Energiesparender Holzausbau in Schweden: Erfahrungen einer Studienreise

Autor(en): **Michel, Daniel**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **106 (1988)**

Heft 9

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-85651

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Energiesparender Holzhausbau in Schweden

Erfahrungen einer Studienreise

Dieser Bericht skizziert die Grundlagen des energiesparenden Holzhausbaus in Schweden, basierend auf einem Forschungs- und Arbeitsbericht der Holzabteilung der EMPA [1]. Dabei wird insbesondere auf die energietechnisch wichtigen Faktoren Wärmedämmung und «Luftdichtigkeit» eingegangen. Es zeigt sich, dass uns die schwedische Bauwirtschaft in dieser Hinsicht technologisch und wirtschaftlich ein gutes Stück voraus ist. Ein Einfamilienhaus lässt sich kostengünstiger erstellen als bisher und hat zudem einen reduzierten Jahresenergieverbrauch von weniger als 10 000 kWh (36 000 MJ), inkl. Heizung, Warmwasser, Licht, Wasch- und Geschirrspülmaschine.
Die kurze Übersicht soll Anregungen und Gedanken an den schweizerischen Holzbau weitergeben. Nicht alles lässt sich direkt auf schweizerische Verhältnisse übertragen, manches mag aus unserer Sicht sogar fragwürdig erscheinen. Von den vielen Erfahrungen im Bereich der konstruktiven Lösungen, der Materialwahl und der Bauweise lässt sich aber auch bei uns lernen.

VON DANIEL MICHEL, ZÜRICH

Schwedens heutige Energiepolitik

Nach der Ölkrise 1973 ging Schweden rasch daran, ein Programm auszuarbeiten, um den Energieverbrauch drastisch zu senken und das Erdöl zu substituieren (Reduktion des Energiebedarfes für Heizung und Warmwasser der Haushalte und öffentlichen Gebäude von 121 TWh/436 · 10^6 MJ (1978) auf 78 TWh/280 · 10^6 MJ). Kurzfristig plante man, auf Atomkraftwerke auszuweichen, die bis in etwa 20 Jahren jedoch durch andere, bis dahin ausgereifte Energiequellen ersetzt werden sollen.

Um diese Ziele zu erreichen, erliess der Staat ein umfangreiches Engergiegesetz, das laufend verschärft und ausgebaut wird, nahm massive steuerliche Eingriffe vor (z. B. künstliche Verteuerung sämtlicher Energie), förderte mit diesem Geld Energiesparmassnahmen (günstige Kredite usw.) und vergass auch nicht, mit Energieberatungsstellen (bis hinunter auf Gemeindeebene) sowie durch Schulungsanstrengungen das Wissen in der Bevölkerung möglichst breit abzustützen.

Naben den Zielwerten für den Energiebedarf sind für die Wärmedämmung, die Luftdurchlässigkeit eines Gebäudes und die Wärmerückgewinnung ebenfalls gewisse Richtwerte vorgegeben; sie werden - zumindest bei Neubauten - auch kontrolliert.

Diese Vorschriften werden immer wieder dem Stand der Technik angepasst und weiter verschärft. Als Dicke der Wärmedämmung von Wänden (Holzbauweise) reichten 1980 noch 13 cm (k = 0,25 W/m² · K). 1984 musste man immerhin schon 26 cm dicke Isolationen einbauen, um eine elektrische Heizung installieren zu dürfen. Inzwischen werden auch schon extrem isolierte Häuser mit 40 cm und in Dächern mit 60 cm Dämmstoffdicke gefertigt. Eine ähnliche Entwicklung lässt sich bei der zulässigen Grösse der Luftdurchlässigkeit beobachten.

Schwedens Holzbauweise heute

Unter dem Druck der Energiespargesetzgebung und der darauf beruhenden Vorschriften entwickelten sich in Schweden hauptsächlich folgende zwei Holzbausysteme:

- ein weiterentwickelter Elementbau mit sehr guter Wärmedämmung und geringer Luftdurchlässigkeit (keine Zugluft)
- eine Modulbauweise, wobei das Erdgeschoss angeliefert wird und nur noch das Dach aufgerichtet werden muss.

Beim ersten System wurde vor allem das Zusammensetzen und Verbinden der Elemente verbessert. Dank spezieller Gummidichtungen, kombiniert mit sich verkeilenden Verbindungsmitteln, ist gegenüber früher eine erhebliche Verbesserung der Gebäudedichtigkeit erreicht worden (Bild 1).

Häuser in der Modulbauweise werden in der Fabrik soweit vorgefertigt, dass auf der Baustelle nur noch zwei bis drei Teile auf das Fundament gestellt werden müssen und innerhalb kurzer Zeit zusammengehängt werden können. Der ausgebaute Dachraum benötigt die längste Erstellungszeit (2 bis 3 Stunden). Da alle Module vollständig in Kunststoffolie verpackt geliefert werden (Bild 2), ist die Aufrichtungsdauer die einzige Phase, bei der die Elemente der Witterung ausgesetzt sein können.

Bei beiden Systemen werden mit dem Rohbau das gesamte Installationssystem ab Kriechkeller und der gesamte Innenausbau inkl. Apparate mitgeliefert und montiert (Bild 3). Damit werden Montagezeiten (bis zur Bezugsbereitschaft) von einer Woche möglich.

Ebenfalls sehr bedeutsam sind folgende Vorzüge dieser Bausysteme:

- Die Fabrikation ist in geschlossenen Werkhallen, mit optimalen Arbeitsbedingungen für die Handwerker, möglich (Bild 4)
- Es wird trockenes Holz verarbeitet, das auch bei der Montage trocken bleibt.

Auf diese Weise werden wesentlich höhere Ausführungsqualitäten erreicht, als dies bei einer Baustellenfertigung möglich ist.

Auswirkungen der Energiepolitik auf die Detailkonstruktion

Wärmedämmung

Bei Wärmedämmschichten von 30 cm Dicke und mehr können die an sich schlecht wärmeleitenden tragenden Holzteile bereits als Wärmebrücken wirken. Es wurde versucht, diesem Effekt konstruktiv zu begegnen. Diese Entwicklung sei hier kurz beschrieben.

Nachdem man die Wärmedämmung immer dicker ausgeführt hatte, begann man sie in zwei Lagen aufzuteilen (Bild 5b). Dadurch wurde der Wärmebrückeneffekt der Ständer etwas gemindert. Beim Versuch, den Wärmedurchgangswiderstand des Ständers selbst zu verbessern, haben sich in Schweden bei einzelnen Fertighausherstellern zwei verschiedene Lösungen durchgesetzt.

Ein System basiert auf Stegträgern (Doppel-T-Trägern) aus zwei festigkeitssortierten Doppellatten und einem

Steg aus 6 oder 8 mm Hartfaserplatte (Bild 5c). Mit diesen Trägern kann eine gesamte Hauskonstruktion inkl. Böden und Decken, Wänden und Dach erstellt werden. Die Zwischenräume werden mit Wärmedämm-Matten ausgefüllt, wobei verschiedene Möglichkeiten der Mattenanordnung bestehen (Bilder 6 und 7). Vom Fabrikanten werden umfangreiche Unterlagen mit Berechnungsdiagrammen für die gesamte Statik und vielen Detailzeichnungen zur Verfügung gestellt.

Das zweite Tragsystem besteht ebenfalls aus zwei Doppellatten, die aber durch Holzdübel miteinander verbunden sind. Zu ihrer Herstellung werden die Doppellatten in festen Abständen einseitig vorgebohrt. In eine der beiden Latten werden sodann die Dübel eingeleimt. Darüber wird ein Stück vorgebohrte Wärmedämmung gestülpt; zuletzt wird die zweite Doppellatte mit den Dübeln verleimt. Es entsteht ein tragendes Sandwichelement, dessen statische Eigenschaften mittels Diagrammen einfach ermittelt werden können (Bild 8). Bislang wird dieses System allerdings nur in jenem Fertighausbetrieb eingesetzt, in dem es entwickelt wurde.

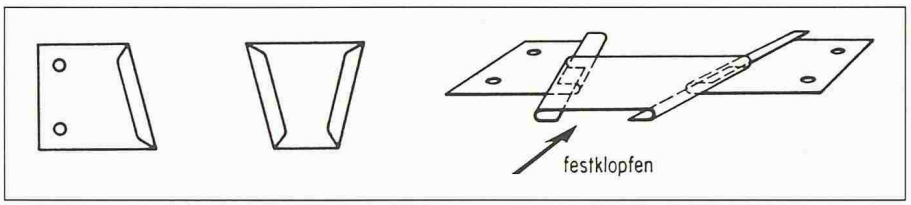


Bild 1. Teile zur Verbindung der verschiedenen Elemente

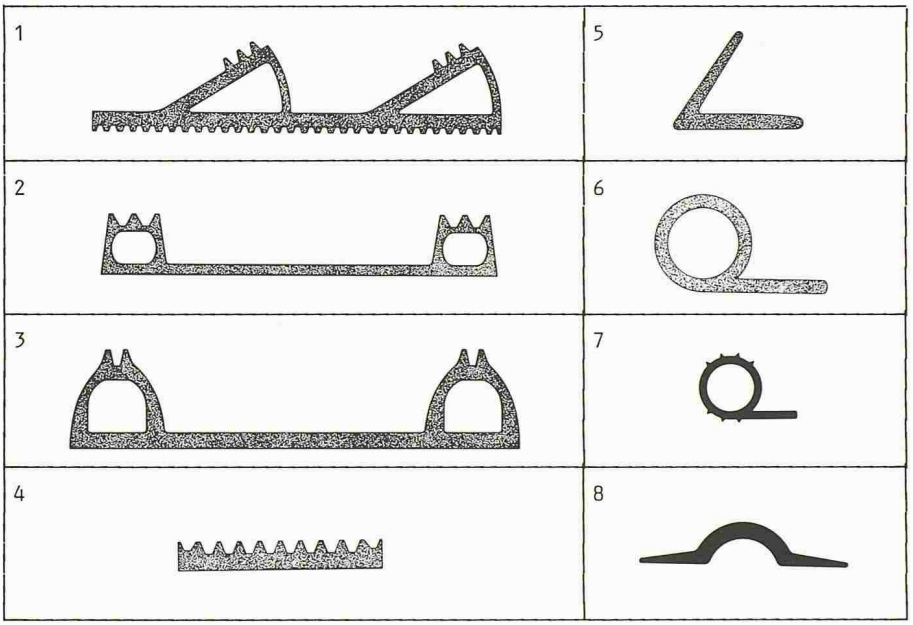


Bild 1a. Verschiedene Typen von Gummiprofilen

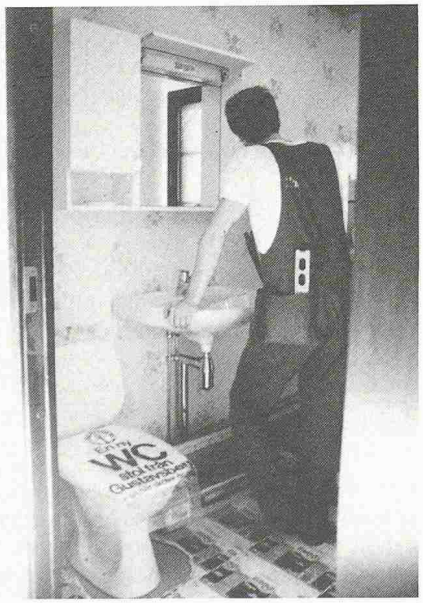


Bild 3. Installations- und Apparateeinbau im Werk

Luftdichtungsebene

Im schwedischen Holzbau wird die Luftdichtungsebene mit der Dampfsperre kombiniert (Unterschiede siehe [2]); sie besteht meist aus einer Kunststoffolie. Bei deren Verarbeitung wird darauf geachtet,

- die Anzahl der Stossstellen zu minimieren (Bild 9)
- unvermeidbare Stossstellen immer auf das Konstruktionsholz zu legen
- möglichst wenig Durchdringungen der Luftdichtungsebene zu erlauben
- und nachträgliche Durchbrechungen zu vermeiden (z. B. im Wandquerschnitt Hohlräume für den Elektriker vorsehen).

In der Fertighausindustrie werden die Massnahmen ergänzt durch ein teamorientiertes Arbeiten, das Rückmeldungen zur Konstruktionsabteilung ermöglicht (z. B. bezüglich der Ausführbarkeit eines konstruktiven Details). Wie bei der Herstellung irgendwelcher anderer Produkte ist eine fabrikinterne Qualitätskontrolle vorgesehen; bei Gemischtbauten wird auch oft eine thermographische Bauabnahme vertraglich vereinbart.

Energiekonzept

Das Energiekonzept eines schwedischen Wohnhauses unterscheidet sich von jenem eines schweizerischen:

Bild 2. Verladebereites Modul

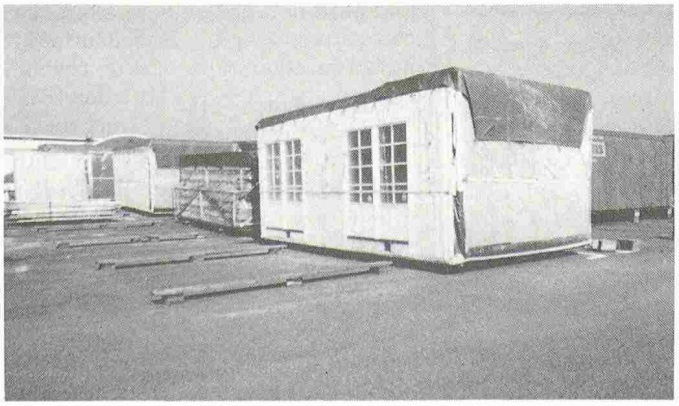
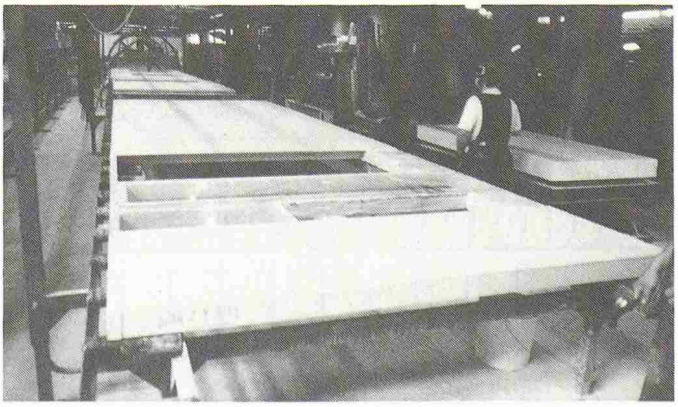


Bild 4. Arbeit bei optimalen Arbeitshöhen



Verbraucher / Consumption category		Energieverbrauch 1) Energy use TWh				Mittlere jährliche Verbrauchsänderung Average annual change %	
		1965	1973	1981	1982 2)	1965-1973	1973-1981
Industrie	Industry	122	160	137	141	3.4	-2.3
Elektrizität	Electricity	27	38	40	42	4.4	0.4
Erdölprodukte	Fuel	95	122	97	99	3.2	-3.2
Verkehr	Transport	58	73	74	76	2.9	-0.1
Elektrizität	Electricity	2	2	2	2	0.0	1.1
Erdölprodukte	Fuel	56	71	72	74	3.0	-0.1
Wohnbauten, Dienstleistungen etc.	Housing,services,etc.	126	168	159	150	3.7	-0.3
Elektrizität	Electricity	13	29	46	46	10.6	6.1
Erdölprodukte	Fuel	113	139	113	104	2.6	-2.1
Benötigte Jahresenergie	Total final use	306	401	370	367	3.4	-1.0
Elektrizität	Electricity	42	69	88	90	6.4	3.0
Erdölprodukte	Fuel	264	332	282	277	2.9	-2.0
Transmissions- und Umwandlungsverluste Transmission and conversion losses		20	42	23	23	9.7	-2.9
Gesamtenergieverbrauch Total energy supplied		326	443	393	390	3.9	-1.2
Gesamtenergieverbrauch eines klimat. Durschnittsjahres Temperature - adjusted total energy supplied		323	443	387		4.0	-1.4

1) Gerundete Zahlen, ohne Erdöl für nicht energetische Verwendung und für Krisenlager, aber mit jenem für Flugzeuge und Schiffe (inkl. ausländische)
Rounded-off values. Figures stated exclusive of oil use for non-energy purposes and oil for emergency reserves

2) Vorläufige Zahlen / Preliminary figures

Tabelle 1. Energieverbrauch in Schweden in den Jahren 1965, 1973, 1981 (in Terrawattstunden; 1 TWh = 10^9 kWh)

Tabelle 2. Verteilung der Finanzierungshilfen auf verschiedene Gebäudegruppen

	Ausgewiesene Kosten Approved cost Mio SEK 1)	Darlehen Loans Mio SEK 1)	Subventionen Grants Mio SEK 1)	Total Total aid Mio SEK 1)
Wohnbauten Residential housing	5'306	3'795 2)	1'515	5'305
Nationale Verwaltungsgebäude National government buildings	285	—	285	285
Regionale Verwaltungsgebäude Local government buildings	1'593	25	515	540
Öffentliche Bauten (z.B.Mehrzweckhallen) Public meeting halls etc.	54	—	22	22
Büro- und Industriebauten 3) Commercial and industrial buildings	630	—	190	190

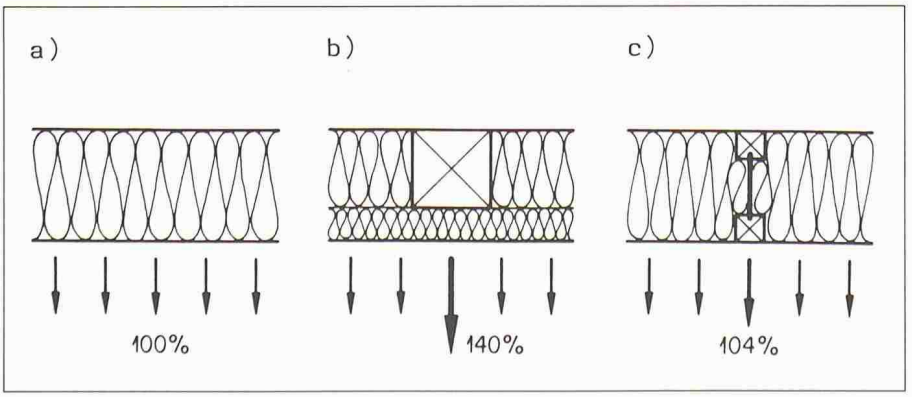
1) Schwedische Kronen (100 SEK = ca. 25 Sfr.)

2) Sanierungsdarlehen inbegriffen/Including improvement loans

3) Näherungswerte/Approximate figures

aus "Energy Conservation in Sweden" by Swedish Energy Conservation Comittee, 1982

Bild 5. Transmissionsverluste verschiedener Wandaufbauten



Neben der sehr weitgehenden Wärmedämmung (üblicher k-Wert nur halb so gross wie beim schweizerischen Leichtbau), wird auf eine möglichst kleine Luftdurchlässigkeit geachtet. Da ein mechanisches Lüftungssystem (z. B. Fortluftanlage) zur Anwendung gelangt, ist auch bei einem Haus mit einer sehr dichten Gebäudehülle ein Mindestluftaustausch gewährleistet. Ein solches Lüftungsprinzip funktioniert üblicherweise folgendermassen:

Die Luft wird an den Quellen der grössten Verunreinigungen abgesogen, also im Bad und in der Küche und neuerdings auch im Schlafzimmer. Die Zuluft ist über regulierbare kleinere Öffnungen in der Aussenwand (Bild 10), mindestens im Treppenhaus und im Wohnzimmer, wählbar. Daneben können noch einzelne Fenster geöffnet werden; die meisten Fenster sind allerdings fest verglast. Die warme Abluft wird über den Wärmetauscher einer Wärmepumpe geleitet und heizt den Warmwasserspeicher auf bzw. vor.

Immer mehr wird noch auf weitere Details geachtet, die Energieeinsparungen ermöglichen:

- einfache Heizungssysteme mit individuell regelbarer Raumtemperatur
- energietechnisch günstige Haushaltgeräte
- energie- und wassersparende Installationen
- niedrige Warmwassertemperaturen (Bad 38 °C, Küche 45 °C).

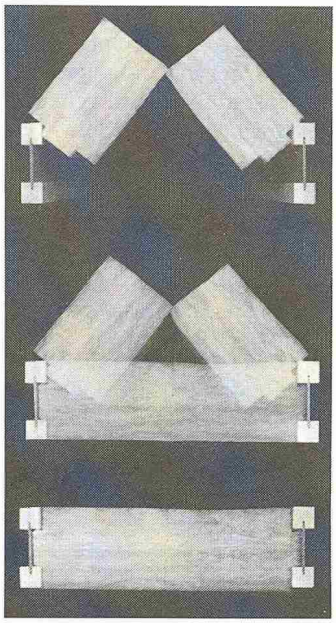
Zusätzlich wird seit neuester Zeit eine Benutzeranleitung für das energiegerechte Bewohnen mitgeliefert.

Kritische Gedanken

Die modernen, energiesparenden Lösungen im schwedischen Wohnhausbau gehen für unsere Begriffe - zurzeit - ziemlich weit. Es erscheint mir sinnvoll, einige kritische Gesichtspunkte zu ergänzen.

Der erste Einwand, der heute sehr oft geäussert wird, entspringt der Abneigung gegen das Wohnen in einem mit Kunststoffolien gedichteten Haus, das nicht «atmen» kann. Dabei ist allerdings zu beachten:

1. Es ist möglich, eine Luftdichtung/Dampfbremse zu wählen, die keinen Kunststoff enthält (z. B. auf Bitumen- oder Paraffinbasis): wichtig ist allein, dass die Anschlüsse luftdicht sind. Sie müssen aber nicht unbedingt extrem dampfdicht sein.
2. Vor der Verwendung einer allzu durchlässigen Dampfbremse ist aber zu warnen, da aus physikalischen Gründen im Winter von innen nach



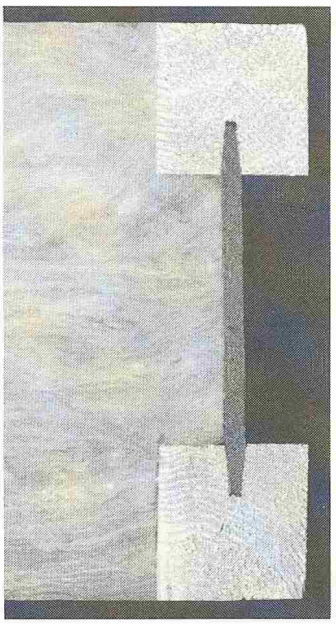


Bild 6. Spezielles Wärmedämmsystem für Masonite-Balken

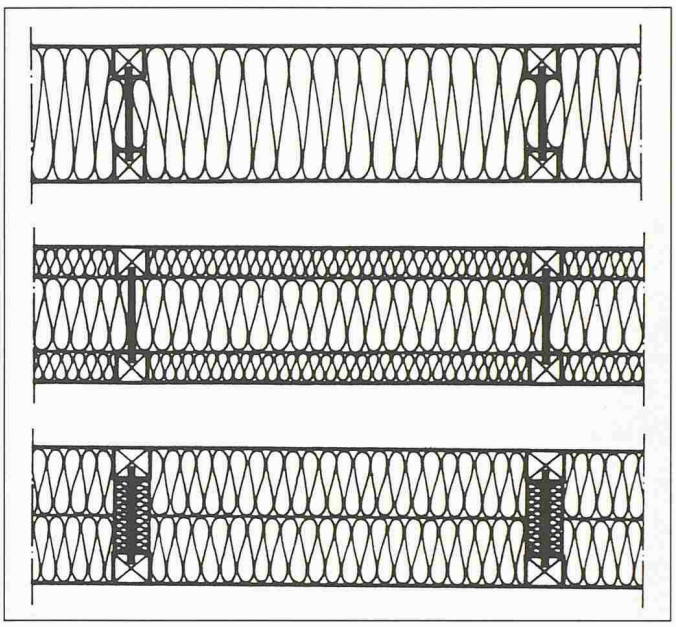


Bild 7. Möglichkeiten der Wärmedämmung zwischen Masonite-Balken

aussen ein starkes Dampfdruckgefälle herrscht. Die entsprechende Feuchtigkeitsdiffusion bewirkt ein Absinken der Raumluftfeuchte, was gesundheitlich abträglich sein kann.

3. Es ist auf jeden Fall zu überprüfen, ob die Dampfbremse wirklich dampfdichter ist als alle weiter aussen liegenden Ebenen des Wand- bzw. Dachaufbaues, da sonst in der Wand Kondensation auftreten kann.

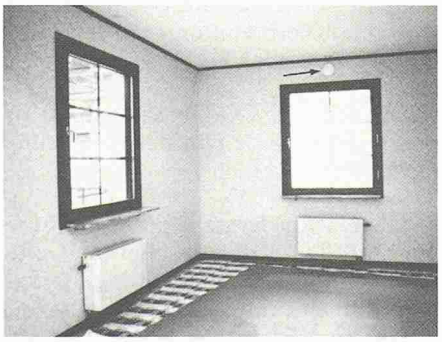
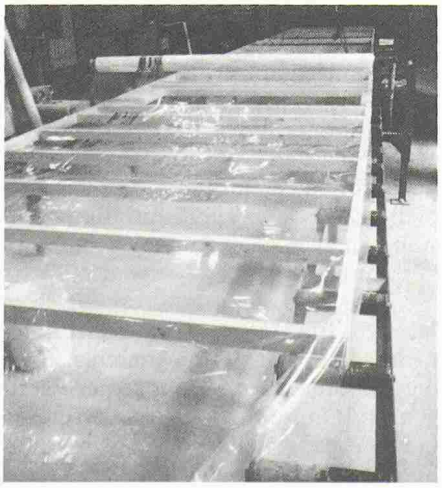


Bild 10. Regulierbare Zuluftöffnungen

Bild 9. Stossfreie Luft-/Dampfdichtungsebene eines Wandelementes

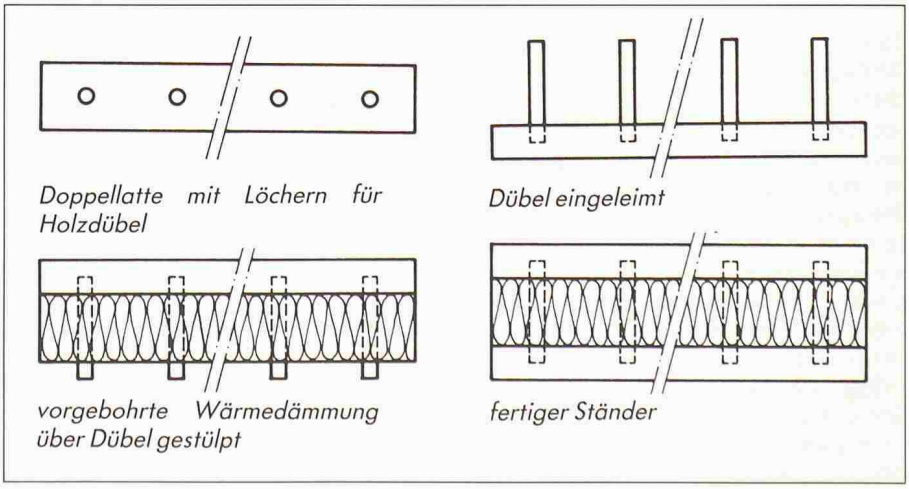


4. Das Argument, derart luftdichte Häuser gefährdeten die Behaglichkeit und Gesundheit, ist wissenschaftlich nicht haltbar. Fest steht hingegen, dass hohe Luftdurchlässigkeiten Bauschäden, Energieverluste und zudem mangelndes Wohlbefinden verursachen können.

Für Mitteleuropäer und besonders für Schweizer dürfte es auch ungewohnt sein, dass im Wohnzimmer kein Fenster geöffnet werden kann. Gerade hier besteht besonders in der wärmeren Jahreszeit der Wunsch nach Bedarfslüftung durch Fensteröffnen.

Da andererseits alle anderen Räume mit zu öffnenden Fenstern ausgestattet sind, stellt sich von der energietechnischen Seite her ausserdem die berechtigte Frage, wie weit überhaupt die gemessene Luftdurchlässigkeit der Häuser mit derjenigen im bewohnten Zustand übereinstimmt und inwiefern sich die Luftdurchlässigkeit mit dem Alter des Hauses verändert.

Bild 8. Wärmegedämmte Ständer



In Schweden ist man bis heute dieser Frage offenbar noch nicht nachgegangen; jedoch kann mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass sich die Veränderungen durch Alterung in wesentlich kleinerem Rahmen bewegen als in der Schweiz, da zumindest für den Fertighausbau nur technisch getrocknetes Holz verwendet wird.

Die kritische Auseinandersetzung mit dem sehr energiesparenden modernen Wohnhauskonzept Schwedens ist notwendig, wenn man über Möglichkeiten der Übernahme schwedischer Erfahrungen in die Schweiz diskutiert. Vieles wird sich bei uns in absehbarer Zeit gewiss nicht realisieren lassen, das eine oder andere würde auch nicht in unsere Verhältnisse passen. Das schwedische Beispiel ist aber dennoch äusserst wertvoll, insbesondere für unseren Holzhausbau. Wenn wir uns nicht einige grundsätzliche Gedanken zur kontrollierten Energieeinsparung zu eigen machen, wird unser Holzhausbau auch zu-



Bild 11. Beispiel eines Hauses in Täby

künftig einen schweren Wettbewerbsstand haben. Einige bestehende, sehr positive Beispiele des Typenhausbaus in der Schweiz zeigen, dass sich hochenergiesparende Konzepte auch bei uns verwirklichen lassen.

Literatur

[1] *Michel, D.* 1986: Energiesparender Holzhausbau in Schweden. Forschungs- und Arbeitsbericht der Abt. Holz Nr. 115/12 EMPA-Dübendorf

[2] *Michel, D.* 1985: Optimaler Luftaustausch in Wohnbauten - Geeignete Lüftungsmethode und konstruktive Lösungsansätze. SIA-Doku D 001, Reihe «Planungsunterlagen zu Energie + Gebäude», Zürich

Adresse des Verfassers: *D. Michel,* dipl. Kultur-Ing. ETH, Tokyo 6 Kogyo Daigaku, Chair Prof. Chatani Masahiro, O-Okayama, Meguro-Ku, Tokyo, 152, Japan (vormals EMPA Dübendorf, Abt. Holz).

Brennholz und Holzabfälle

Mitteilungen zur Luftreinhalte-Verordnung (LRV)

In einer Holzfeuerung darf laut Luftreinhalte-Verordnung (LRV) nur reines Brennholz verbrannt werden. Werden andere Holzarten oder Holzabfälle verbrannt, so gelten die Emissionsbegrenzungen nach Anhang 2 Ziffer 72 oder 71 der LRV. Entscheidend für die anzuwendenden Emissionsvorschriften ist somit die Art des zu verbrennenden Materials.

Das *Konzept der LRV* unterscheidet zwischen:

- reinem (naturbelassenem) Brennholz
- unproblematischen Holzabfällen
- problematischen (Holz-)Abfällen

Das Verbrennen dieser Brenn- resp. Abfallstoffe muss, in der Reihenfolge ihrer Aufzählung, mit zunehmendem technischem Aufwand erfolgen, damit auch die lufthygienischen Erfordernisse erfüllt werden können. Jede dieser Brennstoff- bzw. Abfallkategorien muss in einer dafür geeigneten Anlagekategorie eingesetzt werden. Die LRV trägt diesem Umstand durch differenzierte Grenzwerte Rechnung. Je problematischer ein Brennstoff oder Abfall lufthygienisch sein kann, desto mehr Schadstoffkomponenten müssen begrenzt und somit auch kontrolliert werden.

Reines naturbelassenes *Brennholz* (Anhang 5) gilt in der Regel als wenig problematischer Brennstoff und kann in einer modernen Holzfeuerung nach Anhang 3 weitgehend raucharm verbrannt werden.

Für Feuerungsanlagen bis 70 kW Feuerungswärmeleistung sind deshalb keine Emissionsgrenzwerte und für grössere Anlagen bis 1 MW lediglich ein (einfach kontrollierbarer) Staubgrenzwert vorgeschrieben (Anh. 3 Ziff. 52). Die allgemeinen Emissionsgrenzwerte für krebserzeugende Stoffe, Schwermetalle usw. nach Anhang 1 gelten für diese Anlage nicht und müssen folglich auch nicht gemessen werden.

Bereits bei relativ unproblematischen *Holzabfällen* ist dagegen eine umweltgerechte Verbrennung nicht ohne weiteres gewährleistet. Selbst Kleinanlagen müssen hier über eine ausgereifte Verbrennungstechnik verfügen. Aus diesen Gründen wurde der Geltungsbereich für die Holzabfallverbrennung nach Anhang 2 Ziffer 72 auch auf Kleinanlagen unter 70 kW ausgedehnt. Im weiteren gelten für die Holzabfall-Verbrennung - im Gegensatz zur Brennholz-Verbrennung - alle anderen Emissionsgrenzwerte nach Anhang 1.

Für die Praxis bedeutet die Ausdehnung des Geltungsbereiches auf die Kleinanlagen unter 70 kW, dass auch für diese Anlagen eine Abnahmemessung sowie periodische Emissionskontrollen erforderlich sind. Anlagen zur Holzabfall-Verbrennung werden also strenger behandelt als Holzfeuerungen.

(Bezüglich des CO-Grenzwertes trifft dies nicht zu. Eine künftige Anpassung muss geprüft werden.)

Werden lufthygienische *problematische Holzabfälle* wie zum Beispiel alte Eisenbahnschwellen, Leitungsmasten oder ähnliche, intensiv mit chemischen Holzschutzmitteln behandelte Holzabfälle verbrannt, so besteht das Risiko, dass namhafte Mengen an krebserzeugenden Stoffen (aus Teerölen) sowie an Schwermetallen (aus Imprägniersalzen) oder gar hochtoxische Stoffe wie Dioxine (aus Holzschutzmitteln wie Pentachlorphenol) emittiert werden.

Im Sinne der Vorsorge sind derartige Holzabfälle den eigentlichen Abfällen zuzuordnen. Sie dürfen nur in den speziell dafür geeigneten Abfallverbrennungsanlagen nach Anhang 2 Ziffer 71 verbrannt werden.

Ist in Grenzfällen eine Zuordnung nicht ohne weiteres möglich, so kann die Behörde durch Emissionsmessungen prüfen, ob Emissionsgrenzwerte nach Anhang 1 überschritten werden, und anschliessend entscheiden.