

# Luftdurchlässige Konstruktionen

## Eine Übersicht über den Stand der Entwicklung

Von Helmut Bartussek, Irdning

Die Belüftung von Aufenthaltsräumen durch luftdurchlässige flächige Aussenbauteile (Wände, Decken), vom Verfasser 1979 «Porenlüftung» genannt, wurde seit neun Jahren in erster Linie im Bereich des Stallbaues entwickelt und inzwischen auch an mehreren Wohngebäuden und einem Kirchensaal realisiert. Die meisten Erfahrungen und Forschungsergebnisse liegen bei Stallungen vor. Deren Übertragung auf verschiedenste Aufenthaltsräume für den Menschen ist vertretbar, da sowohl Bauphysik und Lüftungstechnik als auch die von den Systemen berührten Bereiche der Stoffwechsel- und Atemphysiologie und der physiologischen Wärmeregulation beim Menschen den gleichen Gesetzmässigkeiten unterliegen wie bei den Tieren. Porenlüftungssysteme haben die alten Wunschvorstellungen nach atmenden Wänden realisiert. Im Vergleich zu konventionellen Gebäuden ergeben sich damit wohngygienische und wärmeökonomische Vorteile, insbesondere bei Kombination mit Sonnenenergienutzung (Solporssystem).

Die Ansprüche an Planung, Bauausführung, Installationstechnik und Koordinierung dieser Bereiche sind sehr hoch. Dieser die breite Anwendung derzeit behindernde Umstand könnte durch industrielle Vorfertigung ganzer Systemkomponenten und deren montageartige Zusammensetzung auf der Baustelle gemildert werden.

### Geschichtliche Entwicklung

Nach wertvollen Vorarbeiten aus den 60er Jahren von Pattie [1, 2, 3] in Kanada begann der Norweger Graee gezielt luftdurchlässige Decken zur Belüftung von Stallungen zu entwickeln [4, 5, 6]. Der Verfasser wurde mit diesen Arbeiten bekannt, nachdem er, von Bielenberg [7] angeregt, selbst in Laborversuchen die Prinzipien erarbeitet, 1976 ein Versuchswohnhaus realisiert und die Luftdurchlässigkeit vieler Baustoffe gemessen hatte [8]. Dank dem ausländischen Erfahrungshintergrund gelang der Sprung in die landwirtschaftliche Baupraxis und die rasche Weiterentwicklung der Systeme für Stall- und Wohnraumlüftung [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. 1980 publizierten Nimmermark, Dolby und Sällvik in Schweden eine mathematische Theorie luftdurchlässiger Konstruktionen [17]. Nach der Veröffentlichung eines umfassenden Forschungsberichtes [15] wurde der Verfasser auf weitere ausländische Arbeiten aufmerksam: Schon 1964 hatte L.A. Ekström ein schwedisches Patent zum Prinzip durchströmter Aussenwände angemeldet [18] und ein Wohnhaus mit dem System ausgestattet. Theoretische Studien publizierte Mitte der 70er Jahre Korsgaard in Dänemark [19, 20]. Die finnische Firma Ahlström stattete grosse Werkhallen mit Porendecken aus [18]. Über den Wärmerückgewinnungseffekt der Porenlüftung publizierten in jüngster Zeit Roetzel [21], Gilli [22] und

Fiala [23] theoretische Arbeiten. Eine Dissertation aus Moskau belegt die Verbesserung des Feuchtigkeitsverhaltens von Wänden durch Poreninfiltration [24]. Unter Berufung auf den Schweden T. Thoren wurden die Funktionsprinzipien des Systems kürzlich auch in der Schweiz beschrieben [25]. Praktische Erfahrungen wurden vom Verfasser in kleineren Artikeln laufend veröffentlicht [26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34]. Über die Kombination des Systems mit Sonnenenergienutzung (das Solpor-System) wurden Forschungsberichte publiziert [35, 36].

### Funktionsprinzip der Porenlüftung

Durch offenporige und somit luftdurchlässige Bauteile wandert Luft, wenn auf beiden Seiten der Schichte eine Druckdifferenz ( $\Delta P$ ) besteht (Bild 1). Bei hinreichend feinporöser Struktur ist der Luftdurchgang direkt proportional zur wirksamen Druckdifferenz. Werden deshalb entsprechende Anteile der raumumschliessenden Oberflächen von Aufenthaltsräumen aus derartigen Materialien gebildet, so kann der betreffende Raum oder Raumverband durch diese Flächen hindurch mit Frischluft versorgt werden. Es muss dazu entweder im Innenraum ein Unterdruck vorhanden sein (Bild 2), oder ausserhalb der Porenflächen ein Überdruck gesetzt werden

(Bild 3). Auch eine Kombination beider Prinzipien (Gleichdruck) ist möglich und in gewissen Anwendungsfällen sinnvoll (Bild 4).

Der Luftdurchgang ist grossflächig. Die Strömungsgeschwindigkeit kann daher immer so klein gehalten werden, dass sie auch bei hohen Luftwechselraten weit unter der Zugluftgrenze bleibt. Während Zugluft bei etwa 10 cm/s spürbar wird, lassen sich Porenlüftungssysteme im Bereich der Humanarchitektur so auslegen, dass die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten in den

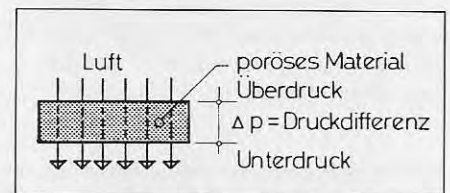


Bild 1. Prinzip des Luftdurchganges durch offenporige Flächen

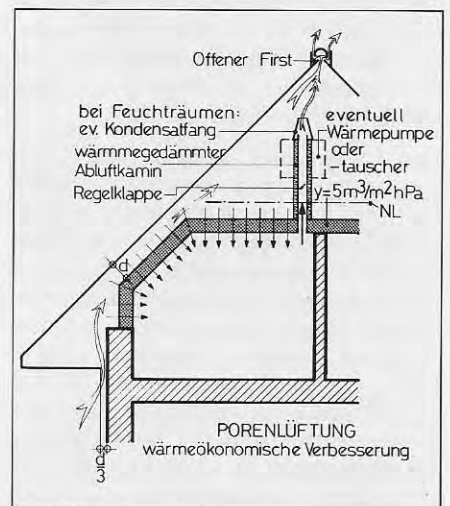
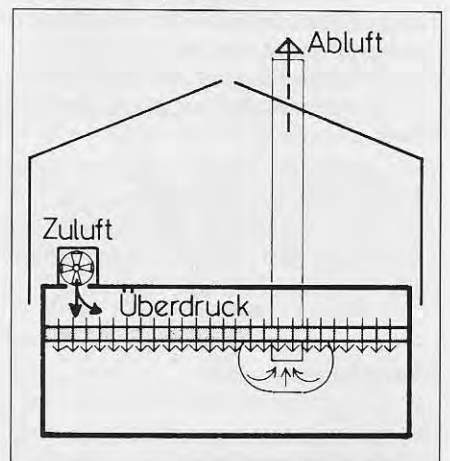


Bild 2. Porenlüftung durch Unterdruck als Folge eines Schwerkraftlüftungsschachtes bei ausgebautem Dachgeschoss

Bild 3. Porenlüftung durch Überdruck ausserhalb der luftdurchlässigen Flächen





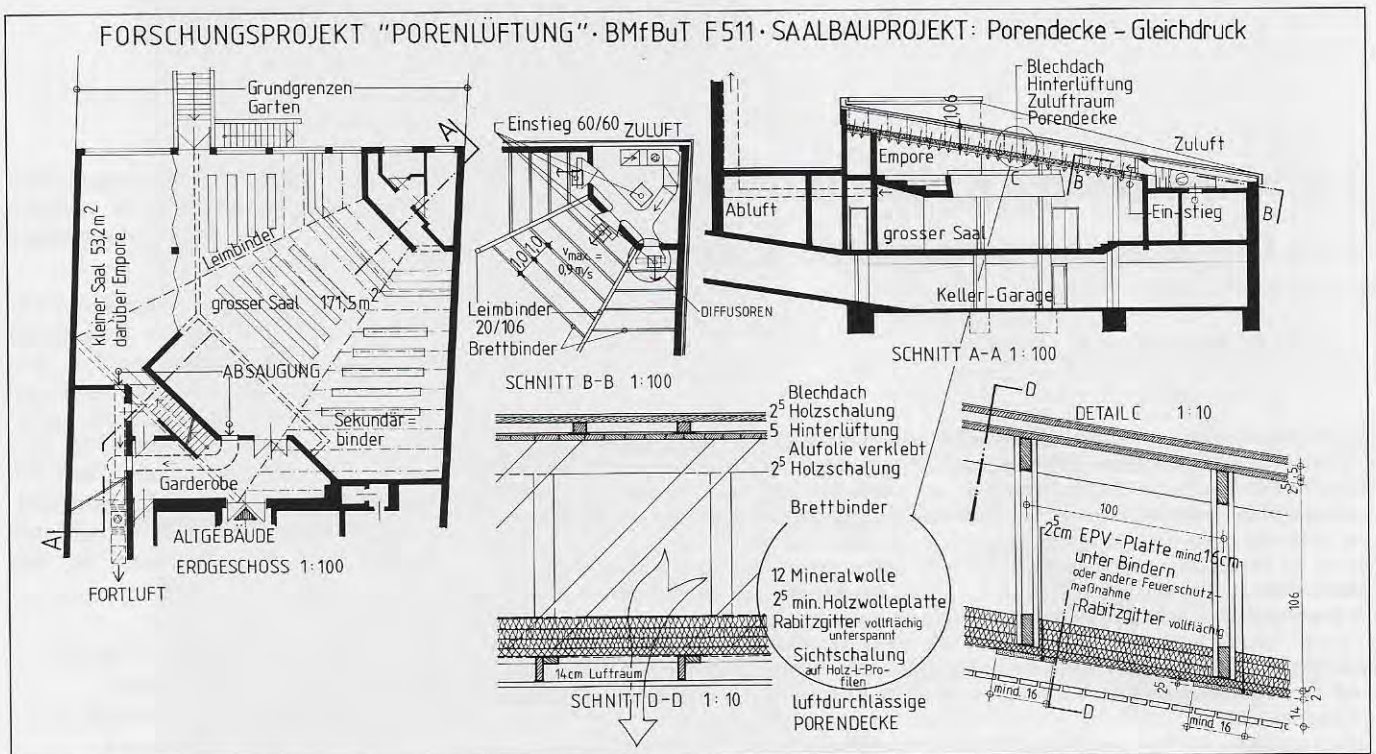


Bild 4. Porenlüftung durch Gleichdruck bei einem Saalbau. Über die luftdurchlässige Decke wird Überdruck erzeugt. Unter der Empore wird aus dem Raum abgesaugt

durchlüfteten Decken- oder Wandflächen einige mm/s nicht übersteigen. (Die absolute Zugluftfreiheit war auch das wesentliche Moment in der Entwicklung für die Stall-Lüftung).

Der Luftwechsel, genauer die Volumenstromdichte der hereinströmenden Luft ( $m^3/m^2 h$ ) wird nur über die wirksame Druckdifferenz gesteuert. Diese muss deshalb berechnet werden und mittels baulicher und installationstechnischer Massnahmen erzeugt und hinreichend konstant gehalten werden können. Dazu müssen jedenfalls Abluftanlagen - im einfachsten Fall ein Schwerkraftschacht mit Drosselklappe oder Steuerjalousie - und hinterlüftete, ausreichend winddichte Vorsatzschalen vorgesehen werden. Mit dieser windabweisenden Aussenhaut wird der Windstaudruck von den eigentlichen Porenflächen abgehalten. Ohne diese essentielle Voraussetzung, die bei luftdurchlässigen Dachdecken oder ausgebauten Dachgeschossen von der Dachhaut erfüllt werden kann, ist ein ordnungsgemässer Lüftungsbetrieb nicht gewährleistet.

Porenflächen müssen natürlich auch im Rauminnen luftdurchlässig hergestellt bzw. verkleidet werden, und der Lufteintrag darf nicht durch Möbeleinbauten zu stark behindert werden.

### Materialien

Für Porenlüftungssysteme eignen sich prinzipiell alle offenporigen Bau- und

Dämm-Materialien. Zur Erzielung eines gleichmässigen Luftdurchganges ist eine entsprechende Feinporigkeit nötig. Exakte Messergebnisse über die Luftdurchlässigkeit (Luftleitzahl, Luftdurchlasszahl) von rund 100 Materialien liegen vor [15, 33]. Am besten eignen sich Fasermatten und -platten, aber auch lose Schüttungen (Sägespäne, Perlite lose, Leca lose, Korkschrot lose usw.) und haufwerksporige Betone. Am meisten verwendet werden Mineralfasermatten und Mineralfaserplatten. Bei Porendecken werden diese auf luftdurchlässige Tragschichten, wie mineralisierte Holzwoleplatten, Sparschalungen, Gitter usw. aufgelegt. Bei luftdurchlässigen Massivwänden werden sie aussen am Mauerwerk befestigt, und dieses mit offenen Fugen, durchgehenden Löchern usw. ausgeführt. Als systemkonforme Innenverkleidungen haben sich Stoffbespannungen, Holzschalungen mit offenem Fugenraster und mineralisierte Holzwole-Dekorplatten bewährt.

### Bauphysikalische und wärmeökonomische Charakteristika

Wie seit langem bekannt, gibt es keine «Atmungsfähigkeit» im Sinne einer ständigen Luftzu- und oder -abfuhr zum Zwecke der kontinuierlichen Raumlufterneuerung bei konventionellen Aussenwänden. Diffusion und Sorption - wichtige bauphysikalische

Begriffe, die eine Bedeutung für den Bautenschutz und für die Dämpfung von Schwankungen der Wasserdampf- und Fremdgasgehalte in der Raumluft bei instationären Vorgängen haben - tragen zur Lufterneuerung nichts bei. Nur ein tatsächlicher Luftdurchgang durch offenporige Schichten bewirkt einen Luftwechsel. Der dann im Bauteil vorhandene Luftstrom verändert den Temperaturverlauf über den Bauteilquerschnitt in charakteristischer Weise. Im Winterlüftungsfall und bei Verwendung der Bauteile als Zuluftflächen nimmt der Temperaturgradient und damit der Wärmestrom von innen nach aussen ab. Die Randbedingungen, Wärmeleitzahl des Materials, Schichtdicke und Volumenstromdichte, können so gewählt bzw. aufeinander abgestimmt werden, dass der Wärmestrom an der äusseren Bauteiloberfläche praktisch Null wird. Das heisst, dass bei einer solchen Anordnung ein Transmissionswärmeverlust der einbezogenen Wand- oder Deckenflächen verhindert werden kann. Es findet eine Art rekuperativer Wärmetauscheffekt in der durchströmten Materialschicht statt. Die hereinströmende Frischluft nimmt die hinausfliessende Transmissionswärme auf, verhindert damit deren Verlust und wärmt sich gleichzeitig selbstständig an. Das System kann so ausgelegt werden, dass auch bei winterlichen Aussen-temperaturen die Luft innen mit einer Temperatur ankommt, die nur wenige Grade unter der Raumlufttemperatur liegt. In einer Gesamtwärmebilanz kann dieser Effekt berücksichtigt wer-



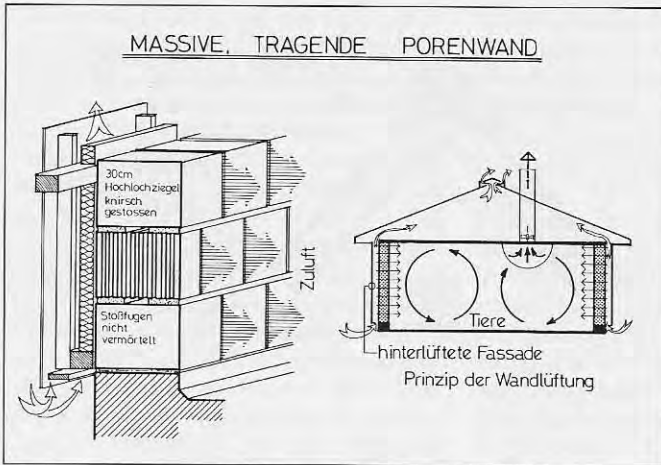


Bild 5. Prinzip einer luftdurchlässigen Massivwand: Winddichte Fassade, durchströmte feinporöse Dämmschicht, Massivwand mit Öffnungen

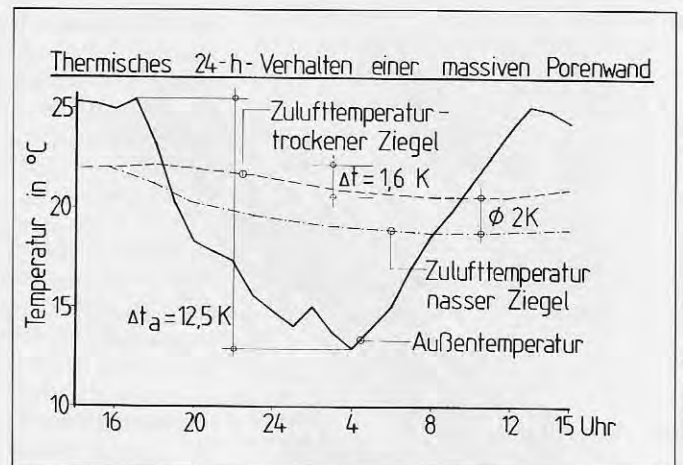


Bild 6. Temperaturverhalten einer durchströmten Massivwand im Sommer

den, indem man den k-Wert der einbezogenen Flächen gleich Null setzt. Bei einem Einfamilienhaus ist damit eine Heizenergieeinsparung von etwa 8 bis 14% möglich, wenn man einer Vergleichsrechnung moderne Dämmstoffstandards und einen 0,5 bis 0,8-fachen Luftwechsel zugrundelegt. Analoges gilt auch bei umgekehrter Strömungsrichtung, wenn also warme Abluft durch Wände und Decken nach aussen transportiert wird. Auf eine genauere Begründung kann hier nicht eingegangen werden.

Bei luftdurchlässigen Massivwänden kann deren Wärmespeicherkapazität zur kostenlosen Zuluftkonditionierung im Sommer herangezogen werden. Das Bild 5 zeigt den Versuchsaufbau bei einem Stall mit luftdurchlässiger Ziegelwand. Die Zuluft strömt durch die nicht vermörtelten Stossfugen in den Raum. Das Bild 6 verdeutlicht den erzielbaren Effekt bei etwa 5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h Volumenstromdichte: Es tritt eine enorme Amplitudendämpfung ein. Während die Aussenluft im Schatten etwa zwischen 13 °C in der Nacht und 27 °C am frühen Nachmittag schwankt, pendelt die Temperatur der hereinströmenden Luft nur zwischen 20 und 22 °C.

Der gleichmässige Luftdurchgang von der kalten zur warmen Seite verhindert wirkungsvoll das Eindringen von Wasserdampf in Richtung des Dampfdruckgefälles in die Konstruktion. Deshalb kann auch kein Kondensat auftreten. Der Luftdurchgang wirkt wie eine Dampfbremse, obwohl eine solche konstruktiv nicht vorhanden ist und auch nicht vorhanden sein darf (alle wirksamen Dampfbremsen sind Luftsperrern und verhindern den Luftdurchgang).

Verwendet man luftdurchlässige Aussenbauteile auch als Abluftflächen (bei den Wohnhäusern mit Porenlüftung ist das mehrheitlich der Fall), so muss die Wasserdampffrage beachtet werden. Mit der Abluft wird ja auch der im In-

nenraum erzeugte Dampf von der warmen zur kalten Seite durch das Bauteil transportiert. Modellversuche und Praxis haben gezeigt, dass Kondensation an der Aussenoberfläche der Porenschicht dann mit Sicherheit nicht auftritt, wenn:

- die Wasserdampf-Massenstromdichte 20 g/m<sup>2</sup> h nicht übersteigt, und
- die Räume, in die die Abluft abtransportiert wird (z. B. Dachboden) bestens hinterlüftet werden (siehe weiter unten).

Soll auch in den Hinterlüftungsräumen schädliches Kondensat sicher vermieden werden, müssen sorptionsfähige Materialien verwendet werden.

### Praktische Erfahrungen an weit über 500 Stallgebäuden

Die Porenlüftung hat sich durch ihre Vorzüge - insbesondere völlige Zugluftfreiheit, günstigere Wärmebilanz, Entfall von Zuluftleitungen und gesonderten Luftverteilereinrichtungen - im Stallbau rasch durchgesetzt. Mehrere Firmen bieten das System inzwischen in Österreich, der Bundesrepublik Deutschland, in der Schweiz, in den Niederlanden und in Frankreich an. Nach einigermaßen genauen Schätzungen dürfte die Zahl der mit luftdurchlässigen Decken als Zuluftelemente ausgestatteten Stallungen nicht mehr viel unter 1000 liegen.

Die Erfahrungen zeigen, dass das System nur dann funktioniert und die in ihm steckenden Vorteile somit genützt werden können, wenn folgende Massnahmen sorgfältig durchgeführt werden:

- genaue rechnerische Abstimmung der Systemkomponenten: Zuluftfläche, deren Luftdurchgangszahl, Ventilatorleistung (bei mechanischer

Luftförderung), erzielbare Druckdifferenz in Abhängigkeit von Temperaturdifferenzen bei Schwerkraftssystemen (Thermosiphonwirkung), Druckverlust im Abluftsystem und Steuerung;

- entsprechende Hinterlüftung der windabweisenden Aussenhaut. Die Öffnungen an Traufe (Sockel) und First, bzw. die Nachströmöffnungen bei abgehängten Porendecken unter Massivdecken müssen so dimensioniert und ausgeführt werden, dass die nötigen Luftmengen ohne nennenswerte Druckverluste zu den luftdurchlässigen Flächen gelangen können und durch Wind eingetragene Luft zu den Leeseiten abfliessen kann, ohne an den Porenflächen Staudruck zu erzeugen. Für offene Firste wurden neue Lösungen mit handelsüblichen Materialien entwickelt, die bei Windanfall auch auf der Luvseite Sog erzeugen und damit der vorgenannten Bedingung Rechnung tragen [37]. Auch für die wirksame Entwärmung der Dachhaut im Sommer muss Sorge getragen werden;

- die planerische und handwerkliche Ausbildung der Gesamtkonstruktion (winddichte Fassade oder Dachhaut, luftdurchlässige Schichten, Innenverkleidung) muss so erfolgen, dass die Luft zum allergrössten Teil wirklich durch die vorgesehenen Flächen und nicht durch unbeabsichtigte Fugen strömt. Das Fugensystem - Fugen zwischen luftdurchlässigen Einzelplatten oder Matten, Anschlussfugen zwischen luftdurchlässigem Material und Tragkonstruktion und zwischen Porenflächen und dichtem Mauerwerk - muss entsprechend «beherrscht» werden.

Hier wird ein Nachteil des Systems deutlich: Eine gute Funktion ist nur dann gewährleistet, wenn eine der vier Bedingungen gegeben ist:



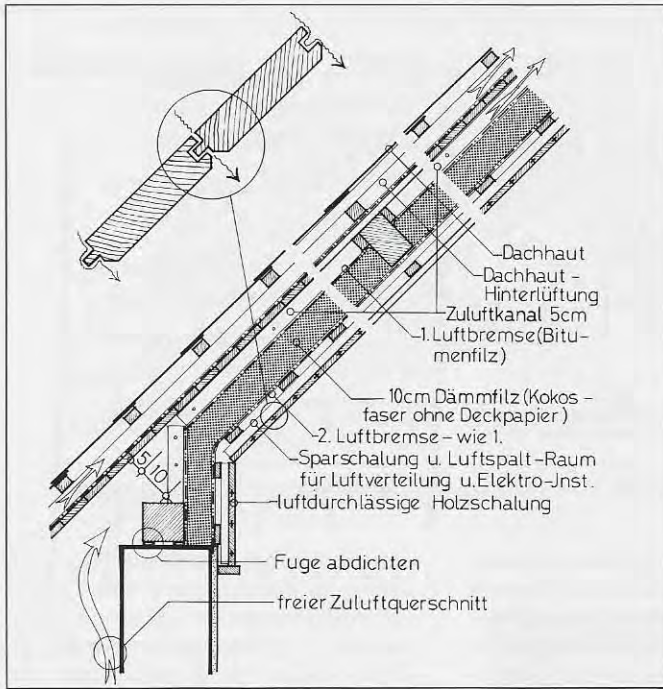


Bild 7. Luftdurchlässiger Dachgeschossausbau

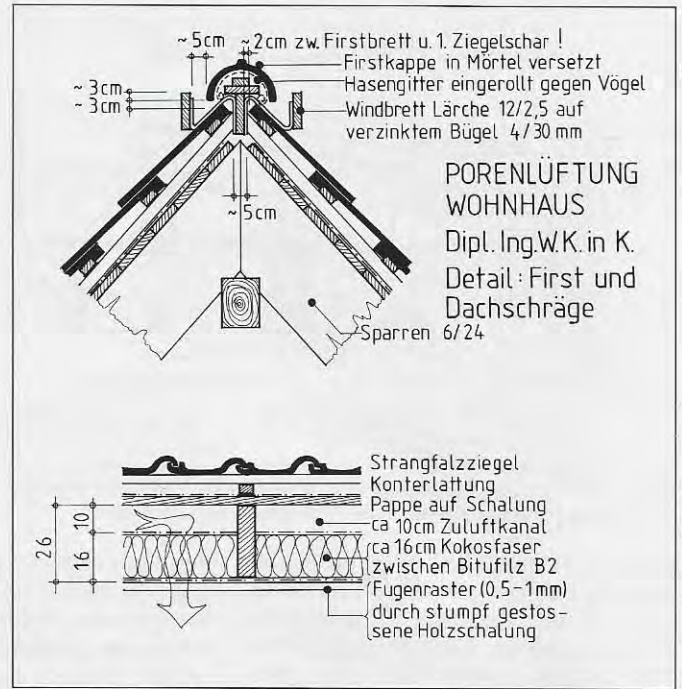


Bild 9. Durchgehend offener First mit sogerzeugenden Windabweisern

- a) Planung, Ausschreibung, Bauleitung und Bauüberwachung aller Details des Systems mit Koordinierung aller beteiligten Firmen durch ein Planungsbüro, das dies kann; das Büro haftet dann für die Funktion.
- b) Planung, Lieferung, Montage des Gesamtsystems durch einen einzigen Generalunternehmer (alles aus einer Hand). Diese Firma haftet dann für die Funktion.
- c) «Do it yourself» durch engagierte Bauherren nach entsprechender Anleitung durch einen Fachmann. Der Bauherr haftet dann selbst.
- d) Entsprechende Kombination von Teilen der Abläufe nach a) bis c)

Da das System Leistungen mehrerer Bauprofessionisten umfasst, ist die richtige Koordination dieser Leistungen durchaus als «kritischer Durchlauf» zu bezeichnen und wohl auch dafür ver-

antwortlich, dass die Porenlüftung in der Humanarchitektur noch keine nennenswerte Verbreitung gefunden hat.

### Erfahrungen an ausgebauten Dachgeschossen mit Porenlüftung

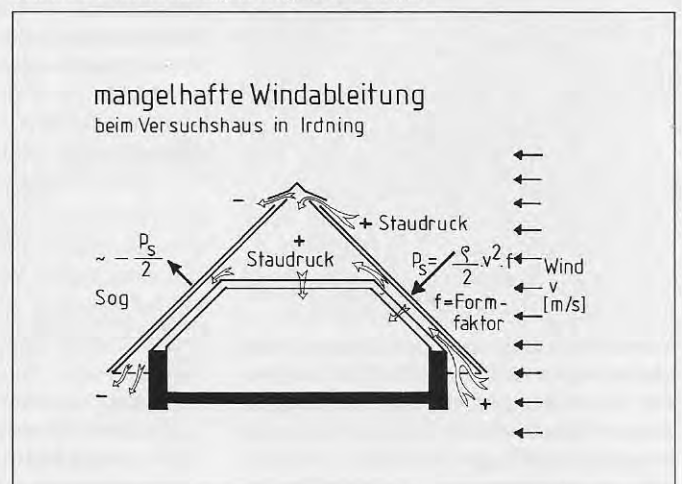
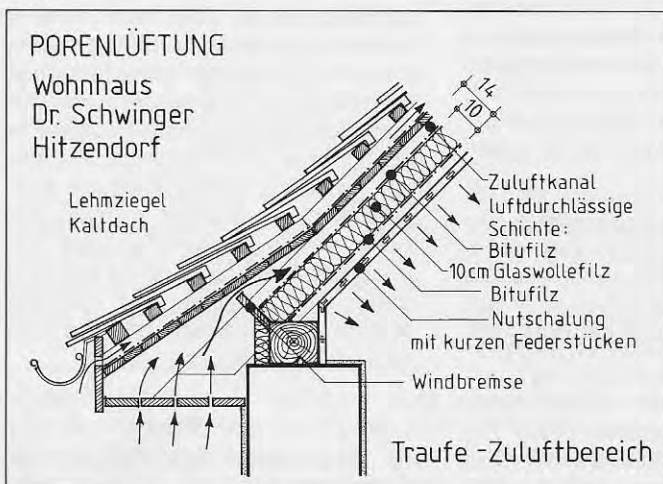
Bei ausgebauten Dachgeschossen im Einfamilienhaus ist das System am leichtesten zu realisieren. Mehrere Häuser werden auf diese Weise seit Jahren zur Zufriedenheit ihrer Benutzer zugluftfrei und energiesparend be- und entlüftet. Die Dachhaut ist, zumindest bei doppelter Kaltdachausführung, eine ausreichend winddichte Vorsatzschale. Der konventionelle Schichtenbau zwischen den Dachsparren bedarf keiner allzugrossen Abänderungen. Als Dämmung muss ein Fasermaterial entsprechender Luftdurchlässig-

keit gewählt werden. Dampfbremsen müssen entfallen. Die Innenverkleidung muss luftdurchlässig bleiben. Je nach Sparrenlänge müssen 5 bis 10 cm hinterlüfteter Luftraum ausserhalb der Dämmschicht als «Zuluft- (und eventuell auch Abluft) -Kanal» vorhanden sein, der mit den Öffnungen an Traufe und First in Verbindung steht. Das Bild 7 zeigt ein Beispiel bei einem Steildach. Die Trauf- und Firstlösungen werden in den Bildern 8 und 9 gezeigt.

Beim offenen First mit senkrechten Windabweisern und etwas abgehobenen Firstkappen hat es sich gezeigt, dass bedeutend geringere Abstände für den freien Luftdurchgang beim Wohnhaus auch zur sicheren Wasserdampfabfuhr ohne Kondensation im Dachraum ausreichen und die Gefahr des Eintrages von Schnee verringern. Ein freier Durchgang von etwa 0,5 bis 1 cm zu beiden Seiten des Firstes ergibt 100 bis

Bild 8. Traufenausbildung für eine Porenlüftung im ausgebauten Dachgeschoss

Bild 10. Mangelhafte Dimensionierung der Zu- und Abluftöffnungen verursacht unkontrollierten Lufteintrag bei Windanfall





200 cm<sup>2</sup> Abluftöffnung pro Laufmeter. Allerdings darf dann auch die Summe aller Öffnungen an der Traufe nicht grösser bemessen sein, um Staudruck auf die Porenflächen bei Wind zu vermeiden. Das Bild 10 zeigt, was passiert, wenn dies nicht berücksichtigt wird: An der Traufe wird bei Wind sehr viel mehr Luft eingetragen, als am First oder an der anderen Traufenseite abgesaugt wird. Dies bewirkt einen unkontrollierten zusätzlichen Lufteintrag in das Haus und damit unerwünschte Wärmeverluste im Winter. Dies war der Fall bei dem allerersten Versuchshaus in Österreich, das der Verfasser selbst bewohnt. Ansonsten funktioniert das System hier klaglos. Mit der Zuluft durch die Dachschrägen wird bei 30 K Temperaturdifferenz ein etwa 0,5facher Luftwechsel sichergestellt. Mit der Abluft durch rund 60 m<sup>2</sup> horizontaler Deckenfläche werden im Mittel stündlich rund 530 g Wasserdampf in den Dachboden und über den First ins Freie transportiert, ohne dass es in den 8 Jahren der bisherigen Benützung jemals an irgendeiner Stelle zu Kondensation gekommen wäre (das sind fast 13 Liter Wasser pro Tag!).

Ein derartiges System - Zuluft und Abluft durch Porenflächen - kann allerdings nicht gesteuert werden und muss auf die Temperaturdifferenz bei mittleren Winterverhältnissen ausgelegt sein. In den Übergangszeiten wird dann zu wenig, bei extremer Kälte zuviel gelüftet.

Bei einem weiteren Wohnhausneubau in Köln wurde eine Porenlüftung in die Dachschräge eines nur 20° geneigten Pultdaches eingebaut. Die Sparrenlänge beträgt 10 m. Die Dachdecke überspannt einen grossen multifunktionalen Wohnraum von 10 m Tiefe und mit zweigeschossiger Nutzung (Galerie) auf der höheren Dachseite. Im tieferliegenden Teil dient die Decke als Zuluftfläche, im höherliegenden als Abluftfläche. Zwischen die 20 cm hohen Sparren wurden 10 cm dicke Mineralwolleplatten eingepasst, die auf Holzwolleplatten aufliegen. An der Unterseite wurde eine Sichtholzschalung angebracht mit 2 mm breiten Fugen. Der gesamte 10 m lange Zu- und Abluftkanal ist nur 10 cm hoch und besitzt an Traufe und First 3 cm breite Zu- bzw. Abluftschlitze. Auf der Oberkante der Sparren sollte eine Holzschalung mit Pappauflage und dann ein Kaltdach aus Betondachsteinen verlegt werden. Das System war so ausgelegt worden, dass bei einer Temperaturdifferenz von 10 K etwa 50 m<sup>3</sup>/h, bei 25 K 110 m<sup>3</sup>/h und bei 35 K 150 m<sup>3</sup>/h Frischluft gefördert wird. Knapp vor Bezug des Hauses wurden Anfang Oktober 1983 noch Restflächen verputzt. Im November 1983 traten hef-

tige Kondensationserscheinungen auf. Aus der oberen Deckenhälfte tropfte an drei Stellen ständig Wasser. Die Untersuchung ergab, dass anstelle der oberen Holzschalung eine Kunststoff-Folie als billigere Unterspannbahn verlegt worden war. An deren Unterseite kondensierte ein Teil des durch die Abluft in den oberen Teil der 10 cm hohen Hinterlüftungskanäle transportierten Wasserdampfes. Die Mineralwolleplatten wurden bis zu 6 cm von oben her durchnässt; das Wasser sickerte durch. Zur Sanierung wurde Dauerabsaugung aus dem Raumverband (Strömungsumkehr in der oberen Deckenhälfte) und eine wirkungsvollere Hinterlüftung vorgeschlagen. Die Überlappungen der Unterspannbahn sollten mit Abstandhalter aus Styroporklötzchen in jedem Sparrenfeld auseinandergespannt und in der Dachhaut darüber zusätzliche Entlüftungssteine eingesetzt werden. Ausgeführt wurde nur die Empfehlung der besseren Hinterlüftung. Insgesamt wurden in 10 Sparrenfelder 30 Lüftungssteine eingesetzt und die Überlappungsstöße entsprechend auseinandergespreizt. Die Kondensatbildung hörte sofort auf. Nach 4 Wochen (Ende Dezember!) war die Wärmedämmung komplett trocken. Seither gab es keine Schwierigkeiten mehr. Die Lüftung funktioniert wie vorgesehen.

### Porenlüftung durch eine zweigeschossige Massivwand

1984 wurde in Bad Aussee ein Einfamilienhaus mit steuerbarer Schwerkraft-Porenlüftung durch eine zweigeschossige Massivwand (ähnlich wie im Bild 5) fertiggestellt. Die Betriebserfahrungen des sehr kalten Winters 1984/85 machten eine geringfügige Adaptation notwendig. Die luftdurchlässige Dämmung an der Aussenseite der mit offenen Stossfugen gemauerten Ziegelwand besteht aus 7,5 cm dicken Mineralfaserplatten. Auf einen guten Fugenschluss zwischen den Platten wurde sorgfältig geachtet. Die Fassade der sehr windausgesetzten Wand besteht im Erdgeschoss aus mit Glasgewebe verstärktem Putz auf Trägerplatten, im Obergeschoss (ausgebautes Dachgeschoss) aus Platteneternit auf Vollschalung. Dazwischen wurde eine Dachpappe als Windsperre verlegt. Es wurde von der Bauleitung besonders darauf geachtet, dass auch alle Anschlüsse der Fassadenteile untereinander, zu den Fensterleibungen und Brüstungen, sowie zum Ortgang winddicht ausgeführt wurden. Durch entsprechende Traglatten und Konterlattungen wurde die Fassade so abgestuft, dass der freie Hinterlüftungsquer-

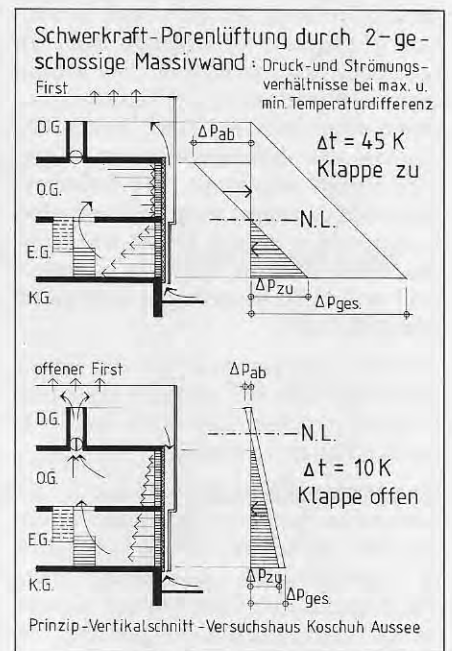


Bild 11. Porenlüftung durch eine zweigeschossige Massivwand in einem Einfamilienhaus mit Druck- und Strömungsverhältnissen bei unterschiedlichen Temperaturen

schnitt im Erdgeschoss etwa 5 cm, im Obergeschoss 15 cm beträgt und bei Windanfall auch unter Fensterbrüstungen eingedrückte Luft in die seitlichen Hinterlüftungsfelder entweichen kann. Die einzige Öffnung der Gesamtfassade ist ein 5 mm breiter Zuluftschlitz über die ganze Sockellänge. Hier bei Wind eingedrückte Luft kann im nach oben breiter werdenden Hinterlüftungsraum ungehindert zum Ortgang, von dort in den Dachspitz gelangen und über den offenen First wieder zur Lee-seite entweichen. Das Bild 11 zeigt das Schema der Luftführung in diesem Haus. Beide Wohngeschosse sind über eine in den Wohnbereich integrierte Treppe und über Nachströmschlitze am Boden der Schlaf- und Kinderzimmertüren als ein zusammenhängendes Luftvolumen zu betrachten. Die Abluft wird über einen gemeinsamen Abluftschacht im Bereich des obersten Treppenedestes in den durchlüfteten Dachspitz geleitet und entweicht über den offenen First. Durch eine von Hand zu betätigende Drosselklappe in diesem Schacht kann der Luftvolumenstrom ins Haus über den gesamten Bereich der winterlichen Temperaturdifferenzen hinreichend konstant gehalten werden. Im Bild 11 sind Druck- und Strömungsverhältnisse in Porenwandbereich bei Extremwerten der Aussenverhältnisse gezeigt: Bei -25 °C im Freien ist die Drosselklappe ganz geschlossen. Der Luftaustausch erfolgt nur durch die Wand. Im Erdgeschoss strömt Frischluft ein, im Obergeschoss wandert die Abluft durch die Wand nach aussen. Bei etwa +10 °C Aussen-temperatur muss die Drosselklappe



ganz offen sein, um den dann wesentlich geringeren Unterdruck voll zur Luftförderung zu nützen. Die Abluft entweicht jetzt ohne viel Druckverlust durch den Schacht; über beide Geschosse der luftdurchlässigen Wand wird Zuluft angesaugt. Die Volumendichte nimmt allerdings von oben nach unten mit dem Druck linear zu, das heisst, dass im Erdgeschoss bedeutend mehr Luft eingetragen wird als im Obergeschoss.

Auf der Innenseite wurde die Porenwand mit einer horizontalen Holzschalung mit offenen Stossfugen auf senkrechten Latten verkleidet.

Im strengen Winter 1984/85 hat das System seine Funktionstüchtigkeit erwiesen. Die Abhaltung des Winddruckes ist gewährleistet. Kondensatbildung trat nirgends auf. Zwei Mängel wurden jedoch im Erdgeschoss festgestellt:

Zwischen den vertikalen Traglatten der Innenverkleidung fällt die gegenüber der Innenlufttemperatur um mehrere Grade kühlere Frischluft mit von oben nach unten zunehmender Geschwindigkeit herab und fliesst nur durch die untersten waagrecht Verkleidungsfugen in Bodennähe Zugluft erzeugend in den Raum. Eine Sockelleistenheizung hätte diese Auswirkungen wahrscheinlich kompensiert. Es wird aber vorwiegend mit einem zentralen Kachelofen im Erdgeschoss geheizt, der auch den Antrieb für eine ausreichende Luftkonvektion durch beide Geschosse liefert.

Die Küche im Erdgeschoss wird – mit Ausnahme der Kochzeit, wenn die Direktabsaugung über dem Herd in Betrieb steht – in den Wohnraum entlüftet. Neben der Küchentüre mit Nachströmschlitz zur offenen Treppe hin befindet sich auch eine Durchreiche zwischen Küche und Essplatz im Wohnzimmer, die unbeabsichtigt auch als Nachströmöffnung wirkte. Da die Küche einiges kühler als der Wohnraum gehalten wird, entstand auch im Essplatzbereich Zugluft durch diese Durchreiche.

Diese Mängel sind inzwischen behoben worden. Der Hohlraum zwischen Ziegelmauerwerk und Innenschalung wurde mit Kokosfasern ausgestopft. Diese sind so luftdurchlässig, dass sie den waagrecht Luftdurchgang kaum behindern. Ein Herabfallen der Luft im Hohlraum ist aber nun ausgeschlossen. Bei nächtlichen Aussen temperaturen von  $-8^{\circ}\text{C}$  Ende Oktober 1985 konnten die positiven Auswirkungen der Massnahme bereits bestätigt werden. Die Fugen an der Durchreiche wurden durch Deckleisten geschlossen. Hier tritt auch keine Zugluft mehr auf.

Diese Erfahrungen zeigen, dass man

Konvektionen und der Strömung der Luft durch einen Raumverband schon bei der Planung grösstes Augenmerk schenken muss, will man einen Vorteil der Porenlüftung – deren Zugluftfreiheit – nicht unbedacht preisgeben.

### Erfahrungen mit Solpor-Wänden

Wenn man eine Konstruktion wie die vorher beschriebene mit transparenten Fassaden versieht und die luftdurchlässigen Dämmschichten mit einem dunklen (möglichst schwarzen) Gewebe oder Flies aussen überspannt, kann man die Umgebungsstrahlung, direktes und indirektes Sonnenlicht, zur Vorwärmung der Frischluft oder gar zur Beheizung der Räume verwenden. Diese Kombination solarer Porenwände wurde 1979 Solpor-System genannt [12]. Nach umfangreichen Modellversuchen wurden zwei Einfamilienhäuser auf deren Südseiten damit ausgestattet und sind seit einigen Jahren im Betrieb. Ein Verwaltungs- und Wohngebäude einer Strassenmeisterei wird mit dem System versehen und ist derzeit im Bau. Exakte Untersuchungen über die erzielbaren Einsparungen an Heizenergie im praktischen Betrieb liegen noch nicht vor. Aus den Modellversuchen und Messungen an einem der Häuser kann abgeschätzt werden, dass je nach Standort ein nutzbarer Wärmegewinn von rund 200 bis 300 kWh/Quadratmeter nach Süden orientierter Solporwand und Heizsaison möglich ist. Zum Transport der bei Sonnenschein anfallenden Wärme sind grössere Luftmassen nötig. Das Solpor-System benötigt daher einen mechanischen Luftantrieb während der Sonnenscheinstunden. Für die übrige Zeit kann es auf Schwerkraftbetrieb ausgelegt werden. Es ist dann nur ein Lüftungssystem, das aber auch bei Schlechtwetter schon relativ geringe Umgebungsstrahlung zur Vorwärmung der Lüftungsluft nutzt. Bei richtiger Zuluftführung von oben nach unten hinter die Verglasung kann die natürliche Thermosphonwirkung zur selbsttätigen Entwärmung im Sommer eingesetzt werden. Es wird eine Strömungsumkehr von innen nach aussen erreicht, die eine Aufheizung der Wand völlig verhindert.

Bei den beiden Versuchshäusern wurden die Fassaden in Holzkonstruktionen, die für Kontrollzwecke geöffnet werden können, verglast. Hinter der Verglasung wird über ein Zuluftkanalsystem durch Zuluftventilatoren bei Sonnenschein Überdruck erzeugt, der die angewärmte Zuluft durch die Wand und den Raumverband zu einer zentralen Abluftöffnung im Dachboden drückt. Letztere wirkt als Schwerkraft-

schacht beim reinen Lüftungsbetrieb. Die Wände sind ähnlich aufgebaut wie die Porenwand des vorigen Beispiels, doch wurden die Hochlochziegel wegen der grösseren Luftmengen um 90 Grad verdreht so eingebaut, dass die Löcher von aussen nach innen durchgehen. Die luftdurchlässigen Dämmschichten wurden wegen des baubiologischen Interesses der Bauherrn nicht aus Mineralfaserstoffen, sondern aus losen Schüttungen zwischen mineralisierten Holzwolleplatten gebildet; beim einen Haus wurden dazu gesiebte Sägespäne, beim anderen loses Leca (Liapor) verwendet.

Zu Beginn des Solpor-Betriebes waren die Ergebnisse im Vergleich zu denen vom Modellversuch enttäuschend; es ergab sich kaum ein Heizeffekt. Genaue Untersuchungen ergaben folgende Mängel: Eine Verglasung in Holzkonstruktion mit Flügeln, die geöffnet werden können, ist trotz mehrfach schliessender Beschläge und Lippendichtungen auf Dauer nicht ausreichend dicht zu halten. Grosse Warmluftmengen gingen nach aussen verloren. Hier werden Verglasungssysteme des modernen Fassadenbaues eingesetzt werden müssen. Bei den Versuchshäusern wurden die Fassaden mit viel Aufwand nachträglich nachgedichtet. Die gewählten Dämm-Materialien weisen gegenüber der im Modellversuch verwendeten Mineralwolle eine vier- bis fünfmal so grosse Wärmekapazität auf. Dies führte zu einem verringerten und stark verzögerten Wärmeeintrag in das Rauminnere und zu hohen Restwärmemengen, die nach Sonnenuntergang wieder nach aussen verloren gingen. Bei einem Haus wurde das gesamte geschüttete Dämm-Material gegen das bedeutend leichtere expandierte Perlite ausgetauscht. Seither funktioniert das System fast so wie im Modellversuch her vorausgesagt: Bis zum Abend eines winterlichen Schönwettertages erreichte die massive durchströmte Ziegelwand Temperaturen bis über  $30^{\circ}\text{C}$ .

Dieses Solpor-System verhindert allerdings die grossflächige Aussicht aus den Innenräumen zur Sonnenseite hin. Seine Beschränkung auf Teilflächen und die Kombination mit transparenten Solarsystemen (Gewächshäuser, Glasveranden, Wintergärten, konvektiv genutzte Südfassaden-«Sonnenfallen») sind möglich.

### Weiterentwicklung des Solpor-Systems

Bei einem Teil der erwähnten Strassenmeisterei wurden insgesamt 110 m<sup>2</sup> Solpor-Fassade eingepflanzt. Das erste Pro-



jekt sah Wandaufbau und Luftführung ähnlich wie bei den beiden Einfamilienhäusern vor, allerdings mit Metallspinnenkonstruktionen für die Fixverglasung. Es wurde eine doppelte Geräteausstattung vorgeschlagen, um das System im Gleichdruck fahren zu können. Da mehrere Raumfolgen zum Zwecke der besseren Wärmeausnutzung im Sonnenscheinfall hintereinander durchströmt werden sollten, schien dies nötig. Auch die Lüftungsluft ausserhalb der Sonnenscheinstunden sollte auf entsprechend reduziertem Niveau mechanisch gefördert werden. Ein Detailprojekt der Geräteausstattung erbrachte aber den Nachweis unverhältnismässig hoher Investitions- und Betriebskosten. Das Projekt wurde verworfen und systematisch alle Systemkomponenten dahingehend untersucht, Details möglichst zu vereinfachen und mechanische Geräte einzusparen. Das Ergebnis ist ein wesentlich veränderter Wandaufbau: Die luftdurchlässigen Schichten wurden auf eine bedeutend höhere Luftdurchgangszahl ausgelegt.

Die maximalen Luftraten bei vollem Sonnenschein wurden auf etwa ein Drittel reduziert. Der dann durch höhere Absorberrtemperaturen gegebene schlechtere solare Wirkungsgrad wird wahrscheinlich durch verringerte Lüftungswärmeverluste weitgehend kompensiert. Beide Massnahmen zusammen verringerten die nötige Druckdifferenz auf etwa 10% der bei den Versuchswohnhäusern geplanten Werte und ermöglichen daher nicht nur wesentlich kleinere und billigere Ventilatoren, sondern erlauben auch bei Verwendung von Metallfenstern und Metall-Aussentüren mit guten Dichtungen die Realisierung als Unterdrucksystem. Damit entfallen die relativ aufwendigen Zuluftverteilkanaäle. Die etwa um das Vierfache erhöhte Luftdurchlässigkeit des Absorber-Dämmpaketes verlangt konstruktive Massnahmen zur Vermeidung von Konvektionen und damit Wärmeverlusten durch die Wand von innen nach aussen bei den Mindestluftraten ausserhalb der Sonnenstunden. Dazu wurde eine luftdichte Schichte eingezogen, die den Luftdurchtritt in nur einer waagrecht Ebene – im gegebenen Fall am Boden – zulässt. Beim vorliegenden Projekt werden die Räume über rasch ansprechende kleine Sockelleistenheizkörper über die gesamte Solporwandlänge beheizt, was auch zu kühle Zuluft in Schlechtwetterphasen verhindern wird. Auf speichernde Ziegelmassen im Wandschnitt wurde verzichtet, weshalb die gesamte Wand trocken montiert werden kann. Die wirksamen Speichermassen für eine Periode von 24 Stunden der übrigen Raumbegrenzungsflä-

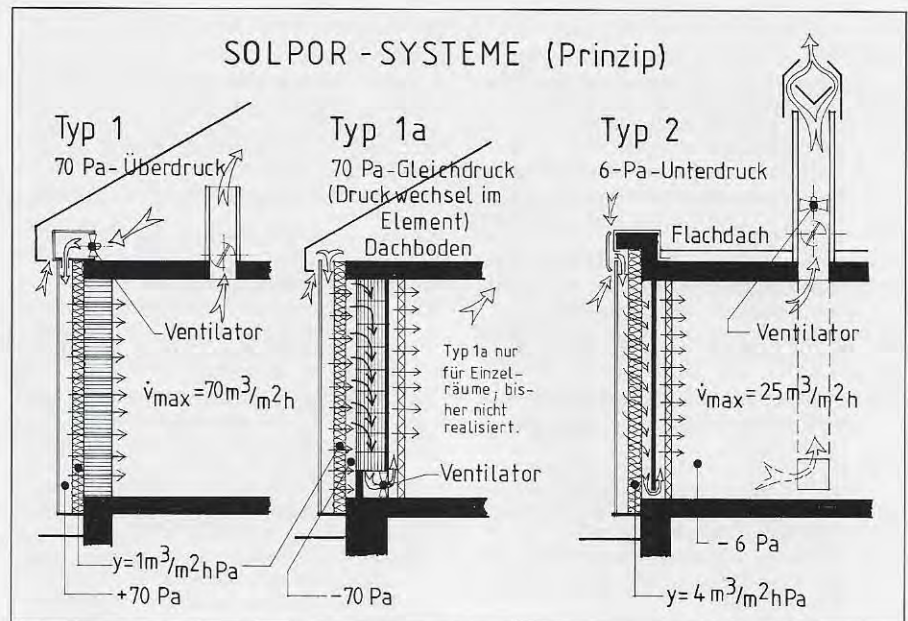


Bild 12. Solpor-Wandsysteme der ersten und zweiten Generation

chen wurden so ausgelegt, dass die gesamte, über etwa 6 Stunden durch die Südwand eingetragene Wärme eines wolkenlosen Spätwintertages (März) bei einer Raumtemperaturerhebung von 4 bis 5 K eingespeichert werden kann und während der übrigen 18 Stunden des Tages zur Verfügung steht. Der Ventilator-Absaugbetrieb wird über die Absorberrtemperatur angesteuert. Die Schwerkraftlüftung in der übrigen Zeit (wirksame Schachthöhe rund 7 m) wird mit einer automatischen Drosselklappe geregelt, deren Stellung von der Temperaturdifferenz zwischen aussen und innen abhängt. Die Funktionstüchtigkeit des neuen Systems muss abgewartet werden. Das Gebäude steht derzeit im Rohbau. Das Bild 12 zeigt die wesentlichsten Merkmale des «alten» und «neuen» Solpor-Systems.

### Modellversuchsergebnisse mit «Atmungs-lüftung»

Porenlüftung mit periodisch wechselnder Strömungsrichtung der Luft in den luftdurchlässigen Flächen bezeichnet der Autor 1981 als «Atmungs-lüftung» [15]. Die porösen Aussenbauteile werden dabei einmal von aussen nach innen und dann wieder von innen nach aussen durchströmt. Für eine bauliche Realisierung ist dazu eine zweischalige Aussenflächenkonstruktion, eine innere oder äussere Trennung des zu belüftenden Raumverbandes und ein mechanischer Strömungsantrieb notwendig. Das System wurde bisher nur in einem Modellversuch experimentell erprobt. Bei Porenlüftung allein können nur Transmissionswärmeverluste verringert werden. Das Prinzip der Atmungs-

lüftung reduziert ausserdem die Lüftungswärmeverluste, weil der periodische Strömungswechsel zusätzlich zum rekuperativen Wärmetauscheffekt eine regenerative Wärmerückgewinnung ermöglicht, deren Wirkungsgrad theoretisch von der Volumenstromdichte, von der Periodendauer und der Wärmekapazität der durchströmten Stoffschichte abhängt. Beim 60/60/120 cm grossen Versuchsmodell mit innerer Trennung in zwei beheizte Räume wurden sämtliche Aussenflächen aus 10 cm dicken Mineralfaserplatten wechselweise durchströmt. Es wurden sehr hohe Luftraten gefahren: Die Volumenstromdichten lagen zwischen 13 und  $25 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ . Unter Berücksichtigung der Massstabsverzerrung eines Modells 1:10 ergäbe dies in konkreten Räumen Luftwechselzahlen zwischen 5 und 10 pro Stunde. Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung lag im Mittel bei 53% (d. h. der Gesamtwärmeverlust wurde im Vergleich zu einem gleich beheizten konventionell belüfteten Raum auf 47% reduziert), während Porenlüftung allein nur eine Reduktion um 17%, also auf 83%, bewirkt. Hier eröffnen sich neue Anwendungsbereiche einer energiesparenden Bautechnologie für Gebäude, bei denen die Lüftungswärmeverluste weit über den Transmissionswärmeverlusten liegen [34].

### Neue Ergebnisse zum «Staubproblem» bei Porenlüftung

#### Verstaubung durch Aussenluft

Die sich im Zuge der Durchströmung von Luft aus dem Freien an den Aussenseiten von Porenflächen anlagernde



## Literatur

- [1] *Pattie, D. R.* Limitations due to vapour barrier. Importance of diffusion in ventilation. ASAE, Paper Nr. 65-943 (1965), St. Joseph, Michigan, USA
- [2] d.s. Heat Transmission of Porous Materials in Ventilation. Transactions of the ASAE, 9 (1966), H. 3, S. 409, 410, 416, St. Joseph, Michigan, USA
- [3] d.s. Ventilation of the Animal Barn in cold Weather. ASAE, Transcript, Nr. 67-437 (1967), St. Joseph, Michigan, USA
- [4] *Graae, T.* Pustende Himlinger. Sonderdruck aus Norsk Landbruk, Nr. 9 (1970), S. 3-6
- [5] d.s. Pustende bygningskonstruksjoner. Sonderdruck aus Norsk Landbruk, Nr. 23 (1972), S. 2-8
- [6] d.s. Breathing building constructions. Reprint of paper presented at ASAE-Summer Meeting, Oklahoma State Univ., Stillwater, Oklahoma, USA (1974)
- [7] *Bielenberg, H.* Der Einfluss des Stalles auf die Schweinemast. Diss. T. H. Braunschweig (1963)
- [8] *Bartussek, H.* Qualität der Atemluft und Luftdurchlässigkeit der Baumaterialien - Aspekte neuer Lüftungssysteme. In: Bericht über die 1. Gumpensteiner Bautagung, BA Gumpenstein, Irdning (1976), S. 59-76
- [9] d.s. Möglichkeiten der Stall-Lüftung durch «atmende» Bauteile. Landtechnische Schriftenreihe, H. 40 (1977), S. 42-61, ÖKL, Wien
- [10] d.s. Gibt es «atmende» Baustoffe und Konstruktionen? Wohnung und Gesundheit, 12 (1979), H. 4, S. 9-11
- [11] d.s. Zugfreie Stall-Lüftung durch luftdurchlässige Konstruktionen. Landtechnische Schriftenreihe, H. 65 (1980), S. 48-89, ÖKL, Wien
- [12] d.s. Wärme und Luft kommen durch Wand und Decke. Wohnbau (1980), H. 6, S. 26-29
- [13] d.s. Von der zugfreien Stall-Lüftung zur passiven Wohnraumheizung. Sonnenenergie u. Wärmepumpe 5 (1980), H. 1, S. 28-32
- [14] d.s. Belüftung von Wohnräumen durch luftdurchlässige Konstruktionen. Sonnenenergie u. Wärmepumpe 5 (1980), H. 3, S. 29-32
- [15] d.s. Porenlüftung. ÖKL-Verlag, Wien (1981)
- [16] *Bartussek, H.* und *Hausleitner, A.* Porenlüftung 1, Arbeitsblatt Bauwesen, BA Gumpenstein, Irdning (1979)
- [17] *Nimmermark, S., Dolby C.-M.* und *Sällvik, K.* Ventilationssystem med Tilluftstak, Inst. f. lantbrukets byggnadsteknik, Specialmeddelande 96, Lund (1980)
- [18] *Korsgaard, V.* Mitteilung an den Verfasser mit schriftlichen Unterlagen (1983)
- [19] d.s. The Counterflow Wall. XIV. International Congress of Refrigeration, Moskau (1975). Meddelelse Nr. 59 Thermal Insulation Laboratory, T. U. of Denmark, Lyngby, 1975
- [20] d.s. Lav-energihus med thermal modstrømsvaegge. Sonderdruck aus Varme, 1 (1976), Thermal Insulation Laboratory, T. U. of Denmark, Meddelelse Nr. 43, Lungby, 1976
- [21] *Roetzel, W.* Verringerung des Lüftungswärmebedarfs bei natürlicher Lüftung von Gebäuden durch Verwendung luftdurchlässiger poröser Aussenwände. HLH 32 (1981), Nr. 2, S. 45-48
- [22] *Gilli, P. G.* Wärmerückgewinnung mittels poröser durchströmter Aussenbauteile - Berechnungsverfahren und Fallstudie. Bauphysik 5 (1982), S. 173-178 und Bauphysik 6 (1982), S. 203-208
- [23] *Fiala, W.* Möglichkeiten und Grenzen der Verringerung von Wärmeleitungsverlusten mittels Durchströmung mit einem Stoffstrom. HLH 34 (1983), Nr. 10, S. 405-411
- [24] *Pachotin, G. A.* Verbesserung des Feuchtigkeitsregimes der Wände durch Poreninfiltration - am Beispiel von Viehzuchtgebäuden unter den Bedingungen Westsibiriens. Diss. Moskauer Bauingenieurinstitut, Moskau 1981
- [25] *Scheigg, W.* Ein Luftzug isoliert. Aktuelles Bauen (1985), H. 11, S. 47-49
- [26] *Bartussek, H.* Porenlüftung - Lüftungssystem der Zukunft? DLZ (1981), H. 1, S. 48-58
- [27] d.s. Porenlüftung in Österreich: Keine Spur von Zugluft. Top Agrar (1981), H. 11, S. 26-28
- [28] d.s. Stall-Lüftung durch luftdurchlässige Wände und Decken - ein absolut zugluftfreies, energiesparendes und billiges System. Boku-Blätter 5 (1983), H. 1, S. 9-14
- [29] d.s. Die atmende Wand: Das Solpor-System. Gesundes Bauen und Wohnen (1983), Nr. 15/16, S. 18-44
- [30] d.s. 400 Ställe mit Porenlüftung. Top Agrar (1984), Nr. 11, S. 6
- [31] d.s. Möglichkeiten und Grenzen der Verringerung von Wärmeleitungsverlusten mittels Durchströmen mit einem Stoffstrom (Replik zu Fiala, 1983 [23]), HLH 35 (1984), Nr. 12, S. 615-618
- [32] d.s. Die Atmungsfähigkeit von Wand- und Deckenkonstruktionen. Beton im Wohnbau. Verein d. Österr. Zementfabrikanten, Wien (1985), S. 39-43
- [33] *Bartussek, H.* und *Hausleitner, A.* Luftleit-zahlen und Luftdurchlasszahlen von 57 handelsüblichen Baustoffen. Baumerkblatt Porenlüftung, BA Gumpenstein, Irdning, 1983
- [34] d.s. Untersuchungen zum System der Atmungslüftung. Die Bodenkultur, Wien, im Druck
- [35] d.s. Das Solporssystem - luftdurchlässige Massivwände mit Sonnenenergienutzung. Wohnbauforschungsbericht F 648/18 2. Teil. Bundesministerium für Bauten und Technik, Wien, 1983
- [36] d.s. Das Solporssystem - Solare Porenwände. Verlag des ÖKL, Wien, 1985
- [37] *Bartussek, H.* Firstentlüftung mit vorge-setzten Windabweisern. Eternit-Technische Information, Wien, 1984

Staubschicht verringert die Luftdurchgangszahl dieser Flächen als Funktion der Zeit. Die Reduktion ist abhängig von der Staublast der Aussenluft, der Volumenstromdichte und der anfänglichen Luftdurchgangszahl der durchströmten Schichten. Messergebnisse liegen aus dem ländlichen Bereich vor. Der Staubgehalt der Luft konnte nicht quantifiziert werden. Die Versuche wurden jedoch unmittelbar neben einer Strasse mit relativ starker Stauberzeugung durchgeführt. Für die angelagerte Staubschicht lässt sich eine Art Luftleitzahl  $\gamma^*$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{a} / \text{m}^2 \text{Pa}$ ] ableiten. Bei den angegebenen Umgebungsbedingungen liegt dieser Wert bei 8000. Den Luftdurchlasswiderstand der Staubschicht erhält man, indem man das Produkt aus mittlerer Volumenstromdichte  $\dot{v}$  und Anzahl von Betriebsjahren  $Z$  durch die Luftleitzahl der Staubschicht dividiert. Eine Porenfläche aus 10 cm dicken Mineralfaser-Fassadendämmplatten hat im sauberen Zustand einen Luftdurchlasswiderstand von  $0,55 \text{ m}^2 \text{h Pa} / \text{m}^3$ . Wird eine solche Fläche z. B. bei einem Wohnhaus im Winter mit einer Volumenstromdichte von  $\dot{v} = 10 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{h}$  durchströmt, so liegt die mittlere Vo-

lumenstromdichte über das ganze Jahr bei  $5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{h}$ . Nach 20 Betriebsjahren würde die angelagerte Staubschicht einen Luftdurchlasswiderstand von  $5 \cdot 20 / 8000 = 0,0125$  aufweisen, der zum anfänglichen Wert der sauberen Schichte addiert werden müsste. Der Luftdurchgangswiderstand der verstaubten Porenfläche würde demnach nach 20 Jahren  $0,5625 \text{ m}^2 \text{h Pa} / \text{m}^3$  betragen. Das bedeutete eine Abnahme des Luftdurchganges um 2,3% gegenüber der Ausgangssituation und könnte praktisch vernachlässigt werden. Diese aus Versuchsergebnissen abgeleitete Prognose wird auch durch die Erfahrung bestätigt, dass bei keiner der seit über 8 Jahren mit Porenlüftung belüfteten Ställen bis heute eine spürbare Abnahme der Luftleistung festgestellt werden konnte, obwohl die Volumenstromdichten dort etwa im Mittel 5mal höher sind als in der Humanarchitektur. (Probleme mit Staub traten jedoch in solchen Fällen auf, bei denen die Luft nicht aus dem Freien, sondern aus Futterlagerräumen mit täglicher Manipulation stark staubender Futtermittel angesaugt wurde.) Luftleitzahlen für Staubschichten, die

sich in Stadt- und Industriegebieten an Porenflächen anlagern, liegen noch nicht vor. Grundsätzlich können Systeme aber auch so realisiert werden, dass die Aussenflächen zugänglich bleiben. Verstaubte Deckschichten könnten dann nach Bedarf ausgewechselt werden.

#### Austrag von Staub aus der Porenschicht in die Innenluft

Während einerseits das vorher beschriebene «Staubproblem» auf einer an sich für die Qualität der Innenluft positiven Filterwirkung der Porenflächen beruht, kann andererseits nicht ausgeschlossen werden, dass die Lüftungsluft wiederum durch Staub aus dem Dämmmaterial selbst belastet wird. Insbesondere bei Mineralfaserprodukten erscheint die Frage im Hinblick auf baubiologische Bedenken wichtig. In einem Intensivkälberstall mit einer Porendecke aus Glaswollefilz auf Holz-wolleplatten und maximalen Volumenstromdichten bis zu  $100 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{h}$  wurde die Qualität des sich in den Abluftanlagen ansammelnden Staubes chemisch, mikroskopisch und bakteriologisch untersucht. Es konnten keinerlei Hinwei-



se gefunden werden, dass Glasfaserteilchen aus der Decke in den Stall gelangten. Bei Wohnhäusern liegen die Volumenstromdichten und damit die Strömungsgeschwindigkeiten im Material wesentlich niedriger. In den meisten Fällen werden auch Faserplatten mit grösserer Dichte und Festigkeit eingesetzt. Beides gibt zusätzliche Sicherheit gegen unerwünschten Faserteilchenaustrag. Bei mehreren Wohnhäusern bestehen die Porenflächen im wesentlichen aus Glas- und Steinwollschichten. Irgendwelche diesbezügliche Beschwerden liegen nicht vor.

### Situation nach Tschernobyl

In einem der nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl am meisten betroffenen Gebiete Österreichs wurde die radioaktive Kontamination einer luftdurchlässigen Stalldecke neun Wochen nach dem Unfall gemessen. Die Porendecke besteht aus 10 cm Glaswollefilz auf mineralisierten Holzwolleplatten und wurde über die ganze Zeit mit etwa  $60 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$  durchströmt. Ergebnis: Das radioaktive Cäsium wurde in den obersten Schichten der Glaswollelage ausgefiltert und dort fixiert. Auf der äusseren Deckenoberfläche ist die Strahlung etwa viermal höher als in der

Umgebungsluft. Auf der Unterseite der Glaswolle und auf der Holzwolleplatte fand sich keine Erhöhung der Aktivität, die durchgesaugte Frischluft wird nicht radioaktiv belastet. Das Ergebnis zeigt, dass Porenlüftungssysteme unter solchen Katastrophenbedingungen günstig zu beurteilen sind. Es ist das einzige Lüftungssystem ohne aufwendige mechanische Zuluftfilterung, bei dem die Bewohner vor den unmittelbaren Folgen radioaktiv verseuchter Luft geschützt werden können – zumindest bei einem mit Tschernobyl vergleichbaren Katastrophenausmass. Der Preis dafür ist die Ansammlung der Aktivität in den äusseren Dämmstoffschichten der luftdurchlässigen Flächen. Ob dieser Zustand bedenklich ist, muss noch abgeklärt werden.

### Offene Fragen

Neben den bereits angeschnittenen Fragen, gibt es weitere, die noch weitgehend ungeklärt sind:

- Welche offenporigen Dämmstoffe beeinflussen die durchströmende Luft in hygienischer Hinsicht negativ? (Radioaktivität, Formaldehyd usw.)

- Wie nimmt eine allfällige Beeinflussung mit der Zeit ab? (Eine Formaldehydabdampfung aus Harzbindung wird infolge der ständigen Durchlüftung wahrscheinlich sehr rasch abnehmen).
- Wie verhalten sich Porenkonstruktionen bezüglich Schallschutz und Brandwiderstand? Einer ganz bestimmten Schichtenfolge für einen luftdurchlässigen Dachgeschossausbau hat inzwischen eine österreichische Prüfanstalt die Brandwiderstandsklasse F 30 bescheinigt. Andere Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Adresse des Verfassers: Univ. Doz. Dipl.-Ing. Dr. techn. H. Bartussek, T.U. Graz; Univ. f. Bodenkultur, Wien; BA Gumpenstein, Irnding; privat: Falkenburg 134, A-8952 Irnding, Österreich.

Die Entwicklungsarbeit erfolgte in erster Linie an der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein in Irnding, Österreich, und wurde daher zum grössten Teil vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft finanziert. Weitere Förderung erfolgte durch das Bundesministerium für Bauten und Technik. Ohne die bereitwillige und risikofreudige Mitarbeit unzähliger Bauherren in Österreich und in der Bundesrepublik Deutschland wäre allerdings der Sprung in die Praxis nicht gelungen.

### Fragen eines Architekten zur Porenlüftung

Zum Lüften öffnet man die Fenster. Es scheint uns selbstverständlich, dass man das kann und darf, dass geschlossene Fenster dicht sind (d.h. erst durch offene genug Frischluft einströmt), und dass die Aussenluft unbelasteter ist als jene im Raum. Die Fensterfugen, unvermeidbar und zugleich weniger beherrschbar als die Fenster selbst, halten Wärme, offenen Fenstern gleich, auch nicht zurück, und lassen dazu noch Wind, Regen, Kälte und Lärm durch. Sie sind als unerwünschte Fehlerquellen Gegenstand der Qualitätsnormung. Dabei regelt die Norm das Höchst- und nicht das *Sollmass* der Durchlässigkeit. Tatsächlich lassen zeitgemäss konstruierte Fensterfugen während gut dreiviertel der Zeit viel zu wenig, bei starkem Wind aber viel zuviel Luft ein- und ausströmen. Sie sind sehr ungenaue Lüftungselemente. Auch der Mensch ist kein zuverlässigeres Steuerinstrument. Wohl erkennt er Gerüche, Dampf, Rauch, Hitze oder «Enge» als Lüftungsgrund, für CO<sub>2</sub>, Radon oder z. B. Bakterien besitzt er aber – ausser bei zu späten Signalen einer Erkrankung – keine Sensoren.

Man kann diesem Doppelproblem mit hochisolierten Fassaden und mechanischer Lüftung die (kostspielige) Stirn bieten, oder sie,

wie Bartussek, mit einfachen (und preisgünstigen) Methoden zu umgehen suchen. Wahrscheinlich dürften die Grenzen der sanfteren Lösung – man ist geneigt, sie «biologisch» zu nennen – dort zu suchen sein, wo sie sich an den technischen und Steuerungsaufwand und somit auch Kosten des anderen Systems nähert oder, wegen schlechter Aussenluft oder wegen der Komplexität des Gebäudes, nähern muss.

Kann ein nur von porösen Schichten umgebener Raum noch als menschliches «Gehäuse» gelten? Wäre es nicht zweckmässiger, anstelle von Wänden und Decken die Fensterfugen so auszubilden, dass sie in beherrschbarer Weise die erwünschte Luftmenge durchlassen? Sparen Wände, die einen k-Wert von etwa Null haben sollen, wirklich nur 8 bis 14% Energie? Wäre es denkbar, die beiden Sonnenenergiesysteme Solar Trap und Solpor zu kombinieren; könnte z. B. die in selektiv-durchlässigen Südfassaden gewonnene Warmluft nicht nur luftdichte Strahlungsflächen im Rauminnen aufheizen, sondern diese, porös und speicherfähig konstruiert, auch durchströmen? Saugen sich Isolationsschichten z. B. mit Tabakrauch nicht so voll, dass die durch sie einströmende Luft immer nach Tabak riecht?

Bartusseks Idee der Porenlüftung scheint den Selbstverständlichkeiten unseres Wissens über Raumabschlüsse, Lüftungsbedarf

oder z. B. Energiesparen durch Baukonstruktionen zu widersprechen. Ein echter, ein Scheinwiderspruch?

Adresse des Verfassers: Balint Gergey, dipl. Arch. SIA/FGA, Mittlere Ringstr. 3, 3600 Thun.

Auf Initiative einer Arbeitsgruppe «Bauen und Gesundheit» der FGA des SIA führten diese Fragen zu den hier wiedergegebenen Klarstellungen und zum Fachartikel von H. Bartussek.

### Antworten auf Fragen eines Architekten

Das Haus oder – wie es die Frage formuliert – das «Gehäuse» ist für den Menschen das erweiterte Kleid. Kleid und Haus, beide haben dieselbe essentielle Aufgabe: Schutz des Menschen vor *schädlichen* Einflüssen der Umwelt. Dabei steht keineswegs die Trennwirkung im Vordergrund, sondern die *Dosier*-Wirkung. Das Kleid soll uns nicht vom Aussenklima hermetisch abtrennen, sondern seine Extremwerte fernhalten. Körperwärme soll uns dosiert verlassen und Aussen temperaturen sollen uns dosiert erreichen können. Wir wissen aus Erfahrung, dass angenehme Kleider, in denen wir uns



behaglich fühlen, aus Stoffen und Systemen bestehen, welche diese allmählichen Reaktionen auf die Umwelt ermöglichen. Andererseits halten z. B. Kleider aus Kunststoff-Folien wohl den Regen völlig ab, lassen aber darunter den Körper verschwitzen. So ist es auch bei der Bauhülle: Sie darf nicht nur, sie muss sogar auf die Umwelt- und Klimaeinflüsse Reaktionen ermöglichen. In diesem Sinne sind poröse Schichten willkommene Teile von Gebäudehüllen.

Es ist sicher nicht nur zweckmässig, sondern dringend notwendig, den Luftaustausch von Bauten durch definierte Öffnungen beherrschbar und kontrollierbar zu gestalten. Fugen und andere Öffnungen können jedoch nur eine der drei Funktionen der Porenlüftung erfüllen: den Luftaustausch. Anders verhält es sich mit der Zugfreiheit, die nicht ohne weiteres gegeben ist, und mit dem kaum möglichen Zusatzeffekt der Wärmehückgewinnung. Beanstandungen im Behaglichkeitsbereich zeigen eine ausgeprägte Häufigkeit von Klagen über Zugerscheinungen, auch bei hochgedämmten Häusern. Dies, obwohl längst bekannt ist, dass Umfassungsflächen mit ausreichenden Strahlungseigenschaften und Zugfreiheit auch bei tieferen Temperaturen ein behagliches Raumklima ergeben. Die z. T. sehr intensiv betriebenen Forschungen zur Raumlüftung suchen nach Möglichkeiten, dem Menschen die Luft in notwendiger Menge und Qualität, am richtigen Ort und mit den kleinsten negativen Nebeneffekten (Energieaufwand, Zugerscheinungen, Lärm, Gestank) im Gebäude zuzuführen. In ausgewählten Fällen könnte die Porenlüftung eine Lösung darstellen.

Der Energiebedarf eines Einfamilienhauses mit modernem Dämmstandard und sorgfältiger Ausführung setzt sich für Heizzwecke aus etwa 50 bis 60% Lüftungs- und 50 bis 40%

Transmissionsverlusten zusammen. Die Transmissionsverluste lassen sich auf die Raumabschlussflächen (Dach, Boden, Wände, Fenster) aufteilen. Wird der Verlust durch die Wände auf Null reduziert, lässt sich der Gesamtbedarf wirklich nur um den Wandanteil verkleinern. Aus dieser Sicht bringt die Porenlüftung durch die Wand keine riesigen Einsparungen. Immerhin ist bemerkenswert, dass diese – wenn auch nicht übergrosse – Einsparung in der Kombination mit Zugfreiheit entsteht, und so in etlichen Fällen zu prüfungswerten Lösungen führen kann. Je länger um so klarer wird erkannt, dass die überhandnehmenden Umwelt- und Energieprobleme nicht durch eine Supermassnahme lösbar sind. Im Gegenteil: Es bedarf die Summe aller, noch so kleiner Mittel, falls sie nur gekonnt verwendet werden. Auch die Porenlüftung ist eines dieser Mittel.

Beide erwähnten Sonnenenergiesysteme nutzen die hinter einer Glaswand anfallende Überschussenergie aus, um sie in einem festen Speicher zwischenzulagern. Solar Trap hat hinter dieser Glaswand verstellbare Lamellenstoren und Fenster, Solpor feste Wände. Solar Trap lagert die Wärme in einem im Rauminnen liegenden, gut isolierten (Hypocauste-)Speicher, dessen dosierte Entladung sich auf Tage erstrecken kann. Beim Solpor strömt die Warmluft direkt durch die Speicherwand, die sich nur für Stunden aufladen lässt.

Sicher können die Mauerpartien einer Südwand, welche – aus welchem Grund auch immer – nicht voll befenstert wird, als Solpor-Wände ausgebildet und somit zur Energiegewinnung eingesetzt werden. Ein solches Nebeneinander (nicht «Kombination») beider Systeme ist im speziellen Einzelfall denkbar. Keineswegs aber sollte eine tatsächliche Kombination im Sinne der gestell-

ten Frage angestrebt werden. Eine Energiegewinnung mit Transport nach Solar Trap, kombiniert mit einem porösen Speicher nach Solpor, würde zum Verlust der wesentlichsten Eigenschaften beider Systeme führen. Die im Rauminnen liegende, durchströmte Speicherwand könnte nicht mehr als Wärmetauscher wie beim Solpor dienen, während die Fähigkeit des Hypocauste-Speichers des Solar Trap, Energie tagelang zu speichern und dosiert abzugeben, ebenfalls verloren ginge.

Bei porösen Schichten, durch die Luft nur nach innen strömt, werden Geruchprobleme nur bei verseuchter Aussenluft entstehen. Anders verhält es sich bei Porenflächen, durch die sich der Luftstrom wahlweise nach innen oder aussen bewegt. Wahrscheinlich brächten hier geeignete Materialien eine Lösung, wobei deren Eigenschaft, keine Duftstoffe zu binden, in Versuchen nachgewiesen werden sollte. Einen speziellen Fall stellen Porenflächen dar, bei denen sich die Strömungsrichtung jahreszeits-weise ändert. Beim «Gegenstromverfahren» (Luft strömt gegen den Temperaturgradienten) dürften keine Geruchprobleme zu erwarten sein.

Obwohl eine solche Frage nicht gestellt wurde, ist vollständigkeitshalber festzuhalten, dass die Theorie der Porenlüftung nach *Bartussek* begründet und auch in der Praxis erprobt ist. Probleme beim Einsatz des Systems sind also nicht von dieser Seite zu erwarten. Echte Schwierigkeiten könnten – wie es auch *Bartussek* festhält – unter anderem bei der Erfüllung der an den Planer und die Ausführenden sowie an die ihrer Zusammenarbeit gestellten Ansprüche entstehen.

Adresse des Verfassers: Andreas Eggenberger, Masch.-Ing. HTL, Fachingenieur für Bauphysik, 3400 Burgdorf.

## Einsatz von grossflächigen Solaranlagen

### Erkenntnisse aus der ersten schweizerischen industriellen Solaranlage bei Rimuss

Von Josef Vlastislav Hurdes, Schaffhausen

**Das Interesse der Bauherren an Sonnenenergieanlagen ist, hauptsächlich wegen den ständigen Unsicherheiten bei der Erdölversorgung, aber auch wegen der immer wachsenden Umweltbelastung durch Heizölabgabe, weiterhin bestehend. Dieses Interesse beschränkte sich bisher allerdings vorwiegend auf Einfamilienhäuser, bei grösseren Objekten blieb eine rasche Verbreitung der Sonnenenergie aus. Dies hauptsächlich weil die Solaranlagen relativ kapitalintensiv sind und die Risiken, verbunden mit dem Bau und Betrieb von solchen Anlagen, relativ gross waren.**

Im Jahre 1983 wurde bei der Rimuss-Kellerei in Hallau im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und als ein Projekt der Internationalen Energieagentur eine Pilot- und Demonstrationsanlage erstellt, an der die Technik und die Wirtschaftlichkeit grossflächiger Sonnenenergienutzung genau untersucht werden sollte. Das Projekt wurde durch die Universität Genf begleitet und alle Parameter, die mit der Effizienz und der Wirtschaftlichkeit grossflächiger solarer Wärmeerzeugung zusammenhängen, genau analysiert. Nun liegen Resultate vor, aus denen Konsequenzen für den Bau weiterer ähnlicher Anlagen, und zwar nicht nur in der Industrie sondern auch im Hochbau, gezogen werden können. In diesem Artikel werden die wichtigsten Parameter diskutiert, die die Wirtschaftlichkeit grossflächiger Sonnenenergieerzeugung beeinflussen.

### Solare Wärmekosten

Der Preis einer solaren Kilowattstunde stellt die Basis für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit dar. Er ist von einer Reihe von Parametern abhängig; zu diesen gehören hauptsächlich die Erstellungskosten der solaren Anlage, die Kosten des eingesetzten Kapitals (Verzinsung), die Lebenserwartung der Solaranlage und die Betriebs- und Unterhaltskosten einerseits, die Menge der erzeugten und an den Verbraucher abgegebenen Energie (Wärmemenge) andererseits. Viele der obenerwähnten Parameter variieren von Tag zu Tag und von Monat zu Monat; sie wurden deshalb auf einer jährlichen Basis ermittelt, um zu realistischen und praktisch anwendbaren Kosten der solaren Wärmeerzeugung zu gelangen. Bei Rimuss erreichten die einzelnen Parameter folgende Werte: