

# Holzhäuser in Schweden

Kurzdokumentation einer Studienexkursion



Autor: Dipl.-Ing. Michael Rentz  
Kurzdokumentation einer Studienexkursion nach  
Fågelfors, Myresjö und Ingelstad; im Januar 1994

Fotos: Michael Rentz  
Informationsmaterialien der Firmen Fågelforshus  
und Myresjöhus

Grafiken: aus /1/ [Prof. A. Elmroth]  
Karin Adalberth, Lund University

Reprotechnik: Reda Hatteh

Best.-Nr.: 02/94  
ISBN 3-927846-46-5

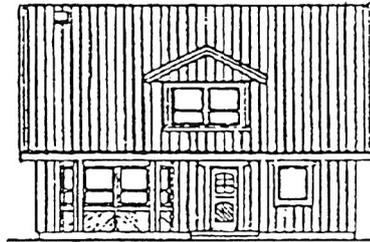
Institut Wohnen und Umwelt GmbH  
Darmstadt, April 1994

## **Inhalt**

"Holzhäuser in Schweden" - Einleitung . . . . .	S. 3
Konstruktionsmerkmale moderner schwedischer Holzhäuser . . . . .	S. 5
Vorfertigung . . . . .	S. 15
Ökologische Gesichtspunkte . . . . .	S. 19
Literatur . . . . .	S. 21
Anhang . . . . .	S. 22

## "Holzhäuser in Schweden" - Einleitung

"Hausbau" heißt in Schweden traditionell praktisch automatisch "Holzbau". Von daher ist es nicht verwunderlich, daß Entwicklungen, die in den letzten 20-50 Jahren im schwedischen Hausbau stattfanden, im Holzbau stattgefunden haben. Ebensovwenig ist es verwunderlich, daß tatsächlich ein fortschrittlicher Entwicklungsstand erreicht wurde. Deutlich wird auch, daß in Schweden nie das Problem bestanden hat, von (fortschrittlichen) Massivbauweisen auf fortschrittliche Holzbauweisen umzuschwenken; dies ist eher der Denkansatz traditioneller Massivbauer, wenn sie sich mit Holzbau beschäftigen. Aber dieser Ansatz ist falsch, da die Auseinandersetzung mit Vor- und Nachteilen des Holzbaus nie einen ausschließenden, sondern immer nur einen ergänzenden Charakter haben kann: Es gilt, Holzbau als fortschrittliches System für sich zu betrachten und Entwicklungen, die bereits stattgefunden haben, zur Kenntnis zu nehmen und soweit möglich Nutzen hieraus zu ziehen. Es kann leicht gezeigt werden, daß Holzbau nicht zwangsläufig minderwertig sein muß, sondern daß zahlreiche Beispiele für das Gegenteil existieren. Dazu gehört u. a. der schwedische Holzbau.



Die Vorfertigung ist speziell im skandinavischen Holzbau hauptsächlich deswegen so weit entwickelt, weil das Ausgangsmaterial für den Hausbau seit langer Zeit Holz ist (und dieses sich traditionell in besonderem Maße für die Vorfertigung eignete, da die Handhabung der vorgefertigten Teile aus Holz auf der Baustelle geringere Probleme verursachte als das bei Massivbauweisen der Fall gewesen wäre). Die industrielle Vorfertigung stellt in diesem Zusammenhang eine logische Fortentwicklung dar, um auch gehobenen Anforderungen hinsichtlich Präzision, Komfort und Ökologie, insbesondere des Energiebedarfs, mit weiterhin vertretbarem finanziellen Aufwand entsprechen zu können. Eine zukünftig

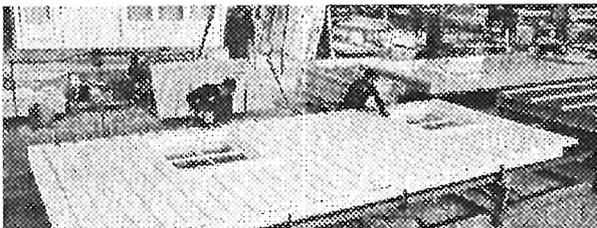


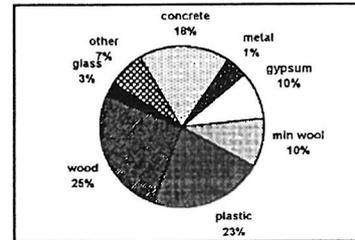
Abb. 1: Vorfertigung eines Wandelements

möglicherweise größere Bedeutung kommt dem rationellen Materialeinsatz zu, der im Rahmen der Vorfertigung bei vielen Materialien eher geplant werden kann als bei der Verarbeitung der Materialien auf der Baustelle.

Gerade den Wärmeschutz betreffende Details lassen sich auf der Baustelle teilweise nur unzureichend oder zu erhöhten Kosten ausführen oder entziehen sich der qualitativen Kontrolle bei gleichzeitig höherer Fehlerwahrscheinlichkeit. Die Anforderungen an die Bauüberwachung auf der Baustelle steigen somit an und können sinnvolle

Verbesserungen des baulichen Wärmeschutzes auf diese Weise wirtschaftlich disqualifizieren. Ein Vorteil der Vorfertigung liegt darin, Teile der Qualitätskontrolle von der Baustelle in die Fertigung zu verlegen, wo auch eine unmittelbare Nachbesserung kostengünstiger möglich ist.

Eine zunehmende Bedeutung kommt der ökologischen Gesamtbilanz eines Gebäudes im Laufe seiner Lebensdauer zu, z. B. Energiebedarf für Transport und Herstellung der verwendeten Materialien sowie für die Erstellung des Gebäudes, Auswahl und Wiederverwertbarkeit von Materialien; dies betrifft den Holzbau in gleicher Weise wie andere Bauweisen. Untersuchungen und wissenschaftliche Erkenntnisse hierzu sind noch nicht sehr weit fortgeschritten, erste Ansätze zeigen jedoch bereits in diese Richtung.



Ökologische Anforderungen sowie Anforderungen an den Wohnkomfort lassen sich mit Massivbauweisen und modernen Holzbauweisen gleichermaßen kostengünstig verwirklichen, insbesondere würden "schwedische" Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz nicht zwangsläufig vom Massivbau wegführen. Die skandinavischen Erfahrungen deuten jedoch darauf hin, daß mit modernen Vorfertigungstechniken und deren Ausweitung auf mehrgeschossige Bauweisen teilweise erhebliche Baukostensenkungen bei gleichzeitig hohen qualitativen baulichen Standards erreicht werden können.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> s. a. Becker, K.; K. Tichelmann: "Verdichteter Wohnungsbau mit Holz", Studie zur Anwendung von Holz und Holzwerkstoffen im verdichteten Wohnungsbau in Hessen, herausgegeben vom Hessischen Ministerium für Landesentwicklung, Wohnen, Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, Wiesbaden 1994

## Konstruktionsmerkmale moderner schwedischer Holzhäuser

Das Bauen in Schweden - traditionell eher bekannt durch einen ästhetischen Aspekt, der sich mit dem Begriff "Holzhaus" verbindet - ist in den letzten Jahren auch im Rahmen der Luftschadstoff- und Klimadiskussion durch die hinsichtlich der Vorgaben für den baulichen Wärmeschutz fortschrittliche Schwedische Baunorm (SBN) zumindest in Fachkreisen bekannt geworden. Wenn auch die ursprüngliche Zielsetzung erhöhter Anforderungen an den Wärmeschutz die Verringerung der Abhängigkeit Schwedens von Ölimporten war, stellen doch das praktische Ergebnis und die stattgefundenen Entwicklungen einen beachtlichen Maßstab für die ökologische Diskussion im Hinblick auf das, was machbar ist, dar. Die zunehmende Verbreitung der Niedrigenergiebauweise auch in Deutschland bisher ohne gesetzliche Vorgaben geht zu einem nicht geringen Anteil auf die schwedische Erfahrung und die konsequente Durchsetzung zurück. Im folgenden sollen einige charakteristische Merkmale aufgrund von Entwicklungen aus den zurückliegenden Jahren beschrieben werden.

### Wände

Wände werden vorwiegend einschalig in Holzrahmenbauweise errichtet. Die Gefache werden mit Dämmmaterial ausgefüllt, in der Regel mit Mineralwolle, andere Materialien sind möglich. Die Ständer (und Wandstärken) entwickelten sich in den letzten 20 Jahren entsprechend den gesetzlichen Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz weiter. Während die traditionellen "two-by-four"-Ständer (2 x 4 inches, entsprechend einer Dämmstärke von ca. 10 cm) anfänglich noch durch Querlattungen aufgefüllt wurden, um neue, k-Wert-bedingte Wandstärken zu erreichen, wurden Massivholzständer bei Wand- bzw. Wärmedämmstärken von 20 - 25 cm zunehmend ökonomisch un-

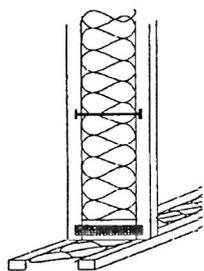


Abb. 3

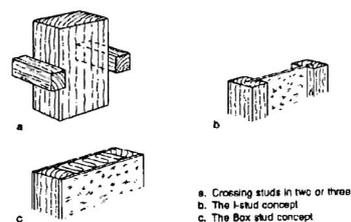
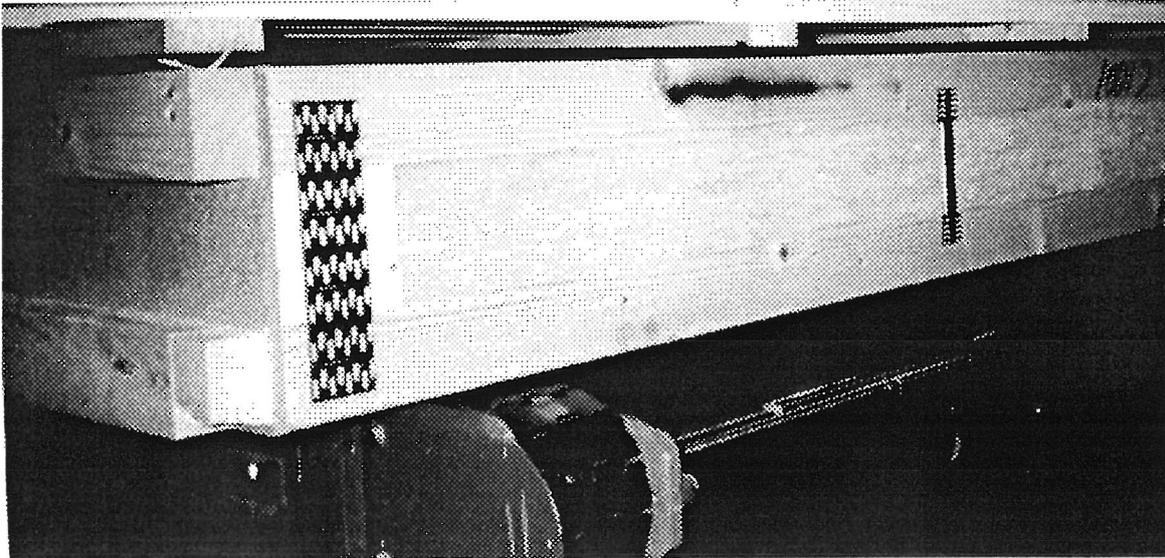


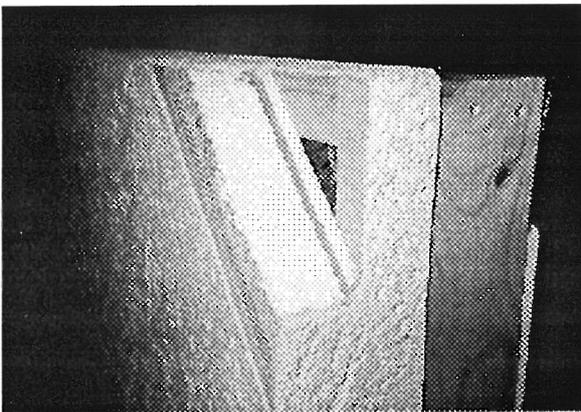
Abb. 2: unterschiedliche Ständerarten für Holzrahmenbauweisen in Abhängigkeit vom Wärmeschutzstandard <sup>17</sup>

interessant. Zudem begannen sich bei verbessertem Wärmeschutz Wärmebrückeneffekte durch Massivholzanteile nennenswert auf den Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Wert) auszuwirken. Aus diesen, aber auch aus bautechnischen Überlegungen heraus - bei größeren Wandstärken sind nicht gleichermaßen vergrößerte Querschnitte zum Erhalt der Tragfähigkeit erforderlich - wurden neue Ständerbauarten entwickelt. Typisch sind I- und Boxständer (Abb. 2). In neueren Entwicklungen werden die beiden Gurte des Ständers lediglich noch mit schmalen Metallstegen maßhaltig verbunden (Abb. 3 u. 4).

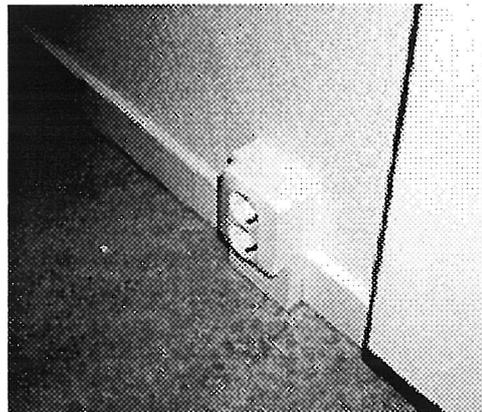


**Abb. 4:** Außenwandelement mit 24 cm Mineralwolle, hinterlüftete Fassade

Die Außenverkleidung erfolgt in der Regel als hinterlüftete Konstruktion mit Holz, wobei als äußerer Abschluß der Dämmung eine Weichfaserplatte oder diffusionsoffene Folie oder Pappe vergleichbar mit einer Unterspannbahn angebracht wird. Eine verputzte Ausführung (Wärmedämmverbundsystem, s. Abb. 5) ist ebenfalls möglich. Der raumseitige Abschluß erfolgt in der Regel mit einer dampfsperrenden Folie, die gleichzeitig die Luft-/Winddichtigkeit sicherstellt, und einer Gipskartonplatte. Elektroinstallationen erfolgen in Decken, Türrahmen oder Fußbodenleisten, Wasserleitungen (kurze Leitungslängen) werden bei Bedarf auf der raumseitigen Oberfläche verlegt, wobei auf eine ästhetisch gefällige Ausführung und Verlegung Wert gelegt wird (Abb. 38). Bei einem zweischaligen Wandaufbau ist auch eine Verlegung innerhalb einer raumseitigen Installationsebene möglich.



**Abb. 5:** Außenwand mit Thermohaut (Modell) nach alter schwedischer Baunorm (1980) mit "nur" 20 cm Isolierung



**Abb. 6:** Steckdosenmontage oberhalb der Fußleiste

## Fenster

Fenster werden innerhalb des Rastermaßes eingesetzt, um zusätzliche Wärmebrücken zu vermeiden. Bei neueren Konstruktionen werden dreifachverglaste Fenster verwendet, d. h. Dreifach-Isolierverglasung ("triple glas") oder Verbundfenster mit einem doppelverglastem äußeren und einem einfachverglastem inneren Flügel (sogenannte "2+1"-Fenster, s. Abb. 7). Die einflügelige Ausführung läßt sich kostengünstiger herstellen und leichter reinigen, die zweiflügelige Version weist eine höhere raumseitige Oberflächentemperatur im Randverbund auf.

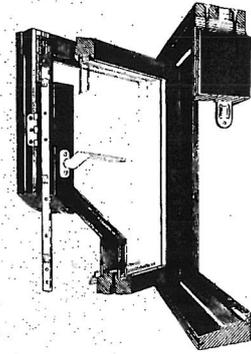


Abb. 7: Dreifach-Verbundfenster

## Boden- und Deckenplatten

Boden- und Deckenplatten sind als selbsttragende Elemente vorgefertigt, die mit Hilfe eines Krans eingesetzt werden. Die Wärmedämmung ist abhängig von der Art der Gründung bzw. des Dachausbaus (s. u.: Fundament/Dach).

## Fundament

Die Gründung erfolgt in der Regel auf Streifenfundamenten. Zum Schutz der hölzernen Bodenplatte befindet sich traditionell unterhalb des Gebäudes innerhalb des Streifenfundaments ein belüfteter Hohlraum (Abb. 8). Da dieser mit der Außenluft in

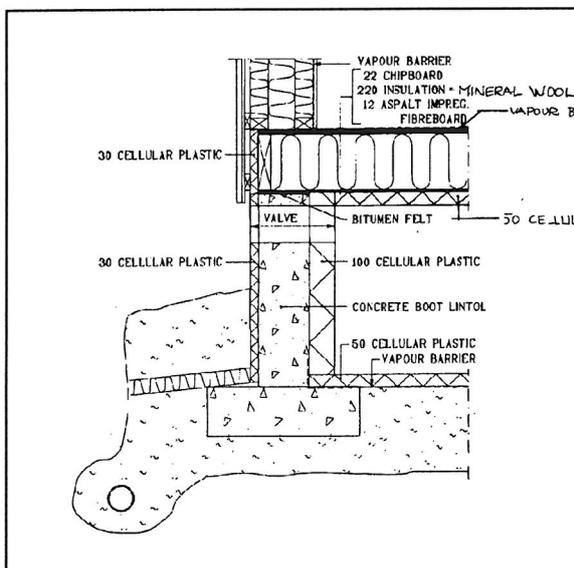


Abb. 8: belüfteter (kalter) Hohlraum <sup>121</sup>

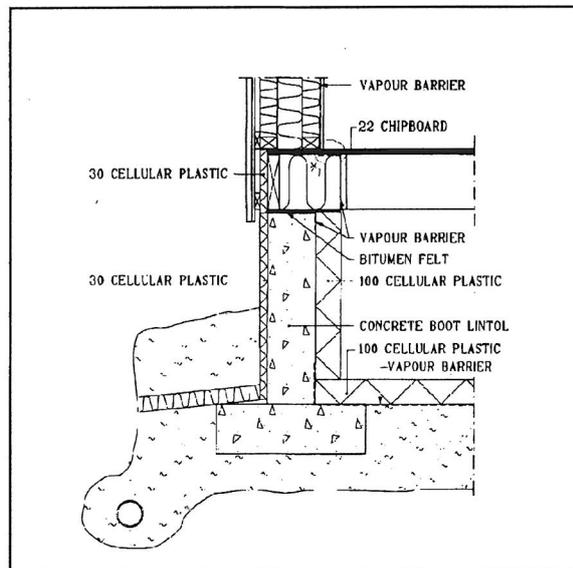
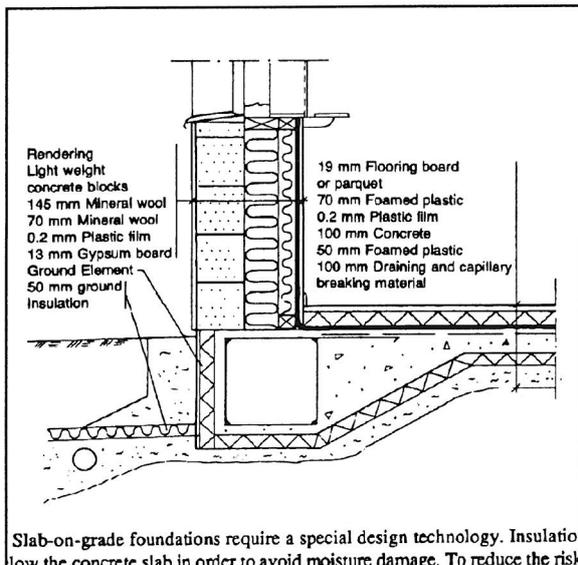


Abb. 9: unbelüfteter Hohlraum <sup>121</sup>



Slab-on-grade foundations require a special design technology. Insulation  
low the concrete slab in order to avoid moisture damage. To reduce the risk

Abb. 10: Gründung mit Plattenfundament <sup>1/1</sup>

#### Legende (Abb. 8-10):

chipboard: Spanplatte  
asphalt impreg. fibreboard: bitum. Holzfaserplatte  
cellular plastic: Hartschaum (Polystyrol)  
concrete boot lintel: Betonfundament  
felt: Filz  
vapour barrier / plastic film: Dampfsperre  
rendering: Verputz  
light weight concrete block: Leichtbetonsteine  
draining and capillary breaking: wasserableitend und kapillar-  
brechend  
gypsum board: Gipskartonplatte

Verbindung steht, wird er als "kalter Hohlraum" bezeichnet. Zur Vermeidung von Feuchteproblemen im Sommer und Frostproblemen im Winter geht man dazu über, diese Hohlräume als "warme (unbelüftete) Hohlräume" (Isolationsschicht unterhalb des Hohlraums) auszubilden. Dazu wird der Hohlraum luftdicht ausgeführt und im Perimeterbereich und auf dem Grund wärmedämmend (Abb. 9). Aufsteigende Feuchtigkeit wird mit einer Dampfsperre abgefangen. Zum Schutz des unteren Auflagers wird ein Mindestwärmestrom sichergestellt. Bei Plattenfundamenten befindet sich unterhalb der Fundamentplatte eine druckfeste Isolationsschicht und eine kapillarbrechende Drainageschicht (Abb. 10). Unter dem Holzfußboden befindet sich eine diffusionsdichte Schicht. Um eine frostfreie Gründung auch bei flacheren Fundamenten zu gewährleisten, wird die Dämmung vom Fundament weg ca. 1 m in den Außenbereich hinausgezogen (Abb. 8 - 10).

## Dach

Der obere Abschluß des Gebäudes erfolgt mit oder ohne ausgebautem Dachgeschoß (1½- bzw. 1-1/2-geschossig). Im nicht ausgebauten Dachboden besteht der Dachstuhl in der Regel aus vorgefertigten Fachwerkbindern, die thermische Gebäudehülle verläuft dann in der Regel auf der obersten Geschoßdecke (Auflegen von 50 cm Mineralwolle). Ist der Dachboden ausgebaut, wird das Tragwerk aus Sparren, Kehlbalcken und Stützen vor Ort zusammengesetzt, die Dämmung erfolgt dann in der Dachschräge und ermöglicht die Verlegung von Lüftungskanälen und Leitungen konstruktiv einfach im Abseitenraum innerhalb der thermischen Gebäudehülle und der Winddichtigkeitsebene. Die Verluste wärmeführender Leitungen

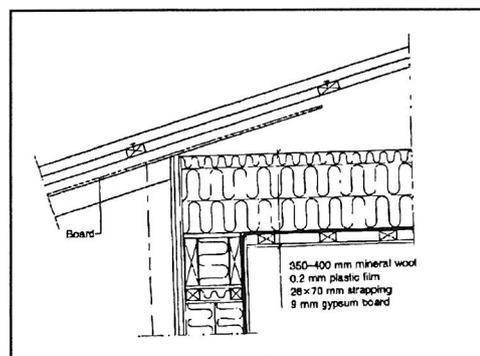


Abb. 11: Dämmung der obersten Geschoß-  
decke mit 40 cm Mineralwolle <sup>1/1</sup>

verringern sich dadurch und es werden nur wenige Durchstoßungspunkte der thermischen Hülle mit entsprechendem Abdichtungsaufwand erforderlich. Die Dämmelemente sind in diesem Fall (1½-geschossige Bauweise) auf die Breite des Binderzwischenraums vorgefertigt, so daß kein Zuschnitt auf der Baustelle mehr erfolgen muß. Der hintere Abschluß der Dämmung erfolgt durch ein auf die exakte Breite vorgefertigtes 1 cm starkes, festes Dämmelement, auf das eine winddichte, diffusionsoffene Folie bereits aufgezo-

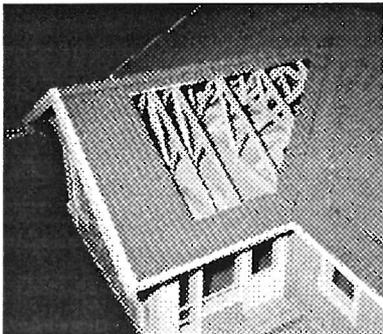


Abb. 13: Blick in das Dach eines 1-geschossigen Einfamilienhauses

gen ist. Diese steht an den Rändern ca. 5 cm über, um ein einfaches Anbringen des Elements durch Annageln an den Sparren oder Bindern zu ermöglichen (s. o.). Dies ist gleichzeitig der hintere Abschluß des Sparrenzwischenraumes, in den dann die eigentliche (weiche) Mineralwollendämmung (2 x 25 cm) eingebracht wird. Die Luft-/Winddichtigkeit (s. a. S. 11) wird in der Regel durch eine raumseitig vor der Dämmung angebrachte Polyethylenfolie hergestellt. Der Abschluß erfolgt durch eine Gipskartonplatte auf einer Querlattung.

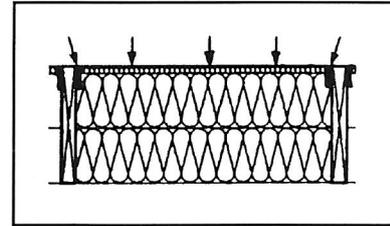


Abb. 12: Dämmung zwischen den Sparren/Bindern mit vorgefertigten Dämmelementen (1½-geschossige Bauweise, s. Text links)

## Bauweisen

Es werden sowohl ein-/zwei- als auch mehrgeschossige Holzbauten realisiert. Im Rahmen der Vorfertigung sind 1-, 1½- und 2-geschossige Bauweisen üblich (s. unten und Abbildungen S. 10).



Abb. 14: zweigeschossige Bauweise

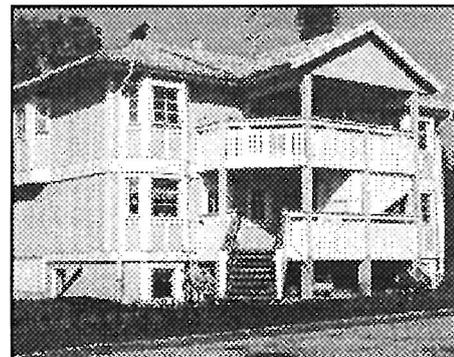


Abb. 15: zweigeschossige Bauweise



Abb. 16: eingeschossiges Zweifamilienhaus mit Erkern

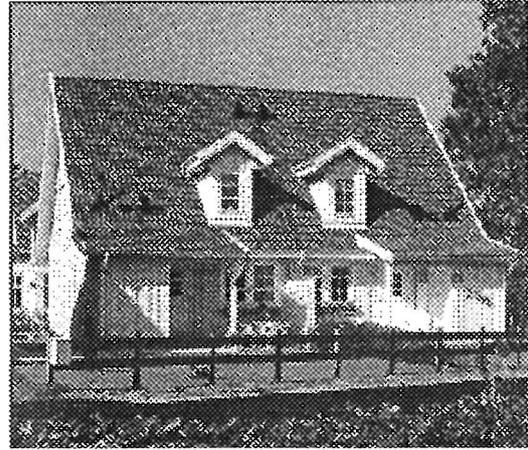


Abb. 17: 1½-geschossiges Zweifamilienhaus



Abb. 18 Eingangsbereich



Abb. 19: eingeschossiges Einfamilienhaus

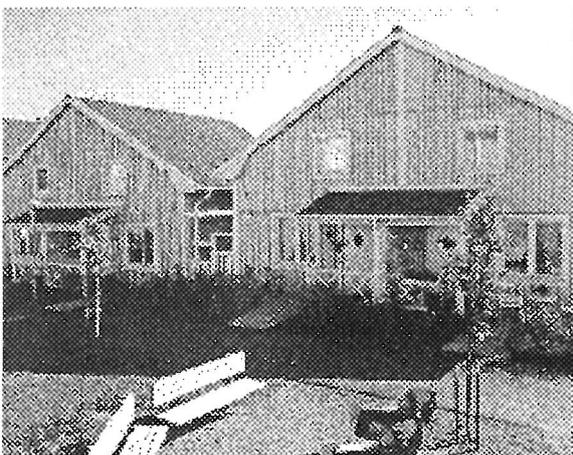


Abb. 20: 1½-geschossige Bauweise

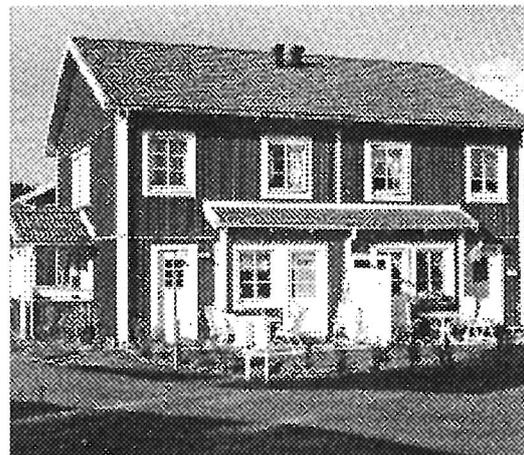


Abb. 21: Doppelhaus, zweigeschossig



Abb. 22: Holzbausiedlung in Vetlanda in eingeschossiger Bauweise

### Luft- und Winddichtigkeit

Luft- und winddichte Gebäudehüllen sind aufgrund des verhältnismäßig geringen Materialaufwands eines der kostengünstigsten Elemente des baulichen Wärmeschutzes. Durch dichte Bauteilanschlüsse werden unkontrolliert auftretende Lüftungsverluste verringert und die Erträge einer Abwärmerückgewinnung verbessert bzw. eine effiziente Abwärmerückgewinnung überhaupt erst ermöglicht. Zu diesem Zweck wurden spezielle Dichtungstreifen und -bänder aus extrudiertem Ethylen-Propylen-Kautschuk zur Herstellung luftdichter Verbindungsstellen zwischen Fußboden und Wandtafeln, Fensterrahmen und Wänden oder in Wandfugen entwickelt (Abb. 26).

### Wärmeversorgung

Aufgrund des hohen Anteils an Wasserkraft, geringer Bedenken gegenüber der Kernenergie und staatlicher Subventionierung sind ca. 75% der neu gebauten Einfamilienhäuser in Schweden direkt oder über Wärmepumpen elektrisch beheizt. (Der Strompreis lag in den Jahren 1981-1985 sogar unter dem Preis von leichtem Heizöl.<sup>(1)</sup>)

Die relativ hohe Fugendichtigkeit der Gebäude ermöglicht den effizienten Einsatz von Wärme-



Abb. 23: Sonnenschutzvorrichtung

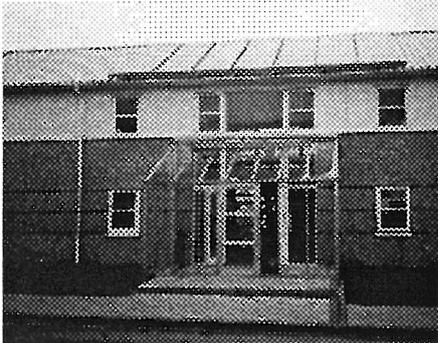


Abb. 24: Solar unterstützte Nahwärmeversorgung

rückgewinnungssystemen. Es kommen hier im wesentlichen Luft-Luft-Wärmetauscher und Wärmepumpen zum Einsatz. Die energetische Gesamtkonzeption gestattet jedoch genauso den Einsatz anderer Primärenergieträger zur Erzeugung der benötigten Heizwärme. In Siedlungen mit hohem Wärmeschutzstandard, d. h. geringem spezifischen Wärmebedarf bieten sich Nahwärmesysteme zur Versorgung an. Vorteile sind geringere Kosten gegenüber individueller Anschließung, Rausersparnis und Auslagerung der Feuerstellen aus den Gebäuden. Für eine solare Nahwärmeversorgung ist

aus wirtschaftlichen Gründen eine weitere Verbesserung des Wärmeschutzniveaus auf 30-40 kWh/m<sup>2</sup> erforderlich bzw. zu empfehlen.

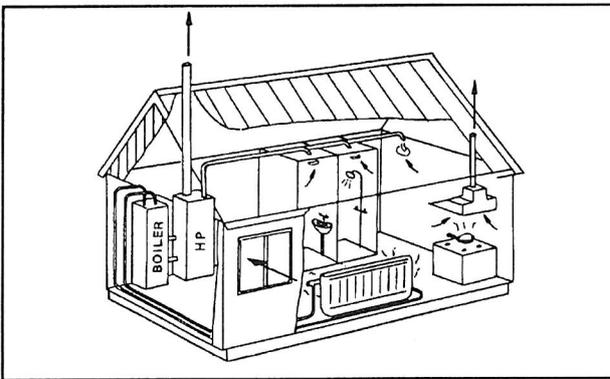


Abb. 25: Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpe <sup>17</sup>  
(s. S. 11)

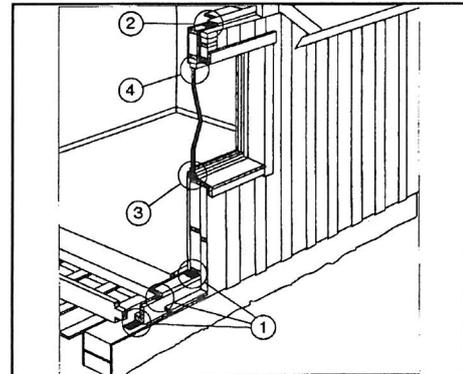


Abb. 26: Luft-/winddichte Gebäudehülle; kostengünstiger Weg zum energieeffizienten Haus (1 - 4: spez. Dichtstreifen)

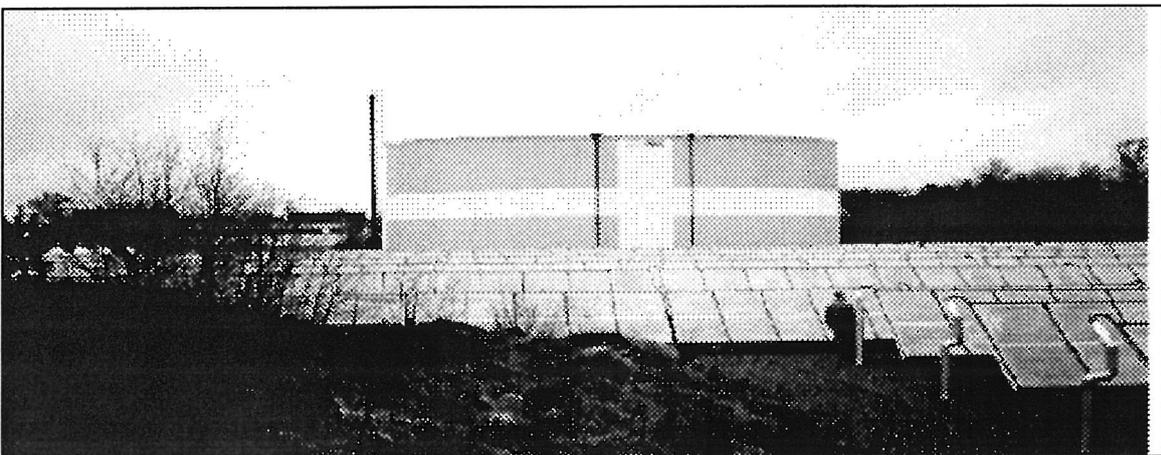


Abb. 27: Solare Nahwärmeversorgung (Ingelstad bei Växjö)

## Qualitätskontrolle

Die Einhaltung der hohen qualitativen Standards macht ein funktionierendes System zur Qualitätssicherung erforderlich. Die *Qualitätskontrolle* ist lediglich ein Baustein dieses Systems.

Die Qualitätssicherung beginnt bei der Vorgabe von Konstruktionsdetails, der Definition von Materialeigenschaften, der Auswahl von Materialien und der Zusicherung (und Einhaltung) definierter Eigenschaften durch die Vorlieferanten. Durch Materialien mit speziellen Eigenschaften können einzelne Schritte der Qualitätskontrolle entfallen, z. B. können Folien mit der richtigen Breite Stöße in der Wandfläche und deren bauphysikalisch richtige Abdichtung überflüssig machen sowie Decken- und Fußbödenanschlüsse vereinfachen; mit der Vereinfachung von Konstruktionsdetails sinkt die Wahrscheinlichkeit von Ausführungsfehlern. Die exakte Vorgabe der Details hilft dem ausführenden Bauhandwerker und enthebt ihn der Pflicht, in Grenzbereichen eigener Sachkunde entscheiden zu müssen. Diese "konstruktiv-präventive" Qualitätssicherung betrifft weite Bereiche der Planung, z. B. auch die nicht zu knappe Ausführung von Dachüberständen als Maßnahme des passiven Feuchteschutzes bei Holzbauten. Insgesamt gilt: Je mehr Qualitätsmerkmale, desto weniger Qualitätskontrolle wird benötigt.

Bauseitige Qualitätssicherung sollte sich mit den jeweiligen gesetzlichen Vorgaben bzw. Anforderungen ergänzen statt mit diesen zu konkurrieren. Auf diese Weise kann der erforderlichen Kontrollaufwand minimiert werden. Hieraus leiten sich Anforderungen und Randbedingungen sowohl an das System der Qualitätssicherung als auch an die Ausgestaltung der gesetzlichen Vorgaben und Anforderungen ab. So gilt z. B. in Schweden der Wärmeschutznachweis bei Vorliegen definierter Systemmerkmale als erbracht, andernfalls muß eine Energiebilanz erstellt werden, die dem Bauherren ermöglicht, anhand der sich einstellenden Verbräuche die Einhaltung der vereinbarten Werte zu überprüfen (etwa vergleichbar mit Energiekennwertsystemen in einzelnen deutschen Bundesländern).

Ein langfristig verlässlich wirksames Element ist die Selbstverpflichtung des Bauunternehmers auf qualitative Standards, repräsentiert z. B. durch eine geeignete Prüfliste bei der Bauabnahme. Die Prüfliste eines der schwedischen Vorfertigungsbetriebe wies 70 Prüfpunkte aus, darunter die standardmäßige Durchführung eines Drucktests zum Nachweis der Luft-/Winddichtigkeit des Gebäudes.

Das System der Qualitätssicherung ist gemeinsam mit allen beteiligten Fachplanungsbereichen zu entwickeln.



Abb. 28: Vorfertigung eines Wandelements

## Vorfertigung

90% aller neu gebauten Einfamilienhäuser in Schweden sind vorgefertigt.<sup>/1/</sup> Das bedeutet, daß Wände, Bodenplatte, Geschoßdecken und Fachwerkbinder für den Dachstuhl fertig wärme-gedämmt und innen und außen verkleidet an die Baustelle angeliefert werden. Dort ist ein Streifen- oder Plattenfundament errichtet, auf das die Teile aufgestellt und montiert werden. Für die unterschiedlichen Bauteilanschlüsse wurden spezielle Dichtungssysteme (Gummiprofile) entwickelt.

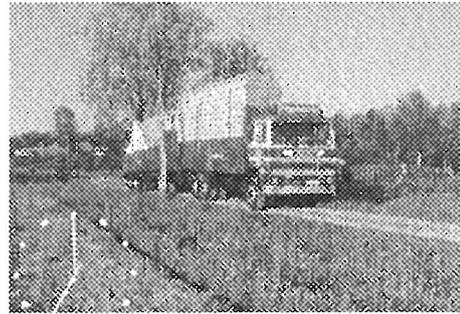


Abb. 29: Anlieferung eines Wohnhauses

Der hohe Grad der Vorfertigung ist nicht als Ergebnis einer gezielten Ökonomisierungs- und Rationalisierungsstrategie im Bauwesen aufzufassen, sondern als eine logische Fortentwicklung im Umgang mit dem Baumaterial Holz in Verbindung mit wachsenden qualitativen Anforderungen an Verarbeitung, Wohnkomfort und baulichen Wärmeschutz. Je aufwendiger Details auf der Baustelle konstruktiv zu lösen sind, desto mehr erhöht sich der Zeitaufwand und der Personaleinsatz für die Erstellung eines Gebäudes. Diese Tendenz wirkt sich speziell im Holzbau zusätzlich nachteilig aus, da das feuchteempfindliche Material während der Verarbeitung auf der Baustelle vor Witterungseinflüssen aufwendig geschützt werden muß. Die logische Folge ist die Vorfertigung. Die Maßgenauigkeit von Bauteilen (z. B. Fugendichtigkeit im Hinblick auf die Effizienz einer Wärmerückgewinnung) läßt sich im Rahmen der Vorfertigung aufgrund der gleichbleibenden Arbeitsbedingungen in der Regel besser gewährleisten als auf der Baustelle.



Abb. 30: Montage des Dachstuhls

Bei der Vorfertigung muß zwischen traditioneller Vorfertigung und industrieller Vorfertigung unterschieden werden. 'Traditionelle' Vorfertigung bedeutet die Herstellung der genannten Elemente in einer Fabrik, d. h. in Produktionshallen, in denen die einzelnen Arbeitsgänge zur Herstellung der verschiedenen Bauteile nach einem vorgegebenen Ablauf durchgeführt werden. Ausgangsmaterialien sind das gesägte Holz, Dämmmaterial, Folien, Fenster, am Ende steht die fertige, Holz-

verkleidete oder verputzte Wand mit Fenstern und Lichtschaltern, "versandfertig" verpackt. Bei der industriellen Vorfertigung werden die einzelnen Arbeitsgänge auf einer Produktionsstraße nacheinander durchgeführt, ohne daß das betreffende Bauteil von Hand bewegt werden muß. Auf diese Weise können große Stückzahlen erreicht werden. Unterschiede bei den Stückzahlen im Rahmen der industriellen Vorfertigung gibt

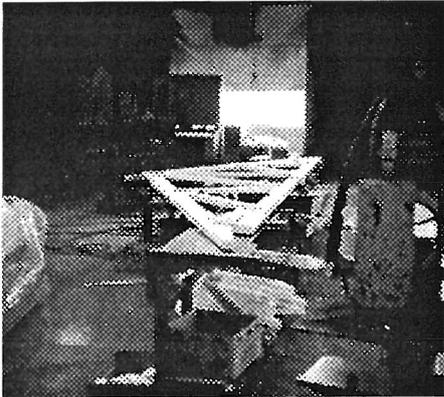


Abb. 31: eingespannter Dachbinder vor dem Verpressen mit Nagelplatten

es auch bei flexiblen Produktionsstraßen (für Sonderanfertigungen und Produktion für das Ausland) im Vergleich zu Straßen mit festen Maßen (Gebäude nach Schwedischer Baunorm).

Eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit durch Vereinfachung der Logistik wird u. a. durch den jeweiligen Produktionshallen zugeordnete, eigene Lager erreicht.

#### Vorfertigung am Beispiel eines Wandelements:

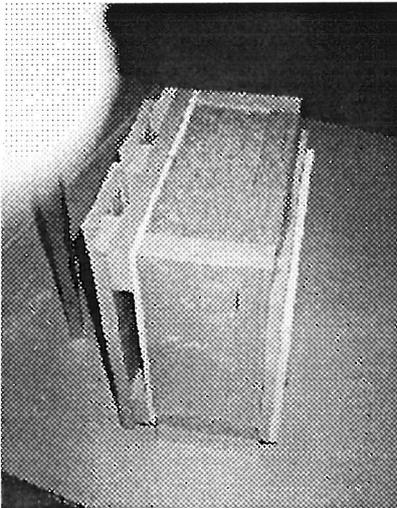


Abb. 32: Modell eines "klassischen" Wandelements (Exportmodell) mit "nur" 14 cm Dämmung und massiven Ständern; gut zu erkennen die hinterlüftete Außenverkleidung

Den Aufbau eines klassischen Wandelements zeigt Abb. 32. Die gegenwärtigen schwedischen Anforderungen für Wohngebäude machen eine Dämmstärke von annähernd 25 cm in der Außenwand erforderlich (Abb. 4). "Prägende" Gestaltungsvorgabe ist somit der Wärmeschutzstandard der Außenwand, dieser wirkt sich auf das Ständerwerk unmittelbar aus (s. S. 5). Beim Bau des Wandelements wird zunächst die Rahmenkonstruktion errichtet, in die dann das Dämmmaterial eingebracht wird. Zur Aussteifung und als äußerer Abschluß vor der Außenverkleidung werden z. B. Holzspanplatten aufgenagelt. Raumseitig vor der Dämmung wird eine Folie als Dampfsperre und Luftdichtigkeitsebene angebracht und mit einer Span- oder Faserplatte und einer Gipskartonplatte verkleidet. Die Fenster werden bei der manuellen

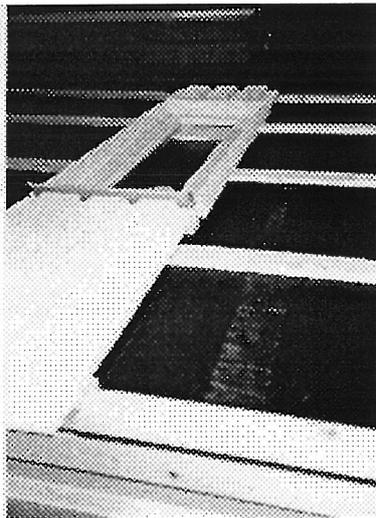
Vorfertigung im letzten Arbeitsgang eingebaut, nachdem das Fassadenelement verputzt bzw. mit einem Anstrich versehen wurde (s. a. Abb. 34).



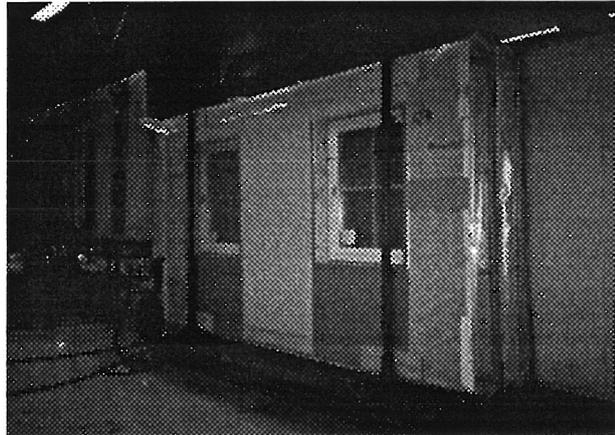
Abb. 33: Zusammensetzen eines Holzrahmens (hier Deckenelement)



**Abb. 34:** Fensterelement (Erker) vor dem Anbringen der Außenverkleidung und Einbau der Fenster

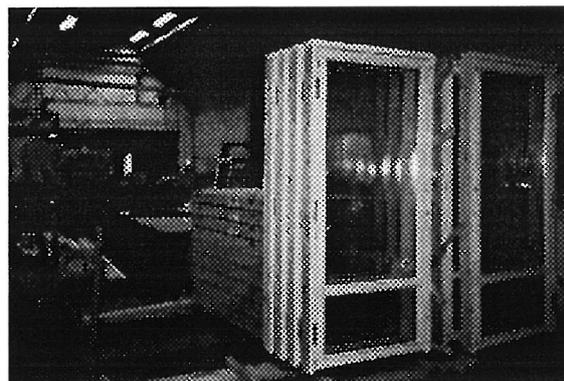


**Abb. 36:** Wandelement mit Fenster vor dem Anbringen der Außenverkleidung (industrielle Vorfertigung)



**Abb. 35:** transportfertig verpacktes Wandelement (die Innenverkleidung im Anschlußbereich wird nach dem Verbinden der Dampfsperren ergänzt)

Bei der industriellen Vorfertigung werden zunächst der obere und untere Abschluß des Wandelements eingespannt und mit dem vordersten Ständer in Laufrichtung vernagelt (Abb. 28). Nach einem entsprechenden Vorschub wird von oben ein Mineralwolleelement der gewünschten Breite in das entstehende Ständergefach eingebracht. Daraufhin folgt als Abschluß des Gefachs der nächste Ständer. In Verbindung mit einem weiteren Vorschub des Wandelements wird nun ein fertiges Fensterelement über die Straße gefahren, abgesenkt und vernagelt. Auf diese Weise lassen sich unterschiedliche Fassadengliederungen verwirklichen. Im nächsten Fertigungsabschnitt werden Dampfsperre und Gipskartonplatten als raumseitiger Abschluß des Wandaufbaus angebracht. Am Ende der Straße angekommen wird das Wandelement gedreht und auf einer

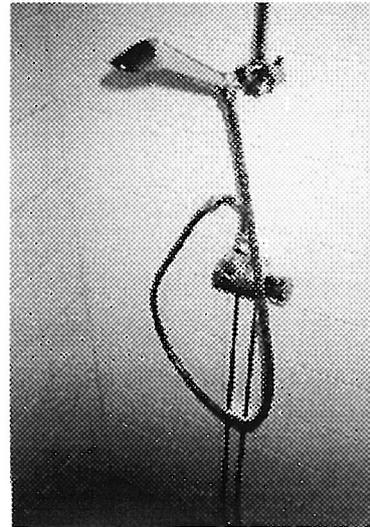


**Abb. 37:** Fensterelemente vor dem Einbau

benachbarten Straße in Gegenrichtung der Fertigstellung der äußeren Wandoberfläche zugeführt. Hier werden zunächst Holzfaserverplatten als äußerer Abschluß der Dämmschicht aufgebracht und vernagelt. Anschließend erfolgt die Anbringung einer Querlattung und der hinterlüfteten Außenverkleidung (Abb. 36). Bei der automatischen Vernagelung wird jeweils ein Brett im Rahmenbereich der Fenster bis zur (manuellen) Einpassung der Rahmenverkleidung weggelassen.

Die Herstellung des Wandaufbaus kann genauso umgekehrt erfolgen, d. h. nach Fertigstellung der Rahmenkonstruktion wird zunächst die Außenverkleidung und anschließend die raumseitige Verkleidung angebracht.

Ab- und Zuluftinstallationen können aufputz- sowie in Geschoßdecken, Wasser- und Elektroinstallationen zusätzlich in Fußbodenleisten und Türrahmen verlegt werden. Die Minimierung des erforderlichen Installationsaufwands wirkt so auf doppelte Weise kostensenkend.



**Abb. 38:** (für deutsche Verhältnisse ungewöhnliche) Aufputz-Installation in einer Dusche

## Ökologie

Erhöhte Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz wurden in Schweden weniger aus ökologischen Gesichtspunkten als aus volkswirtschaftlichen Überlegungen heraus gestellt, um insbesondere eine bedrohlich gewordene Abhängigkeit von Ölimporten abzubauen. Dies führt dazu, daß die gesetzlich geforderten Dämmstärken etwa das Doppelte dessen betragen, was nach Inkrafttreten der neuen Wärmeschutzverordnung in der Bundesrepublik Deutschland 1995 zu erwarten ist. Völlig klar ist, daß auf diese Weise zwei ganz wesentliche ökologische Aspekte fast nebenbei abgehandelt werden, nämlich die Umweltverschmutzung durch Luftschadstoffe aufgrund von Energieverbrauch für Heizzwecke und die Anreicherung des Treibhausgases Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre zu verringern. Den Wärmeschutzstandard allgemein auf das in Schweden übliche Niveau anzuheben wäre deswegen als ökologisches Ziel für andere Länder mit ähnlichen klimatischen Voraussetzungen zu nennen.

Zunehmend kommen aber auch andere ökologische Gesichtspunkte in Betracht. Bei den relativ geringen Energieverbräuchen für Raumheizung und Warmwasser bei der Nutzung der schwedischen Häuser gewinnt langsam auch der für die Herstellung und die spätere Entsorgung des Gebäudes benötigte Energieaufwand als in die Bilanzierung einzubeziehende Größe an Bedeutung. Entsprechende Untersuchungen werden am Institut für Bauphysik der Universität von Lund durchgeführt. Erste vorläufige Ergebnisse lassen erkennen, daß der Energieaufwand für die Herstellung aufgrund des niedrigen Verbrauchs bei einer (moderat angenommenen) Lebensdauer von 50 Jahren bereits bei ca. 10% liegt. Entsprechende Untersuchungen für andere ökologisch relevante Bilanzierungsgrößen wie unterschiedliche Luftschadstoffe, Materialbilanzen und Bauweisen sollen folgen.

Klar ist auch, daß für die Betrachtung des Holzbaus unter ökologischen Gesichtspunkten die Herkunft des verwendeten Materials eine Rolle spielt. Voraussetzungen sind etwa eine nachhaltige und ökologisch orientierte Forst- und Holzwirtschaft; kurze Transportwege und hohe Transportdichten sollten angestrebt werden. Die Transportenergie spielt bei den gegenwärtigen Wärmeschutzniveaus im Verhältnis zum Nutzenergiebedarf allerdings eine untergeordnete bzw. vernachlässigbare Rolle.<sup>1</sup>

Ein wesentlicher Aspekt bei der Ökologie des Holzbaus ist der Holzschutz. Art und Menge der verwendeten Mittel stehen den Schutzzielen Haltbarkeit und Standsicherheit (insbesondere zum Personenschutz) gegenüber, wobei der Personenschutz auch durch Gifteintrag vor, während und nach der Imprägnierung sowie durch nicht sachgemäße Entsorgung chemisch behandelter Baumaterialien und Holzschutzmittel betroffen ist. Die Holzschutzphilosophien im schwedischen und im deutschen Holzbau

---

<sup>1</sup> s. a. Damaschke, Jörg: Baustofftransporte - ein energetisches Problem?, Bauwelt 7/1994

unterscheiden sich erheblich, weniger in der Theorie als in der praktischen Durchführung. Während in Schweden praktisch ohne chemischen Holzschutz traditionell beachtliche Lebensdauern erreicht werden, wird bei der regelmäßigen Verwendung von Holzschutzmitteln das eigentliche Problem - statt es technisch zu lösen - auf die Entsorgung verlagert. Fehlender chemischer Holzschutz scheint das Sicherheitsbedürfnis der schwedischen Holzhausbewohner in keiner Weise zu beeinträchtigen, zumindest wenn die bestehenden konstruktiven Möglichkeiten, Schädlingsbefall und Feuchte zu verhindern, genutzt werden.

Die genannten ökologischen Gesichtspunkte zusammenfassend wäre zu sagen, daß bei Holzbauweisen ebenso wie bei anderen Bauweisen der Energieaufwand zur Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung der Baumaterialien zu beachten ist; insgesamt sind jedoch bei den gegenwärtigen Wärmeschutzstandards die Energieverbräuche während der Nutzung der Gebäude (auch in Schweden) wesentlich höher als der Energiebedarf für die Herstellung und spätere Entsorgung. Allein die Warmwasserbereitung erfordert während der Nutzung in der Regel einen höheren Energiebedarf als die Erstellung des Gebäudes. Vordringliches "energetisches" Ziel wäre somit die weitere Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes. Während Holz als Baumaterial hinsichtlich der Herstellung als nahezu CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft werden kann, kommt die Problematik des chemischen Holzschutzes beim Holzbau gegenüber Massiv- oder Mischbauweisen verstärkt zum Tragen. Hier wären ökologisch verträgliche Lösungen zu finden. In der abschließenden ökologischen Bewertung würden sich somit als Hauptaspekte die Möglichkeit zur kostengünstigen Realisierung eines qualitativ hohen Wärmeschutzniveaus insbesondere durch die Möglichkeiten der Vorfertigung auf der einen Seite und die verstärkte Inanspruchnahme einer mehr oder weniger ökologisch orientierten Holzbewirtschaftungsmethode auf der anderen Seite gegenüberstehen.

Einen hier nicht berücksichtigten oder bewerteten städtebaulichen Gesichtspunkt zeigt der zerstörungsfreie Abbau und Wiederaufbau ganzer Holzbau-Siedlungen in Lillehammer nach den olympischen Winterspielen 1994 auf.

**Literatur**

/1/ Elmroth, Arne: Building Design and Electricity Use in Single-Family Houses, Lund University, Lund (Schweden) 1990

/2/ Adalberth, Karin: (div. Grafiken zum building design), Lund University

sowie

Informationsmaterialien der Firmen Myresjöhus, Fågelforshus, eigene Unterlagen

## Anhang

Energiebilanz eines eingeschossigen Einfamilienhauses (Exportmodell; k-Wert der Außenwand [= Vagg] "nur"  $0,215 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ )

\*\*\*\*\* Enorm 800. Version 8.01. (C) 1992 Karl Munther \*\*\*\*\*

Objekt: Eingeschossiges Haus ohne Keller  
Energipaket 2 mit verputzten Elementen

Wohnort: NORDDEUTCHLAND GEMARKUNG NEUHOF

Beräkning nr: 3

BYGGNADSDATA	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Totalt
Typ mht NRs värmeisolerkrav	Sm-Lgh	----	----	----
Antal bostadslägenheter	1	0	0	1
Uppvärmd golvarea, A <sub>upp</sub> , m <sup>2</sup>	147	0	0	147
Fönster+dörr, % av uppv area	19.7	0.0	0.0	19.7
Spec.läckn. vid 50 Pa, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ,h	3.0	0.0	0.0	3.0
Värmekapacitet, Wh/m <sup>2</sup> ,K	100	0	0	100
Omslutande area, A <sub>om</sub> , m <sup>2</sup>	428	0	0	428
Luftläckande area, A <sub>läck</sub> , m <sup>2</sup>	281	0	0	281

GLASAREOR OCH INSTRÄLNINGSDATA. SOLDATA FÖR MALMÖ

Riktning	Zon 1	Zon 2	Zon 3
Nord	3.0 (0.69; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Ost	4.6 (0.69; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Syd	2.2 (0.69; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)
Väst	5.5 (0.69; 0)	0.0 (0.00; 0)	0.0 (0.00; 0)

Ovan redovisas: Glasarea i m<sup>2</sup> (Solfaktor \* Avskärmning ; Lutning)

TRANSMISSIONSDATA	Zon 1		Zon 2		Zon 3	
	Area	Up	Area	Up	Area	Up
Byggnadsdel						
Vindsbjälklag	146.9	0.112	0.0	0.000	0.0	0.000
Vägg, jord (*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Vägg, luft	104.9	0.215	0.0	0.000	0.0	0.000
Golvbjlg, jord(*)	146.9	0.226	0.0	0.000	0.0	0.000
Golvbjlg, luft(*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Fönster m karm	24.8	1.350	0.0	0.000	0.0	0.000
Dörrar m karm	4.2	1.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 1, luft	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 2, luft	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
Yta 3, jord (*)	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000
(*) Red.faktor a1 =		0.75		0.00		0.00

U*A för köldbryggor, W/K	0.0	0.0	0.0
Totalt U*A, W/K	101.6	0.0	0.0

PROCESSENERGI	kWh/dygn: Vardagar			Lördag	Söndag	kWh/år
Behov av tappvarmvatten	12.35	12.35	12.35	12.35	12.35	4506
Gratisvärme (personvärme mm)	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	1352
Elprocesser som ger värme	11.11	11.11	11.11	11.11	11.11	4055
D:o som ej ger värmestillskott	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	1352
Pumpar/fläktar för värmedistr.	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	361
Varav som värmestillskott	1.76	1.76	1.76	1.76	1.76	---
El till ventilationsaggregat (inklusive avfrostning mm)						1172
Tillförd elenergi till värmepumpsystemet						0

Basenergi: Elberedare för tappvarmvatten  
 Dist:  
 Tillsatsenergi: Elektriskt luftvärmeaggregat  
 Dist: Varmluft. Inga termostater. Autom. effektstyrning  
 Baseffekten producerar: Tappvarmvatten, men inte uppvärmningsenergi  
 Separat energiproduktion. Separata värmedistributionsystem.

	Basenergi	Tillsats
Förbränningsverkningsgrad, %	100	100
Värmeförluster från panna e dyl, kW	0.120	0.120
Andel som vid behov ger värme, %	100	100
Värmedistributionsförluster, W/K (*)	0.000	4.407
Värmeregleringsförluster, W/K (*)	0.000	4.407
(*) /K avser temperaturdifferensen mellan värmebärare och rumsluft		
Produktionstimmar/Uppvärmningstimmar	8760/ 0	4920/4920
Årsverkningsgrad/Täckningsgrad, %	90/ 43	88/ 57
Vald framledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur 55°C		

VENTILATIONSDATA	Zon 1	Zon 2	Zon 3
Typ av ventilation	FTXLV	-----	-----
Vent.volym, m3 (Fukt, g/kg)	353(0)	0(0)	0(0)
El, W/m3 (% värmetilisk)	0.198(50)	0.000( 0)	0.000( 0)
Mån/fredag: Rumstemp, °C	20.0	0.0	0.0
Basflöde, m3/h * h/dygn	185.1*24.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat, m3/h * h/dygn	0.0* 0.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Styrd + läckning, oms/h	0.53+0.12	0.00+0.00	0.00+0.00
Lördagar: Rumstemp, °C	20.0	0.0	0.0
Basflöde, m3/h * h/dygn	185.1*24.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat, m3/h * h/dygn	0.0* 0.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Styrd + läckning, oms/h	0.53+0.12	0.00+0.00	0.00+0.00
Söndagar: Rumstemp, °C	20.0	0.0	0.0
Basflöde, m3/h * h/dygn	185.1*24.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Forcerat, m3/h * h/dygn	0.0* 0.0	0.0* 0.0	0.0* 0.0
Styrd + läckning, oms/h	0.53+0.12	0.00+0.00	0.00+0.00

Kanalförlust, frånluft (K=tempdiff över kanalvägg) 19 m, 0.05 W/m, K  
 Kanalförlust, tilluft med högst rumstemperatur 18 m, 0.05 W/m, K  
 Kanalförlust, värmd tilluft i luftvärmesystem 28 m, 0.05 W/m, K

FTX-AGGR.: Fläkt ACF. Provad vid SP. 150 m3/h

Utetemperatur, °C	-15.00	-7.00	2.00	7.00	15.00
Värmeeffekt, kW	1.12	0.91	0.63	0.46	0.20
Driveffekt, kW	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Spareffekt, W/m3	6.933	5.527	3.667	2.547	0.813
Eleffekt, W/m3	0.533	0.540	0.533	0.520	0.520
Temp.verkn.grad	62.7	66.1	68.6	69.4	78.4
Spareffekt 2.97 W/m3 / Eleffekt 0.53 W/m3 = 5.65. Red.fakt. 1.00					

## VÄRMEBEHOV UNDER KALENDERÅRET (kWh)

Nr 3 - Sid 3

Må- nad	Uppv dgr	Trans- mission	Vent.+ Läckn.	Vent.- v.växl	Utnyttj.värme		Uppv.- behov	Uppv.+ tappv
					Sol	Process		
Jan	31	1731	+1316	-674	-95	-665=	1613	1996
Feb	28	1471	+1119	-577	-176	-601=	1236	1581
Mar	31	1335	+1015	-533	-350	-657=	812	1194
Apr	25	984	+749	-398	-507	-606=	222	592
Maj	0	638	+485	-276	-654	-193=	0	383
Jun	0	324	+247	-149	-422	0=	0	370
Jul	0	218	+166	-103	-281	0=	0	383
Aug	0	312	+237	-144	-404	0=	0	383
Sep	0	534	+406	-235	-444	-261=	0	370
Okt	29	849	+646	-352	-285	-628=	230	613
Nov	30	1095	+833	-440	-139	-635=	714	1084
Dec	31	1359	+1033	-542	-74	-664=	1113	1496
År	205	10851	8254	-4423	-3832	-4910	5940	10446

Summor= 8640 6572 -3438 -1507 -4327 för uppv.period.  
Uppvärmningsperiod: Utetemp= 2.710 °C, 85069°h (Året.106839°h).

## TILLFÖRD ENERGI UNDER KALENDERÅRET (kWh)

Må- nad	Basenergi Nyttig	Tillsatsenergi Förlust	Drivel till VP	Fläkt /Pump	Köpt värme	Proc.+ hush.el		
Jan	383	+89	+1613	-272	+0	+156=	2513	459
Feb	346	+81	+1236	+232	+0	+141=	2034	415
Mar	383	+89	+812	+214	+0	+155=	1653	459
Apr	370	+86	+222	+139	+0	+140=	957	444
Maj	383	+89	+0	+0	+0	+99=	571	459
Jun	370	+86	+0	+0	+0	+96=	552	444
Jul	383	+89	+0	+0	+0	+99=	571	459
Aug	383	+89	+0	+0	+0	+99=	571	459
Sep	370	+86	+0	+0	+0	+96=	552	444
Okt	383	+89	+230	+135	+0	+150=	987	459
Nov	370	+86	+714	+178	+0	+149=	1498	444
Dec	383	+89	+1113	+217	+0	+155=	1957	459
År	4506	1051	5940	1387	0	1533	14417	5407

## REDOVISNING AV DIMENSIONERANDE VÄRMEEFFEKTBEHOV OCH U-MEDELVÄRDEN

Värmeeffekt (utförligare redovisning ges på sidan 6)	4.7 kW
Uttagen baseffekt vid DUT = -11.8 °C	0.6 kW
Vid dim. utetemperatur krävs då tillsatseffekten	4.1 kW
Vid max. ventilation ökar effektbehovet momentant med	0.00 kW

Um,krav (0.239 i Zon 1, 0.000 i Zon 2 och 0.000 i Zon 3)	0.239
Högsta tillåtna Um = 1.3 * Um,krav	0.310
Den verkliga byggnadens U-medelvärde är Um,akt = 0.196 W/m <sup>2</sup> ,K.	
Byggnadens Um, 0.196, överskrider inte Um,krav = 0.239 enligt NR.	

Värmebehov: 17329 för ref.byggnad, 14417 för verklig byggnad  
Byggnadens Um, 0.196, överskrider inte tillåtet gränsvärde, 0.310  
Byggnaden uppfyller nybyggnadsreglernas krav på värmebehov.

Energibehov i kWh/år	Referens- byggnad	Verklig byggnad	Differens +=bespar.
Transmissionsförluster	12764	10851	+1913
Förluster pga luftläckning	+1530	+1530	-0
Styrd luftväxl. för ventilation	+6724	+6724	-0
FTX-anläggning mht kanalförlust	-2527	-4423	+1895
Utnyttjad värme från sol	-4118	-3832	-286
Utnyttjad värme från processer	-4988	-4910	-78
Resterande uppvärmningsbehov	9384	5940	+3444
Behov av tappvarmvatten	+4506	+4506	+0
Uppvärmning och tappvarmvatten	13890	10446	+3444
Nyttiggjord basenergi	+13890	+4506	+9384
Nyttiggjord tillsatsenergi	+0	+5940	-5940
Produktions- och distr.förlust	+1753	+2438	-686
Elenergi till fläktar/pumpar	+1686	+1533	+153
Totalt behov av värmeenergi	17329	14417	+2911
Värme producerad med värmepump	0	0	+0
Tillförd drivel till värmepump	+0	+0	+0
Behov av köpt värmeenergi	17329	14417	+2911
Processer. Hushålls- & fast.el	+5407	+5407	+0
Behov av köpt energi	22735	19824	+2911
Köpt energi för uppvärmning och varmvatten är 2911 kWh/år lägre än för motsvarande referensbyggnad enligt kraven i NR, kapitel 3:1. Den verkliga byggnadens U-medelvärde är $U_{m,akt} = 0.196 \text{ W/m}^2, \text{K}$ . $U_{m,krav} = 0.239 \text{ W/m}^2, \text{K}$ . Högsta tillåtna $U_{m,gräns} = 0.310 \text{ W/m}^2, \text{K}$ .			

Total basenergi (mht ev förbränningsverkn.grad): 5557 kWh/år  
 Total tillsats (mht ev förbränningsverkn.grad): 7327 kWh/år

#### Energibalans för fönstren under uppvärmningsperioden

Transmissionsförluster 2848. Utnyttjad solinstrålning 1507 kWh  
 Ekvivalent U-värde =  $1000 \cdot (\text{Transm-sol}) / (\text{Graddtimmar} \cdot A_f) = 0.64 \text{ W/m}^2, \text{K}$   
 Fönstrens mörker-U-värde är 1.35. Motsvarar solavdrag,  $a_3 = 0.71$ .

Beräkning av  $U_{m,krav}$  enligt formler i NR, 3:121.

Utrymme i byggnaden	Zon 1	Zon 2	Zon 3
18% av uppvärmd area	26.4	0.0	0.0
Fönster och dörrarea	29.0	0.0	0.0
$A_f =$ minsta av ovanstående	26.4	0.0	0.0
$U_{m,krav} = 0.18(0.24) + A_f \cdot 0.95 / A_{om}$	0.239	0.000	0.000
$U_{A,krav} = U_{m,krav} \cdot A_{om}$	102.1	0.0	0.0
$U_{m,krav} = U_{A,krav} / A_{om} =$	102.1 /	427.7 =	0.239 W/m <sup>2</sup> , K

Byggnads- del	Area (Ai) m <sup>2</sup>		(Up - a3) * a1 * a2 = Ui				Ui * Ai	
	Bostad	Lokal						
Vindsbjlg	146.9	0.0	0.112	0.00	1.00	1.000	0.112	16.453
Vägg, luft	104.9	0.0	0.215	0.00	1.00	1.000	0.215	22.554
Golv, jord	146.9	0.0	0.226	0.00	0.75	1.000	0.169	24.873
Fönster	24.8	0.0	1.350	0.71	1.00	1.000	0.636	15.767
Dörrar	4.2	0.0	1.000	0.00	1.00	1.000	1.000	4.200

Aom = 427.7+ 0.0= 427.7 Summa(Ui\*Ai) i W/K = 83.846

Um, akt = Summa(Ui\*Ai)/Aom = 83.846/ 427.7 = 0.196 W/m<sup>2</sup>,K

Värmeeffekter vid dimensionerande utetemperatur DUT = -11.8 °C

Tappvarmvatten, om dygnets hela behov ackumuleras	0.51 kW
Transmissionsförluster	3.22 kW
Luftläckning	0.45 kW
Styrd ventilation	2.00 kW
Återvunnet med FTX (efter avdragna kanalförluster)	-1.20 kW
Utnyttjad gratis effekt	-0.89 kW
Förluster i värmesystemet	0.62 kW
<b>Totalt effektbehov</b>	<b>4.72 kW</b>
Utnyttjad baseffekt	0.63 kW
Utnyttjad tillsatseffekt	4.08 kW
<b>Utnyttjad effekt</b>	<b>4.72 kW</b>

Vid max. ventilation ökar effektbehovet momentant med 0.00 kW, utöver den ovan redovisade dygnsmedeleffekten. Medeleffekten avgör avsvälning under en lång period med dimensionerande utetemperatur.

Den tappvarmvatteneffekt som redovisas är den effekt som krävs för att producera dygnets behov under 24 timmar. Verkligt installerad effekt måste väljas högre mht tappningscykel och beredarens volym.