebener Temperaturdifferenz zu erreichen.

Tabelle 3 gibt abschließend eine Übersicht über praktisch realisierbare Luftdurchgangszahlen ( $y$ ). Eine Fülle weiterer Möglichkeiten findet sich in (BARTUSSEK 1981).

Tabelle 3:

Einige Konstruktionen und ihre Luftdurchgangszahlen

Konstruktiver Aufbau	Raumgewicht kg ( $m^3$ )	Luftdurchgangszahl $y$ ( $m^3/m^2 \text{ h Pa}$ )
2 x 6 cm Glaswolle Fassadendämmplatte	55	1
8 cm Perlite 0,2 - 3 mm		
6 cm Steinwolle Wanddämmplatte - schwer	80	2
12 cm Leca 0 - 4 mm		
20 cm Glaswollefilz	14	3
10 cm Holzspäne Buche 2 - 3 mm verdichtet	200	

Konstruktiver Aufbau	Raumgewicht kg (m <sup>3</sup> )	Luftdurchgangszahl y (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h Pa)
5 cm Steinwolle Fassadendämmpl. leicht	50	4
7 cm Holzspäne Fichte 2 - 3 mm verdichtet	197	
3 x 3,5 cm Kokosrollfilz ohne Papierauf- steppung + 2 mm Emfa Bitumenfilzmatte	66	5
16 cm Holzspäne Fichte 4 mm verdichtet	119	
10 cm Glaswollefilz	14	6
20 cm Leca 0,5 - 4 mm	540	
5 cm Steinwolleplatte leicht	30	7
25 cm Holzspäne Buche 4 mm verdichtet	236	8
13 cm Leca 0,5 - 4 mm	540	9
6 cm Glaswollefilz	14	10

## 8. QUELLENVERZEICHNIS

- (1) BARTUSSEK, H. (1976): "Qualität der Atemluft und Luftdurchlässigkeit der Baumaterialien - Aspekte neuer Lüftungssysteme", in: Bericht über die 1. Gumpensteiner Bautagung, Gesundes Bauen für die Landwirtschaft, BVA Gumpenstein, Irdning, 1976, 59 - 76.
- (2) BARTUSSEK, H. (1977): Möglichkeiten der Stall-Lüftung durch "atmende" Bauteile, in: Landtechnisches Kolloquium 1977, Landtechnische Schriftenreihe, Heft 40, 2. Teil, 42 - 61, ÖKL, Wien 1978.
- (3) BARTUSSEK, H. (1979): Gibt es "atmende" Baustoffe und Konstruktionen? Wohnung und Gesundheit, 12/1979, 4, 9 - 11.
- (4) BARTUSSEK, H. (1980a): Zugfreie Stalllüftung durch luftdurchlässige Konstruktionen. Landtechnisches Kolloquium 1979, 2. Teil, Landtechnische Schriftenreihe, Heft 65, 48 - 89, ÖKL-Wien, 1980.
- (5) BARTUSSEK, H. (1980b): Wärme und Luft kommen durch Wand und Decke. Wohnbau 6/1980, 26 - 29.
- (6) BARTUSSEK, H. (1980c): Von der zugfreien Stall-Lüftung zur passiven Wohnraumheizung. Sonnenenergie und Wärmepumpe, 5, 1980, 1, 28 - 32.
- (7) BARTUSSEK, H. (1980d): Belüftung von Wohnräumen durch luftdurchlässige Konstruktionen. Sonnenenergie und Wärmepumpe, 5, 1980, 3, 29 - 32.
- (8) BARTUSSEK, H. (1981): "Porenlüftung"; Wohnbauforschungsprojekt ÖKL-Wien, 1981.
- (9) BARTUSSEK, H. und A. HAUSLEITNER (1979): Porenlüftung 1, Lüftung durch luftdurchlässige Decken, Arbeitsblatt Bauwesen, BVA Gumpenstein, Irdning, 1979.
- (10) GRAEE, T. (1970): Pustende Himlinger. Sonderdruck aus "Norsk Landbruk", nr. 9, 1970, 3 - 6.
- (11) GRAEE, T. (1972): Pustende bygningskonstruksjoner. Sonderdruck aus "Norsk Landbruk", nr. 23, 1972, 2 - 8.
- (12) GRAEE, T. (1974): Breathing building constructions. Reprint of paper presented at ASAE-Summer Meeting, Oklahoma State Univ., Stillwater, Oklahoma, 1974.
- (13) KÜNZEL, H. (1970): Kritische Betrachtungen zur Frage des Feuchtigkeitshaushaltes von Außenwänden. Gesundheitsingenieur, 91, 1970, 1, 22 - 24, 2, 42 - 44.
- (14) NIMMERMARK, S., C.-M. DOLBY u. K. SÄLLVIK (1980): Ventilationssystem med Tillufstak (Lüftungssystem mit Zuluftdecken). Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Specialmeddelande 96, Lund, 1980.
- (15) PATTIE, D.R. (1965): Limitations due to vapour barrier. Importance of diffusion in ventilation. ASEA, Paper No. 65 - 943, St. Joseph, Michigan, USA, 1965.

- (16) PATTIE, D.R. (1966): "Heat Transmission of Porous Materials in Ventilation". Reprint from Transactions of the ASAE, Saint Joseph, Michigan, Vol. 9, 3, pp 409, 410, 416, 1966.
- (17) PATTIE, D.R. (1967): Ventilation of the Animal Barn in cold Weather. ASAE, Transcript, No. 67 - 437, St. Joseph, Michigan, USA, 1967.
- (18) PETTENKOFER, M.v. (1858): Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. Literarisch-Artistische Anstalt der J.G. Cotta'schen Buchhandlung, München 1858.
- (19) PETTENKOFER, M.v. (1872): Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung und Boden. Drei populäre Vorlesungen. Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1872.
- (20) RAISCH, E. (1928): Die Luftdurchlässigkeit von Baustoffen und Baukonstruktionsteilen. Gesundheitsingenieur, 51 (1928), 30, 481 - 489.
- (21) RAISCH, E. u. H. STEGER (1934): Die Luftdurchlässigkeit von Bau- und Wärmeschutzstoffen. Gesundheitsingenieur, 57, 1934, Heft 42, 553 - 556.

Berechnungsverfahren		3	
<p>Systeme 2</p> <p>S<sub>2</sub> mit Schornstein</p> <p>Raumtiefe = l</p> <p>L<sub>2</sub> ohne Schornstein</p>			
Lage der Nulllinie (x)		$x = \frac{2h_r B C D - A^2}{2 B D^2} + \sqrt{\left(\frac{2h_r B C D - A^2}{2 B D^2}\right)^2 - \frac{h_r^2 B C^2 - h A^2}{B D^2}}$	$x = \frac{h_r C}{D}$
Faktoren (x)	A	$A = \sum F_{ab} \cdot 3600$	—
	B	$B = 0,02806 \Delta t l^2 (0,03 \frac{h_s}{d} + \sum \zeta)$	—
	C	$C = \frac{h_r y_1}{2 \sin \alpha} + a y_2$	S, L
	D	$D = \frac{h_r y_1}{\sin \alpha} + a y_2$	S, L
Zuluft	$x > h_r$	$\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l \left( \frac{h_r y_1}{\sin \alpha} (x - \frac{h_r}{2}) + a y_2 (x - h_r) \right)$	—
	$x < h_r$	$\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l y_1 \frac{x^2}{2 \sin \alpha}$	S, L
Abluft	$x > h_r$	$\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} \cdot v_{ab} \cdot 3600$ ; Kontrolle x bei Typ S wie Blatt 2	—
	$x < h_r$	$\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} \cdot v_{ab} \cdot 3600 + 0,046 \Delta t l \left( \frac{y_1}{2 \sin \alpha} (h_r - x)^2 + a y_2 (h_r - x) \right)$	—

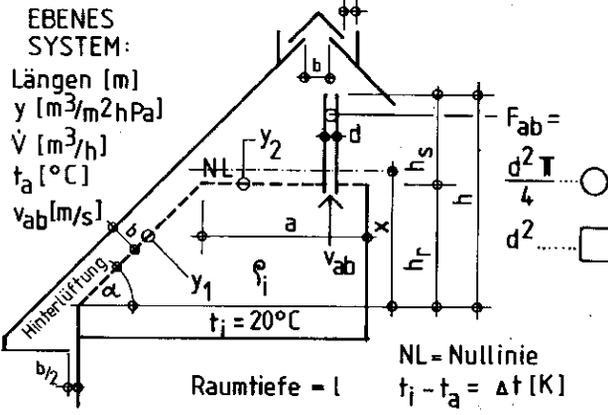
Berechnungsverfahren		5	
<p>Systeme 4</p> <p>S<sub>4</sub> mit Schornstein</p> <p>Raumtiefe = l</p> <p>L<sub>4</sub> ohne Schornstein</p>			
Lage der Nulllinie (x)		$x = \frac{2h_r B C D - A^2}{2 B D^2} + \sqrt{\left(\frac{2h_r B C D - A^2}{2 B D^2}\right)^2 - \frac{h_r^2 B C^2 - h A^2}{B D^2}}$	$x = \frac{h_r C}{D}$
Faktoren (x)	A	$A = \sum F_{ab} \cdot 3600$	—
	B	$B = 0,02806 \Delta t l^2 (0,03 \frac{h_s}{d} + \sum \zeta)$	—
	C	$C = \frac{h_r y}{2}$	S, L
	D	$D = h_r y$	S, L
Zuluft	$x > h_r$	$\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l h_r y (x - \frac{h_r}{2})$	—
	$x < h_r$	$\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l y \frac{x^2}{2}$	S, L
Abluft	$x > h_r$	$\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} \cdot v_{ab} \cdot 3600$ ; Kontrolle x bei Typ S wie Blatt 2	—
	$x < h_r$	$\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} \cdot v_{ab} \cdot 3600 + 0,046 \Delta t l y \frac{(h_r - x)^2}{2}$	—

Berechnungsverfahren		4	
<p>Systeme 3</p> <p>S<sub>3</sub> mit Schornstein</p> <p>Raumtiefe = l</p> <p>L<sub>3</sub> ohne Schornstein</p>			
Lage der Nulllinie (x)		$x = \frac{2h_r B C D - A^2}{2 B D^2} + \sqrt{\left(\frac{2h_r B C D - A^2}{2 B D^2}\right)^2 - \frac{h_r^2 B C^2 - h A^2}{B D^2}}$	$x = \frac{h_r C}{D}$
Faktoren (x)	A	$A = \sum F_{ab} \cdot 3600$	—
	B	$B = 0,02806 \Delta t l^2 (0,03 \frac{h_s}{d} + \sum \zeta)$	—
	C	$C = \frac{h_r y}{2 \sin \alpha}$	S, L
	D	$D = \frac{h_r y}{\sin \alpha}$	S, L
Zuluft	$x > h_r$	$\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l \frac{h_r y}{\sin \alpha} (x - \frac{h_r}{2})$	—
	$x < h_r$	$\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l y \frac{x^2}{2 \sin \alpha}$	S, L
Abluft	$x > h_r$	$\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} \cdot v_{ab} \cdot 3600$ ; Kontrolle x bei Typ S wie Blatt 2	—
	$x < h_r$	$\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} \cdot v_{ab} \cdot 3600 + 0,046 \Delta t l \frac{y}{2 \sin \alpha} (h_r - x)^2$	—
*) die genaue Lage des Schornsteins im Raum spielt für Lüftung und Bemessung keine Rolle		BVA GUMPENSTEIN ABT. LANDW. BAUW. Dr. BARTUSSEK 8.1982	

Berechnungsverfahren		6	
<p>System S<sub>5</sub></p> <p>Raumtiefe = l</p>			
Lage der Nulllinie		$x = -\frac{A^2}{2 B C^2} + \sqrt{\left(\frac{A^2}{2 B C^2}\right)^2 + \frac{h \cdot A^2}{B C^2}}$	
Faktoren	A	$A = F_{ab} \cdot 3600$ ; bzw. $\sum F_{ab} \cdot 3600$	
	B	$B = 0,02806 \Delta t l^2 (0,03 \frac{h_s}{d} + \sum \zeta)$ ; Steuerung durch Drossel bewirkt Vergrößerung von $\sum \zeta$ siehe Blatt 1	
	C	$C = a \cdot y$	
V	$\dot{V}_{zu}$	$\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l a y x$	
	$\dot{V}_{ab}$	$\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} \cdot v_{ab} \cdot 3600$	
zur Kontrolle :			
$x = h - \frac{P_{sab}}{0,046 \cdot \Delta t}$		$\frac{\dot{V}}{3600 \cdot \sum F_{ab}} = v_{ab} \rightarrow P_{sab}$ nach Blatt 1	
*) die genaue Lage des Schornsteins im Raum spielt für Lüftung und Bemessung keine Rolle		BVA GUMPENSTEIN ABT. LANDW. BAUW. Dr. H. BARTUSSEK 8.1982	

# SCHWERKRAFT-PORENLÜFTUNG Berechnungsverfahren

1



$\bar{\Delta p} = 0,046 [\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}]$  bei 5°C 1033 mbar Luftdr.  
 $\bar{\Delta p} = \frac{0,046 \cdot p}{1033}$  bei 5°C und p mbar

Druckverlust im Abluftrohr :  $\xi_i = 1,22$  bei 1033 mbar  
 $P_{s_{ab}} = (0,03 \frac{h_s}{d} + \sum \zeta) \cdot \frac{\rho_i}{2} \cdot v_{ab}^2$  [Pa]  
 $\xi_i = \frac{1,22}{1033} p$  bei p mbar

ζ-Werte: Einzelwiderstände im Abluftrohr:

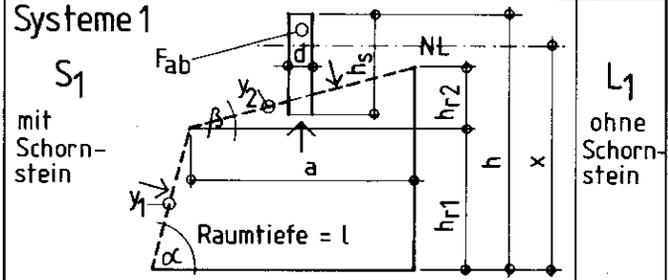
Austritt	1	Vergitterung					
Eintritt scharfk.	0,5	% freier Querschnitt	60	50	40	30	20
Eintritt abger.	0,2						
Drosselkl. offen	0,5	Drahtgitter	1	2	4	7	16
90°-Eck	1,15	perf. Blech	2	4	6	12	25
90°-Bögen	0,6	scharfk. Drosselkl. 10% Restfl.:	50				

BVA GUMPENSTEIN  
 ABT. BAUW  
 Dr. BARTUSSEK 8. 1982

Abb. 21

# Berechnungsverfahren

2



Lage der Nulllinie(x)  
 $x = \frac{2h_{r1}BCD - A^2}{2BD^2} + \sqrt{\left(\frac{2h_{r1}BCD - A^2}{2BD^2}\right)^2 - \frac{h_{r1}^2BC^2 - hA^2}{BD^2}}$   
 $x = \frac{h_{r1}C}{D}$

Faktoren (x)	Equation	System
A	$A = \sum F_{ab} \cdot 3600$	S <sub>1</sub>
B	$B = 0,02806 \Delta t l^2 (0,03 \frac{h_s}{d} + \sum \zeta)$ $\Delta \bar{p} \frac{\rho_i}{2} = 0,02806$	S <sub>1</sub>
C	$C = \frac{h_{r1}y_1}{2 \sin \alpha} + \frac{ay_2}{\cos \beta} + \frac{ay_2 h_{r2}}{2 \cos \beta h_{r1}}$	S <sub>1</sub> , L <sub>1</sub>
D	$D = \frac{h_{r1}y_1}{\sin \alpha} + \frac{ay_2}{\cos \beta}$	S <sub>1</sub> , L <sub>1</sub>

Zuluft V<sub>zu</sub>  
 $x > h_{r1} + h_{r2}$   
 $\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l \left[ \frac{h_{r1}y_1}{\sin \alpha} \left(x - \frac{h_{r1}}{2}\right) + \frac{ay_2}{\cos \beta} (x - h_{r1} - \frac{h_{r2}}{2}) \right]; S_1$

Zuluft V<sub>zu</sub>  
 $x < h_{r1} + h_{r2}$   
 $x > h_{r1}$   
 $\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l \left[ \frac{h_{r1}y_1}{\sin \alpha} \left(x - \frac{h_{r1}}{2}\right) + \frac{y_2(x - h_{r1})^2}{2 \sin \beta} \right]; S_1, L_1$

Zuluft V<sub>zu</sub>  
 $x < h_{r1}$   
 $\dot{V}_{zu} = 0,046 \Delta t l y_1 \frac{x^2}{2 \sin \alpha}; S_1, L_1$

Abluft V<sub>ab</sub>  
 $x > h_{r1} + h_{r2}$   
 $\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} v_{ab} 3600; v_{ab} = \dot{V}_{zu} (\sum F_{ab} 3600)^{-1}$   
 Kontrolle von x:  
 $v_{ab} = \dot{V}_{zu} \rightarrow v_{ab}$   
 $v_{ab} \rightarrow P_{s_{ab}}$  nach 1  
 $x = h - \frac{P_{s_{ab}}}{0,046 \Delta t}$

Abluft V<sub>ab</sub>  
 $x < h_{r1} + h_{r2}$   
 $x > h_{r1}$   
 $\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} v_{ab} 3600 + 0,046 \Delta t l \left[ \frac{(h_{r1} + h_{r2} - x)^2}{2 \sin \beta} \right];$

Abluft V<sub>ab</sub>  
 $x < h_{r1}$   
 $\dot{V}_{ab} = \sum F_{ab} v_{ab} 3600 + 0,046 \Delta t l \left[ \frac{y_1(h_{r1} - x)^2}{2 \sin \alpha} + \frac{ay_2}{\cos \beta} (h_{r1} + \frac{h_{r2}}{2} - x) \right];$