

**Eine Geschichte der
Niedrigenergiehäuser
bis zum Passivhaus**

Institut Wohnen und Umwelt
Annastraße 15
64285 Darmstadt
Tel.: 06151/2904-0

1. Auflage

März 1996

Eine Geschichte der Niedrigenergiehäuser bis zum Passivhaus

Anne Fingerling (Kassel)

Sachbearbeitung: Rolf Born (IWU, Darmstadt)

Reprotechnik: Reda Hatteh

Fotos: V. Korsgaard
J. Brucker
K.-H. Fingerling
Eberhard Maschke
Rasch & Partner

Dieser Bericht entstand aus Mitteln des Hessischen Ministeriums für Umwelt,
Energie, Jugend, Familie und Gesundheit.

ISBN 3-927846-92-9

Darmstadt, März 1996

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH
64285 DARMSTADT, ANNASTR. 15

Inhalt

	Seite	
1	Der umweltpolitische Rahmen	6
2	Der Traum vom Nullenergiehaus	7
2.1	Richtungsweisend: V. Korsgaard	7
2.2	Superinsulation-Konzept von W. Schick	8
2.3	Ähnliche Ansätze in Kanda: W.A. Shurcliff	10
2.4	Das Philips-Experimentierhaus: H. Hörster und B. Steinmüller	13
2.5	Niedrigenergiehäuser als Konsequenz	17
3	Das Niedrigenergiehaus	19
3.1	Die skandinavische Entwicklung zum Niedrigenergiehaus	19
3.1.1	Innovative Ideen aus Skive	20
3.1.2	Beispiel aus Schweden: Malmö	21
3.2	Solararchitektur als Trend in Deutschland	23
3.3	Schon genug gedämmt?	24
3.4	Frühe Niedrigenergiehaus-Beispiele und Tendenzen aus Deutschland	26
3.4.1	Theoretische Planung und erste praktische Umsetzung, Haus Schreckhof in Mosbach	29
3.4.2	Das erste Niedrigenergiehaus in Kassel	31
3.4.3	Niedrigenergiehaus Schrecksbach	33
3.4.4	Nullenergiehaus Dörpe	37
3.5	Schwedisch-Deutsche Kooperationsprojekte	39
3.5.1	Das Forschungsprojekt Ingolstadt - Halmstad	39
3.5.2	Fortsetzung der Kooperation in Pappritz - Dresden	41

3.6	Förderprogramme in Deutschland	42
3.6.1	Niedrigenergiehaus-Siedlung Distelweg, Niedernhausen	42
3.6.2	Förderprogramm - 30 Niedrigenergiehäuser in Hessen	46
3.6.3	Niedrigenergiehäuser in Schleswig-Holstein	46
3.6.4	Energie- und kostensparende Wohngebäude in Schopfheim	48
3.6.5	Niedrigenergiehaus-Siedlung Freiburg-Rieselfeld	48
3.6.6	Niedrigenergiehaus-Siedlung Leipzig-Knauthain	49
3.6.7	Weitere Niedrigenergiehaus-Projekte	51
3.7	Ein langer Weg zum Niedrigenergie-Haus	52
4	Vom Niedrigenergie-Haus zum Passiv-Haus	54
4.1	Das Passivhaus Darmstadt-Kranichstein	56
4.2	Tendenzen	60
5	Zeittafel	63
6	Literatur	65

1 Der umweltpolitische Rahmen

Erst wenn knapper werdende Energieressourcen die Preise in die Höhe treiben, lassen sich in der Regel energieeffiziente Innovationen durchsetzen. In Deutschland gehen die ersten zwingenden Anreize zum Energiesparen zurück auf die Jahre der sogenannten "Ölkrise". An den "autofreien Sonntagen" nutzten Kinder die Straßen als Spielfläche. In dieser Zeit wurde auch die Wärmeschutzverordnung (1977) verabschiedet, die erstmals konkrete Anforderungen für den Wärmeschutz von Gebäuden enthielt, und die bereits 1982 in einer zweiten Fassung deutlich verschärft wurde. Ab 1986 fielen die Energiepreise wieder. Energieeffizienz war einige Jahre kein Thema mehr.

Heute wird zunehmend der Gedanke des Umweltschutzes in energiepolitische und wirtschaftliche Überlegungen mit einbezogen. Im Vordergrund steht dabei die Minderung der CO₂-Emissionen. Mehr als 90 Prozent des Kohlendioxids entstehen bei der Verbrennung fossiler Energieträger (Öl, Gas, Kohle), etwa 33 Prozent des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland entfallen auf die Beheizung von Gebäuden. Die Zunahme der CO₂-Konzentration und damit die Verstärkung des Treibhauseffektes ist auf den weltweit stark angestiegenen Energieverbrauch zurückzuführen. Effektiver Klimaschutz ist nur möglich durch Energieeinsparung, das bedeutet im Gebäudebestand durch Senkung des Heizwärmeverbrauchs.

Um eine weitere Absenkung des Heizenergieverbrauchs zu erreichen, ist am 01.01.1995 eine novellierte Fassung der Wärmeschutzverordnung (WSchVo) in Kraft getreten, mit erhöhten Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz. Eine weitere Verschärfung dieser Verordnung ist für das Jahr 1999 geplant, mit Festschreibung des Niedrigenergiehaus-Standards im Neubaubereich.

Inzwischen dürfte es in Deutschland schon ca. 4 - 5 Tausend Wohneinheiten in Niedrigenergiebauweise geben. Nachfolgend werden hier einige Objekte exemplarisch aufgeführt, um anhand derer die Entwicklung in Deutschland aufzuzeigen, ohne dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Die wesentlichen Anregungen für die Niedrigenergiebauweise kamen aus den skandinavischen Ländern und aus Nordamerika. Dort war vieles schon Anfang der siebziger Jahre bekannt und erprobt. Auf diesen Erfahrungen bauten deutsche Wissenschaftler, Planer und Ausführende auf und entwickelten weiter, häufig in Kooperation mit schwedischen oder kanadischen Fachleuten.

2 Der Traum vom Nullenergiehaus

2.1 Richtungsweisend: V. Korsgaard

In seinen Ansätzen der Zeit weit voraus war der dänische Bauphysiker Vagn Korsgaard, der das Konzept des ersten "zero-energy-house" entwickelte. [Korsgaard 1977] Das Projekt wurde 1974 von der Technischen Universität Dänemark in Kopenhagen realisiert und meßtechnisch untersucht, mit Unterstützung durch das Dänische Ministerium für Wissenschaft und industrielle Entwicklung. Damit wurde nicht nur der Begriff "Null-Energie-Haus" eingeführt, sondern erstmals auch der Anspruch formuliert, ein Gebäude ohne aktiven Heizenergiebedarf zu realisieren.

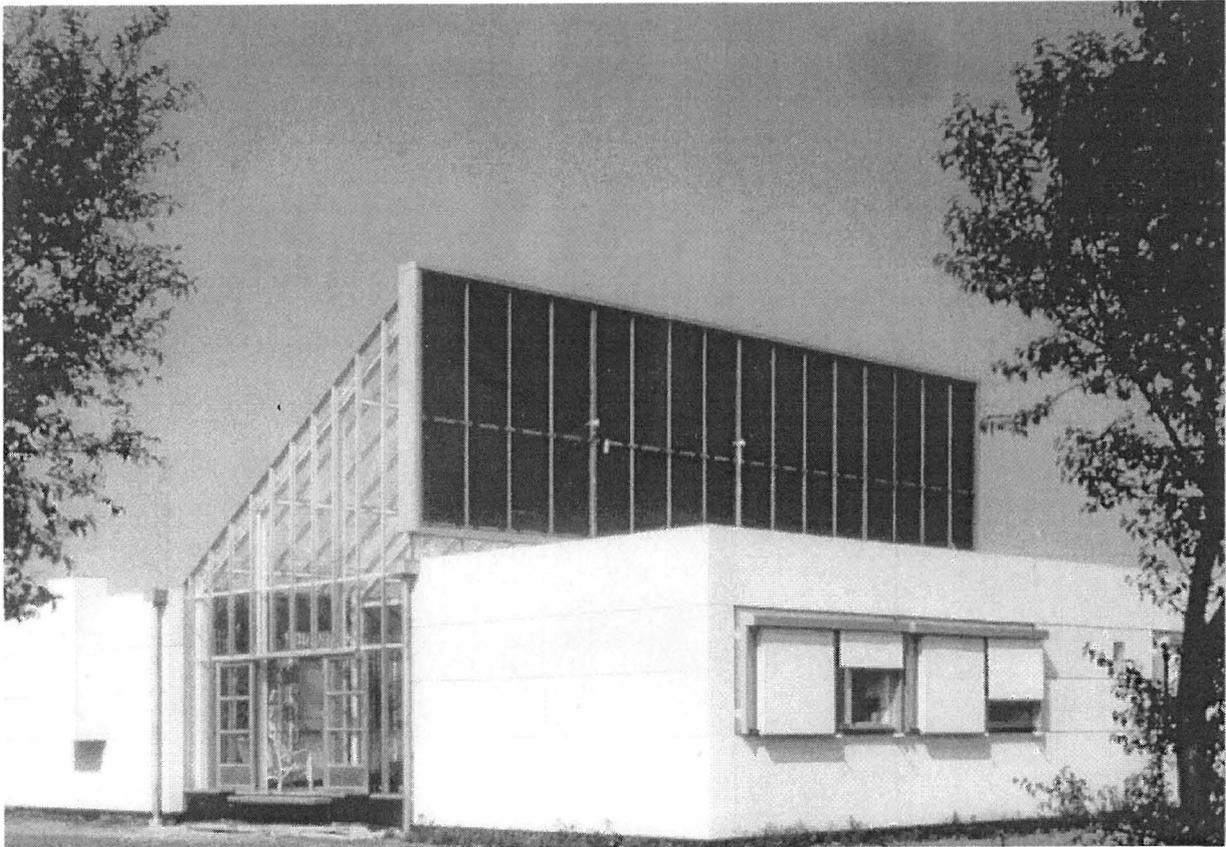


Abb.1) Süd-West-Ansicht des "Zero-energy-house" der Technischen Universität Dänemark in Kopenhagen.

(V.Korsgaard, Thermal Insulation Laboratory, Denmark)

Zu den aktiven Systemen des Experimentierhauses gehörten ein jahreszeitlicher Speicher und Sonnenkollektoren zur Brauchwassererwärmung, die jedoch bei dem inzwischen als Kindertagesstätte genutzten Gebäude nicht mehr in Betrieb sind. Die passiven Komponenten beinhalten bereits vieles von dem, was auch heute im Bereich der passiven Solarenergienutzung umgesetzt wird, unter anderem eine sehr gute Wärmedämmung der Gebäudehülle mit 40 cm PU-Dämmelementen. Die Fenster waren mit normaler Dreifach-Verglasung ausgestattet, bessere Gläser gab es damals auf dem Markt noch nicht. Daher wurden die Fenster relativ klein dimensioniert, und zusätzlich sorgten gedämmte Schiebeläden dafür, die Wärmeverluste so weit wie möglich zu minimieren. Unter anderem der Aspekt der kleinen Fenster stieß in der Fachwelt, besonders bei den Architekten, auf Ablehnung und führte zu der allgemeinen Einschätzung, daß ein derartiges Konzept allein schon aus gestalterischen Gründen nicht auf den normalen Wohnungsbau übertragbar sei. Und dies, obwohl aus der Projektbeschreibung deutlich hervorgeht, daß den Architekten bei der Umsetzung des Null-Energiehaus-Konzeptes große planerische Freiheit gegeben war ¹. In Fachkreisen festigte sich dennoch die Meinung, "Null-Heiz-Energie" sei technisch gar nicht realisierbar.

Trotz dieser Widerstände bot das Projekt von Korsgaard wichtige Impulse für die Entwicklung der Niedrigenergiehaus-Technologie. Es gab durchaus einen aktiven Erfahrungsaustausch zwischen Baufachleuten, Wissenschaftlern und Instituten in Skandinavien. So galt etwa das Buch "Airtightness and thermal insulation" von Björn Carlsson, Arne Elmroth und Per-Ake Engvall als eine der führenden Publikationen in diesem Bereich, besonders für Niedrigenergiehäuser in Holzbauweise [Carlsson 1980]. Umfangreiche Untersuchungsreihen wurden bereits Mitte der siebziger Jahre durchgeführt, etwa bei der Entwicklung von Konzepten zur Luftdichtheit von Gebäuden, und um die Anforderungen an die Wärmedämmung und Luftdichtheit von Gebäuden zu erfüllen, wie sie in der Schwedischen Baunorm von 1975 festgeschrieben sind.

2.2 Superinsulation-Konzept von W. Shick

Seit Anfang der siebziger Jahre findet nicht nur in den skandinavischen Ländern eine konsequente Entwicklung energieeffizienter Gebäudeplanung statt sondern ebenso in Amerika.

Zu den wichtigen Vorreitern in den USA gehört Wayne Shick, Architektur-Professor

¹ [Korsgaard 1977], S.9.

der Universität von Illinois, der sich seit 1974 mit "super-insulated houses" befaßte und damals schon davon überzeugt war, das sei die Bauweise der Zukunft [Ruby 1981]. Dennoch schätzte er die Entwicklung letzten Endes eher nüchtern ein. Als Voraussetzung für eine breitere Durchsetzung des energiesparenden Bauens sah er auch damals schon die Verknappung von Ressourcen: "Wenn die Energiepreise weiter steigen, dann wird der Moment des Erwachens kommen."²

Nachdem Shick 1976 sein Super-insulated-Konzept veröffentlicht hatte, griff eine andere Gruppe von Wissenschaftlern sein Konzept auf: Die *Saskatchewan Research Council* bauten ein Demonstrations-Objekt, in dem viele von Shicks Ideen umgesetzt wurden.

Aber der Durchbruch kam erst, als eine Gruppe unabhängiger Hausbauer das Konzept auf die damals gängige Bauweise übertrugen. Es wurden 70 Super-insulated Houses verkauft und das Konzept für weitere Häuser lizenziert. Damals entstand bei einigen Low-energy-Pionieren eine regelrechte Euphorie: "In unserem Gebiet sind inzwischen nahezu alle Sektoren der Industrie in die Entwicklung miteinbezogen."³ Fachleute diskutierten über die Wichtigkeit der jeweiligen Details; z.B. luftdicht schließende Türen oder die einwandfreie Ausführung einer Dampfsperre. Wayne Shick hielt damals, Mitte der siebziger Jahre, die Dampfsperre für notwendig, um Feuchtigkeit vom Dämmmaterial fernzuhalten. Aber bereits über zehn Jahre früher hatte der kanadische Bauforscher R.E. Platts erkannt, wie wichtig eine luftdichte Gebäudehülle ist, um Kondensationserscheinungen durch Luftströme zu vermeiden. Seine durch Untersuchungen von Holzbauweisen gewonnenen Erkenntnisse veröffentlichte Platts im Jahre 1962. [Zeller, Dorschky, Borsch-Laaks, Feist 1995]

² [Ruby 1981], S.90.

³ Ebd., S.90.

2.3 Ähnliche Ansätze in Kanada: W.A. Shurcliff

Neben Wayne Shick gab es in Kanada noch einen anderen frühen Vertreter des Konzeptes, den Schwerpunkt auf die Energieeffizienz zu legen statt auf kostenintensive aktive Solarenergienutzung. William A. Shurcliff vertrat seit Mitte der siebziger Jahre eine ähnliche Philosophie, wie sie heute auch für das Darmstädter Passivhauskonzept gilt (vgl. Kapitel 4). Die Frage der Dichtheit der Gebäudehülle und Vermeidung von Wärmebrücken, die passive Solarenergienutzung sowie große Dämmstärken (ca. 34 cm) kennzeichnen das Konzept des "super-insulated house", das Shurcliff favorisierte, da es einfach, kostengünstig und leicht verständlich ist.

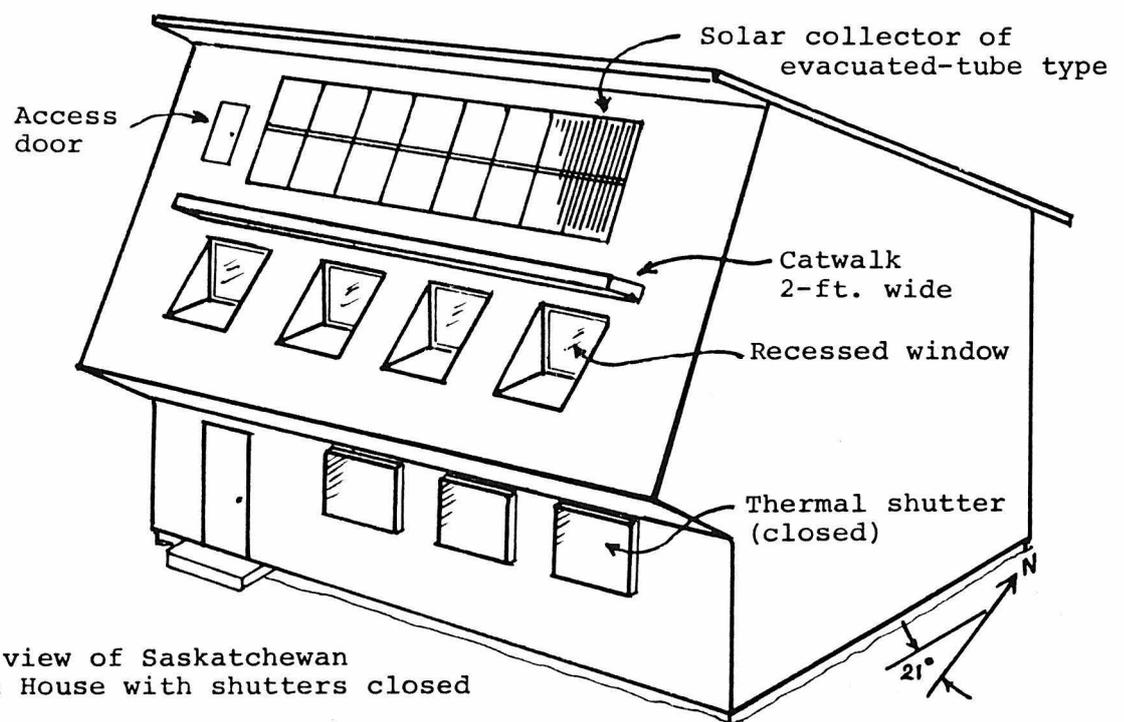


Abb.2) Ansicht des Saskatchewan Conservation House (1977) von Südosten. Der größte Anteil der Fenster befindet sich auf der Südseite. Besonders gegen nächtliche Wärmeverluste sind die Fenster durch zusätzliche wärmedämmte Schiebeläden geschützt. Über Solarkollektoren wird das Brauchwasser erwärmt. Der damit gekoppelte Warmwasserspeicher sorgt an besonders kalten Wintertagen außerdem für die Notbeheizung des Gebäudes.

(Quelle: [Shurcliff 1981], S.29)

Eines der frühen Beispiele in Kanda ist das Saskatchewan Conservation House (1977) von Shurcliff (vgl. Abb.2). [Shurcliff 1981] Das zweigeschossige Haus ist nicht unterkellert. Die Bodenplatte im Erdgeschoß ist mit einer ca. 15 cm dicken Zellosoeschicht gedämmt und lagert auf Streifenfundamenten, die zum Erdreich mit Polystyrol-Hartschaumplatten (ca. 5 cm) gedämmt sind. Die Betonfundamente sind dann nochmal zur Innenseite mit Polystyrol-Hartschaumplatten versehen. (vgl. Abb.3) Die Außenwände bestehen aus zwei vorgefertigten wärmegeprägten Leichtwänden, von denen die innere Wand die Zwischendecke trägt. Die Dampfbremse ist sorgfältig durchgehend ausgeführt. Die äußere Wand trägt die Dachkonstruktion. Der Hohlraum zwischen den beiden Wandelementen ist nochmals mit Dämmung ausgefüllt. Der Wandaufbau hat somit eine Stärke von insgesamt etwa 32 cm. Das um 20° nach Norden abfallende Pultdach ist mit über 40 cm Dämmung ausgestattet. Insgesamt 87 Prozent der Fensterfläche befindet sich auf der Südseite, 13 Prozent auf der Nordseite. Ost- und Westfassade haben keine Fenster. Die eine Hälfte ist doppelt, die andere Hälfte ist dreifach verglast. Um weitere Wärmeverluste zu vermeiden, sind die Fenster zusätzlich mit gedämmten Fensterläden ausgestattet. Im Erdgeschoß werden sie über Elektromotoren von innen bedient, im Obergeschoß manuell über Kurbelbetrieb. Im geöffneten Zustand verschwinden die seitlich verschiebbaren Läden in 'Schlitzen' in der Wand.

Durch die weitgehende Reduzierung der Wärmeverluste, die passive Nutzung der Solarenergie über die Südfenster sowie Nutzung interner Wärmequellen ist ein Verzicht auf konventionelle Heizsysteme (Öl, Gas, Holz) möglich, abgesehen von extrem kalten Wintertagen. Shurcliff gibt die eventuell benötigte Restheizung mit weniger als 15 Prozent pro Jahr an, gegenüber konventionellen Gebäuden in Kanda, die vor 1974 gebaut wurden ⁴. Die Notheizung erfolgt über einen Wasserspeicher, dessen Kapazität den Angaben Shurcliffs zufolge ausreicht, um im Winter für zehn strahlungsarme Tage genügend Wärme abzugeben. Vorrangig soll über den Wasserspeicher die Warmwasserversorgung des Haushalts gesichert werden. Das Speichermedium des ca. 12.700 Liter fassenden Speichers wird über Solarkollektoren erwärmt. Zusätzlich ist der Tank mit einem elektrischen Heizelement ausgestattet, welches jedoch selten benötigt wird. Für die Warmwasserversorgung allein ist der Tank überdimensioniert, was sich darin begründet, daß der Speicher auch für die Notheizung dimensioniert wurde.

⁴ [Shurcliff 1981], S.2.

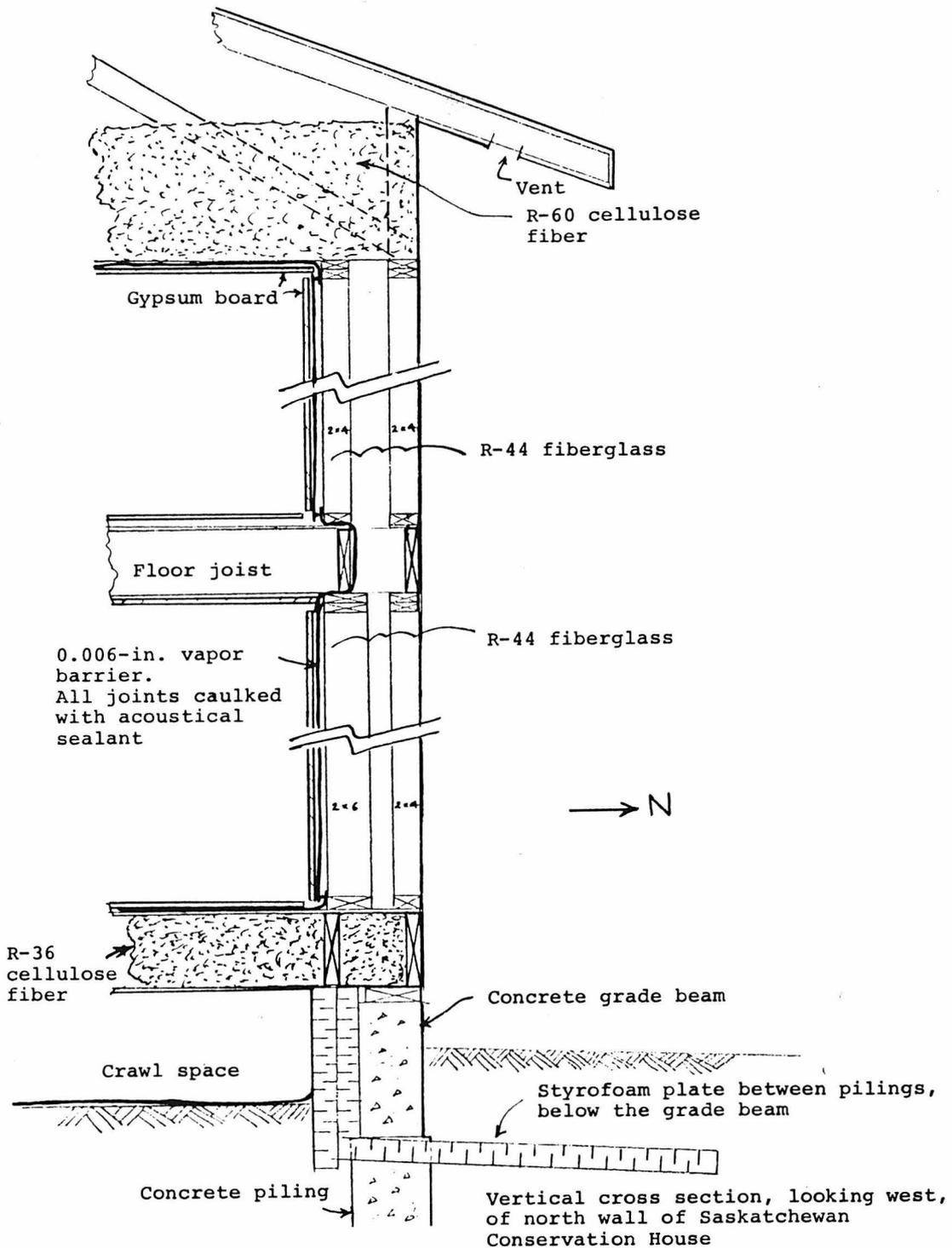


Abb.3) Bei dieser Aufrißzeichnung sind die entscheidenden konstruktiven Details zur konsequenten Vermeidung von Wärmebrücken sehr gut erkennbar. Sämtliche Anschlußpunkte sind sorgfältig ausgeführt, ebenso die auf den Wandinnenseiten lückenlos angebrachten Dampfsperren. Durchdringungen der Gebäudehülle wurden vollständig vermieden. Auf eine besonders gute Dämmung zum Erdreich hin wurde geachtet.
(Quelle: [Shurcliff 1981], S.33)

Dem Konzept des gewinnmaximierten Hauses, das dem "double-envelope house", dem Haus mit doppelter Hülle entspricht, stand Shurcliff kritisch gegenüber, weil er für die doppelte Hüll-(Glas-) Konstruktion zu hohe Kosten sah im Verhältnis zu den erzielbaren Solarenergiegewinnen. Das von ihm vertretene Konzept des verlustminimierten Hauses (super-insulated house) fand in Amerika jedoch zunächst wenig Resonanz, weil es offenbar "zu einfach" war, in dem Sinne, daß man den Häusern die Superdämmung und damit ihre Energieeffizienz nicht ansieht.

Der Markt setzte anscheinend mehr auf optische Wirksamkeit, also z.B. auf kostenintensive aktive Solarsysteme. Dementsprechend erlebte Amerika Mitte der siebziger Jahre einen regelrechten Boom in der Solararchitektur. [Humm 1990] Allerdings wurde bei diesen Häusern die Bedeutung des Transmissionswärmeverlustes und die Luftdichtheit der Gebäudehülle häufig unterschätzt. Innerhalb des konzeptionellen Entwurfes wurde das Gewicht sehr stark auf die passiven Solarenergiegewinne gelegt, Überhitzungsprobleme waren keine Seltenheit. Ein typisches Beispiel für die Anfänge der Solarhäuser in den USA ist die Skihütte mit beweglichen Reflektoren in Windham, Vermont. Das ganze Haus wendet sich der Sonne zu, um den konvektiven Gewinn aus der Strahlung einem Steinspeicher zuzuführen. Typologisch handelt es sich um einen Fensterkollektor, der den Steinspeicher lädt. "Zehn Jahre später, Ende der achtziger Jahre, hat dieses System in verfeinerter Technik ein Comeback in Europa erfahren, vor allem in der Schweiz."⁵

2.4 Das Philips-Experimentierhaus: H. Hörster und B. Steinmüller

An Erfahrung in Zusammenhang mit energieeffizienten Bauweisen hatten die Skandinavier und Nordamerikaner der deutschen Bauforschung und auch -praxis zunächst einiges voraus. Aber es gab auch in Deutschland experimentelle und systemanalytische Untersuchungen zur rationellen Energieverwendung und Nutzung der Sonnenenergie in Gebäuden. Diese belegten bereits Mitte der siebziger Jahre eindeutig, daß das technisch mögliche Ausmaß der Reduzierung des Heizenergiebedarfs von Gebäuden weit über den bis dahin allgemein angenommenen Grenzen lag. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die wesentlich von dem Bauphysiker B. Steinmüller und von H. Hörster durchgeführt wurden, liegen einem Forschungsprojekt *Rationelle Energieverwendung und*

⁵ [Humm 1990], S.9.

Nutzung der Sonnenenergie in Gebäuden zugrunde, das etwa 1976 begonnen und 1980 als Buch publiziert wurde [Hörster 1980].

Die Voraussetzungen für eine energieeffiziente Bauweise wurden aufgrund dieser Untersuchung bereits deutlich: Eine Verbesserung der Wärmedämmung, weit über den üblichen Standard hinausgehend, der Einsatz verbesserter Fenstertechnik und effizienterer Lüftungssysteme.

Um den damals allgemein verbreiteten Vorurteilen gegen "Superdämmung" und "Barackenklima" zu begegnen (vgl. Kapitel 3.3), wurde in dem Forschungsprojekt *Rationelle Energieverwendung und Nutzung der Sonnenenergie in Gebäuden* unter anderem denjenigen Parametern besondere Beachtung geschenkt, welche die thermische Behaglichkeit in einem Gebäude wesentlich bestimmen.

Zur Verringerung der Energieverluste in Gebäuden wurden eine Vielzahl möglicher Maßnahmen untersucht und durchgerechnet. Die wesentlichen sollen hier wiedergegeben werden ⁶ :

1. Passive Maßnahmen:

- Erhöhung der Wärmedämmung von Außenwänden, Dächern und Böden,
- Verringerung des Wärmedurchgangs durch Fenster und Türen mittels besserer Scheibensysteme und Rahmenkonstruktionen,
- Anbringen von Rolläden zur zusätzlichen Wärmedämmung für die Nachtzeit,
- Reduzierung der unkontrollierten Lüftung durch verbesserte Dichtungen in Türen, Fenstern und Rolladenbetätigungen,
- Wärmedämmung von Heizkessel und -leitungen,
- Südfenster großer Fläche mit geringem Wärmedurchgang und hoher Transmission für Sonnenlicht.

2. Aktive Maßnahmen:

- Wärmerückgewinnung aus der Abluft zur Erwärmung der Zuluft,
- Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser sowie aus den Abgasen der Heizanlage,
- Nutzung der Abwärme aus Haushaltsgeräten,
- Verbesserung bestehender Anlagen Anlagen zur Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung,
- Wärmeentzug aus der Luft, dem Erdreich, dem Grund- und Laufwasser mit Hilfe von Wärmepumpen,
- Anwendung von Sonnenkollektoren.

⁶ [Hörster 1980], S.3.

Wie nun diese verschiedenen Einzelkomponenten zusammenwirken und welche davon sinnvoll in einem Gebäudesystem miteinander zu kombinieren sind, war zunächst eine zentrale Frage. Jede Komponente des Systems beeinflusst bei wirtschaftlicher Optimierung die Ausführung und Leistungsfähigkeit jeder anderen. So können etwa passive Wärmeschutzmaßnahmen den Einsatz aktiver Alternativ-Techniken unrentabel machen, wie z.B. Sonnenkollektoren oder Wärmepumpen. Diese Zusammenhänge wurden experimentell untersucht anhand eines *Energie-Experimentierhauses*, das 1974 auf dem Gelände des Forschungslaboratoriums der Philips GmbH in Aachen errichtet wurde. In drei Heizperioden wurden die Auswirkungen verschiedener Einrichtungen zur rationellen Energieverwendung in Gebäuden und zur Nutzung der Sonnenenergie präzise vermessen.

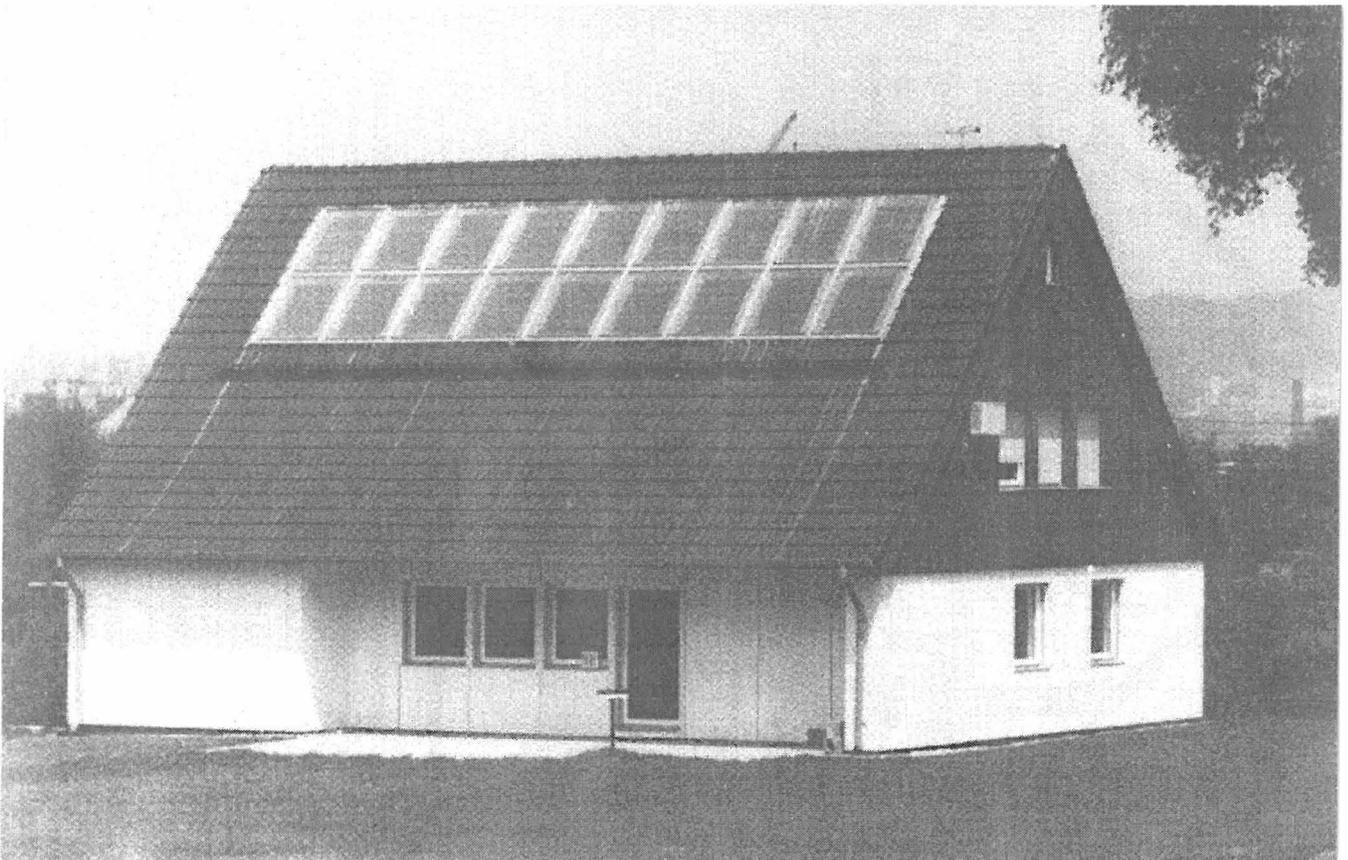


Abb.4) Südansicht des Philips-Experimentierhauses in Aachen. Vor allem die relativ klein dimensionierten Fenster zur weiteren Reduzierung der Wärmeverluste stießen bei den Architekten auf breite Ablehnung und schürten das Vorurteil, energiesparende Bauweisen hätten generell mit "anspruchsvoller" Architektur nichts zu tun.

(Quelle: [Hörster 1980], S.9)

Das Philips Experimentierhaus wurde als Fertighaus errichtet und entsprach einem Einfamilienhaus durchschnittlicher Größe mit zwei Stockwerken und rund 140 m² Wohnfläche. Um die Auswirkungen wärmetechnischer Verbesserungen der Gebäudestruktur demonstrieren zu können, wurden für die Untersuchungen drei unterschiedliche Standards der Wärmedämmung definiert: Das *Normalhaus* repräsentierte den damals in Deutschland durchschnittlichen Gebäudestandard nach den Richtlinien der DIN 4108 - Wärmeschutz im Hochbau (Ausgabe August 1969), einschließlich der ergänzenden Bestimmungen in der Fassung vom Oktober 1974, d.h. vor dem Erlaß der Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz in Gebäuden vom August 1977. Das *Schwedenhaus* bezeichnete den Bautyp nach den Vorschriften der Schwedischen Baunorm (SBN) 1975. Das *Experimentierhaus* definierte schließlich den Wärmeschutz gemäß den im Philips Experimentierhaus angewendeten Techniken einschließlich aktiver Maßnahmen der Gebäudebelüftung mit Wärmerückgewinnung.⁷

Der mittlere k-Wert der Außenwände, des Fußbodens und der Decke des Experimentierhauses wurde gegenüber dem Normalhaus von 1,23 auf 0,14 W/(m²K) verbessert. Die ursprüngliche Wand des Fertighauses wurde beim Experimentierhaus mit einer 16 cm dicken zusätzlichen Schicht aus Mineralwolle versehen, welche die gesamte Außenfläche des Gebäudes ohne Wärmebrücken umgibt. Es wurden Doppelscheiben-Fenster verwendet, bei denen zur Reduzierung der Wärmeverluste die Innenseite einer Scheibe mit einer die Wärmestrahlung reflektierenden Schicht versehen ist. Der k-Wert eines solchen Fensters beträgt 1,9 W/(m²K). Um die Verluste weiter zu reduzieren, wurden die Fenster relativ klein dimensioniert.

Aufgrund einer simulierten Bewohnung wurden mit einem Meßprogramm Daten gesammelt und ausgewertet. Meßdaten aus bewohnten Energiesparhäusern lagen zu der Zeit in Deutschland noch nicht vor. Die Auswertung der Daten ergab schließlich, daß die Höhe des Heizenergiebedarfs primär vom Wärmedämmstandard beeinflußt wird. Örtliche und jährliche Schwankungen dieses Bedarfs unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland erwiesen sich als sehr viel geringer als die durch die Baustandards bestimmten Bedarfsunterschiede.

Es wurde auch der Einfluß von Benutzergewohnheiten auf den Heizenergiebedarf untersucht. Dabei stellte sich heraus, daß der Heizwärmebedarf beim Standard des Normalhauses von Schwankungen der Innentemperatur sehr stark abhängig ist.

⁷ Zur Abschätzung der jährlich erforderlichen Heizenergie der drei Gebäudestandards im Vergleich zeigt eine bei Hörster aufgeführte Tabelle 2.1, "daß der Bedarf eines 'normal' isolierten Hauses von rund 50 000 kWh durch Anwendung der 'Vollwärmeschutz'-Maßnahmen (Schwedenhaus) auf rund 25 000 kWh und durch die im Experimentierhaus angewendeten Techniken auf etwa 9 000 kWh herabgesetzt werden kann."
[Hörster 1980], S.13.

Änderungen von plus/minus 2 °C um die Normaltemperatur von 20 °C bedeuten den Untersuchungen zufolge Erhöhungen bzw. Verringerungen von ca. 15 Prozent.

Die Ergebnisse der umfangreichen Simulationen und Berechnungen dieser bereits vor zwanzig Jahren durchgeführten Untersuchung sind eindeutig: Die erste Voraussetzung, um Energieeinsparungen im Gebäudebereich zu realisieren, "ist die konsequente und die heutigen Standards beträchtlich überschreitende Anwendung von Maßnahmen zur Eindämmung von Wärmeverlusten in Gebäuden. Nur in Kombination hiermit oder im Anschluß an diese Maßnahmen ist der Einsatz weiterführender Techniken zur Gebäudeheizung, wie Wärmerückgewinnung oder Nutzung der Umweltwärme einschließlich der Sonnenstrahlung, angebracht und sinnvoll." ⁸

2.5 Niedrigenergiehäuser als Konsequenz

Die umfangreichen Untersuchungen zur Energieeffizienz im Gebäudebereich in Skandinavien, Nordamerika und Deutschland gingen weit über den jeweils üblichen Standard Anfang der siebziger Jahre hinaus. Und die konkret vorliegenden Meßergebnisse machten deutlich, daß sogar der Gedanke des "Null-Heizenergie-Hauses" schon damals technisch realisierbar war (vgl. Kapitel 2.1). Innovationen, die ihrer Zeit weit voraus eilen, haben es jedoch immer sehr schwer, eine breite Akzeptanz zu finden. Nicht anders ging es den Pionieren der "zero-energy-house"- und "super-insulated-house"-Konzepte; von der Fachwelt wurden ihre Untersuchungen nicht ernst genommen oder gar nicht erst registriert. Doch aus diesen ersten Ansätzen entwickelte sich schließlich, besonders in Skandinavien und Nordamerika, die Niedrigenergiehaus-Bauweise.

In der Regel handelt es sich dabei um Holzleichtbaukonstruktionen. Diese Bauweise hat sowohl in Skandinavien wie auch in Nordamerika Tradition. In Mitteleuropa konnte sich jedoch die Holzbauweise gegen die traditionelle Massivbauweise bislang nicht durchsetzen.

Verschiedene Systeme sind im Holzbau gebräuchlich, die sich in Konstruktion, Montage und Erscheinung deutlich unterscheiden, worauf hier nicht näher eingegangen werden soll. Die einzelnen Konstruktionen sind sehr gut dargestellt im Bericht von Johannes Brucker über die Holzrahmenbauweise [Brucker 1994].

⁸ Ebd., S.185.

Die Holzrahmenbauweise findet in Nordamerika in fast allen Klimazonen Verbreitung, von Arktis bis Tropen unter extremen klimatischen Verhältnissen (Stürme, Regen, Kälte, Hitze, Trockenheit). Seit Mitte des 19. Jahrhunderts werden industrialisierte Holzbausysteme sowohl für die Massenproduktion als auch für den Selbstbau eingesetzt. Der Holzbau macht in Nordamerika etwa 95 Prozent des Wohnungsbaus aus; in Deutschland beträgt der Anteil des Holzfertigbaus etwa nur 5 Prozent. [Brucker 1994]

Befürworter der Holzbauweise sehen die wesentlichen Vorteile in folgenden Aspekten:

- Niedrige Baukosten, u.a. durch die Möglichkeit der Vorfertigung.
- Kürzere Bauzeit, die nach Erfahrungen mit bayrischen Projekten auf ein Drittel der notwendigen Bauzeit bei vergleichbaren Massivbauweisen verkürzt werden kann und damit die Finanzierung entlastet.
- Geringe Heizkosten.⁹

Die super-insulated houses in Nordamerika sehen in der Regel sehr schlicht aus. Das beruht nicht auf Baubeschränkungen sondern auf dem Bestreben von Planern und Käufern, die Kosten so gering wie möglich zu halten. Trotz bestimmter Erfordernisse, wie etwa die Anzahl der Fenster und die Größe des Hauses, sahen damals schon viele Planer in dieser Bauweise Möglichkeiten, architektonisch reizvolle Konzepte zu realisieren - als Architektur der Zukunft.

⁹ "Heute schon gängige Holzsystembauten mit Dämmstoffdicken von etwa 12 cm verringern die Brennstoffkosten im Vergleich zu Bauten, die die Anforderungen der WSchVo 1982 gerade erfüllen, um etwa 30 Prozent." [Brucker 1994], S.50.

3 Das Niedrigenergiehaus

3.1 Die skandinavische Entwicklung zum Niedrigenergiehaus

Die Skandinavier waren schon zu Beginn der siebziger Jahre in der Praxis ihrer Norm voraus, während in Deutschland erst das komplizierte Regelwerk der Gesetzgebung und Normung in Bewegung gesetzt werden muß, um für die Praxis Orientierungen oder gar `Zwänge´ zu schaffen.

In der Bundesrepublik Deutschland werden in bestehenden älteren Gebäuden heute zwischen 180 bis 260 kWh (18 - 26 Liter Heizöl) pro m² Wohnfläche und Jahr an Heizenergie verbraucht. Durchschnittliche Neubauten, die nach der WSchVo 1982 errichtet wurden, kommen bereits mit 140 bis 180 kWh (14 - 18 Liter Öl) durch den Winter, wenn sie den Vorschriften bezüglich Wärmeschutz und Heizanlage genügen. Deutlich geringer sind die durchschnittlichen Heizenergieverbräuche in schwedischen Neubauten, die nach der Schwedischen Baunorm (SBN) von 1975 errichtet wurden. Die SBN 1975 ist die erste in Deutschland bekannte schwedische Norm, die den baulichen Standard bezüglich des Heizenergiebedarfs gesetzlich regelte. Die festgeschriebenen jährlichen Heizenergieverbräuche für Neubauten lagen bei 100 bis 120 kWh/(m² a) (10 - 12 Liter Öl), was jedoch noch nicht dem Niedrigenergiehaus-Standard entsprach, der auch mit der nachfolgenden Norm, der SBN 1980, noch nicht erreicht worden war. Allerdings wurde mit der SBN 1980 erstmals der Einsatz von Wohnungs-Lüftungsanlagen zwingend vorgeschrieben. Denn in der Anwendung der vorhergehenden Baunorm hatte sich gezeigt, daß eine sehr gute Dichtheit der Gebäudehülle erreicht worden war, so daß Probleme mit der Feuchteabfuhr entstanden.

Bereits vor Drucklegung der SBN 1975 hatte Bo Adamson (Universität Lund) auf die Notwendigkeit von Lüftungsanlagen hingewiesen, was jedoch damals noch nicht berücksichtigt worden war. Die Erfahrungen mit der SBN 1980 waren sehr gut. Schließlich entwickelte sich zunehmend eine Kontroverse über die elektrische Gebäudebeheizung. Die Stromversorgungs-Unternehmen engagierten sich für die Einführung der elektrischen Heizung, während sich im Bereich der schwedischen Umweltschutzbewegung eine breite Ablehnung formierte. 1984 war sogar ein gesetzliches Verbot der Stromheizung geplant. Entscheidende Impulse, die aus diesem Dilemma herausführten, gingen auch diesmal von Bo Adamson aus. Sein Vorschlag war die Einführung einer besonderen Anforderung, des sogenannten ELAK-Standards: Um eine Stromheizung genehmigt zu bekommen, mußte ein besonders sparsamer Energieverbrauch nachgewiesen werden. Damit wurden

Gebäude definiert, "bei denen der Bedarf an elektrischer Energie für Heizgeräte und Warmwasser gegenüber Forderungen der schwedischen Baunorm von 1980 (SBN 1980) um 40 Prozent reduziert ist." ¹⁰ Die seit 1984 gültige ELAK-Norm schreibt einen Heizenergiebedarf von 70 kWh/(m² a) vor [ELAK 1984]. Damit war in Schweden der Niedrigenergiehaus-Standard für elektrisch beheizte Gebäude gesetzlich eingeführt.

Die neue Norm wurde von den Stromversorgungs-Unternehmen regelrecht propagiert. Das hatte zur Folge, daß gut die Hälfte aller Neubauten ab 1985 nach der ELAK-Norm gebaut wurden. In der Praxis zeigte sich bald, daß es technisch ohne weiteres möglich ist, den Niedrigenergiehaus-Standard zu erreichen. Das führte zu der Überlegung, diesen Gebäudestandard generell zu realisieren, unabhängig vom Vorhandensein einer elektrischen Beheizung.

Etwa 1990 erfolgte dann eine endgültige Abkehr von der Stromheizung, sogar mit Unterstützung durch die Stromversorgungs-Unternehmen. Denn der regelrechte "Boom" strombeheizter Neubauten nach Einführung der ELAK-Norm hatte in den Netzen zu Problemen mit Nachtlastspitzen geführt. Seit 1991 schreibt die *Nybyggnadsregler* den Niedrigenergiehaus-Standard generell vor, ein Heizwärmeverbrauch unter 70 kWh/(m² a) für Neubauten ist demnach Pflicht. [Adamson 1991]

3.1.1 Innovative Ideen aus Skive

Wichtige innovative Anstöße zur Energieeffizienz stammen u.a. aus Skive, einer kleinen Stadt im Norden Jütlands, die sich seit Mitte der siebziger Jahre als "Dänemarks Energiestadt" profilierte. [Feist 1986] Hier wurde im Gebäudebereich alles ausprobiert, was zu einer Einsparung an wertvoller Heizenergie führen könnte und erstmals 1977 in einer Ausstellung vorgestellt. Viele exotisch anmutende Ideen zur Realisierung besonders energiesparender Gebäude mit Solarenergienutzung haben sich nicht durchgesetzt. Aber die Erfahrungen aus diesen ersten experimentellen Bauprojekten fanden ihren Niederschlag in einer zweiten Ausstellung 1979 in Skive. Die Erscheinungsform der Gebäude ist insgesamt einfacher geworden, die einzige aktive Komponente, die sich durchgesetzt hat, ist die Brauchwassererwärmung mit Hilfe von Solarkollektoren. Der Wärmeschutz dieser Häuser entspricht in etwa der Schwedischen Baunorm von 1980. 1984 fand schließlich eine dritte Ausstellung in Skive statt, die auf den Erfahrungen der beiden

¹⁰ P.Finney: Heizwärmeverbrauchsanalyse und Einflußgrößen auf den Heizwärmeverbrauch, in: [Schwedisch-Deutsches Kolloquium 1982], S.39.

ersten aufbaute. Übrig geblieben waren alle Systeme, die sich zur Verringerung des Heizwärmeverbrauchs besonders bewährt hatten, nämlich der erheblich verbesserte Wärmeschutz der gesamten Gebäudehülle und die Wärmerückgewinnung aus der verbrauchten Abluft - beides Komponenten, die man den Häusern äußerlich nicht ansieht.

Doch nicht nur ein sehr guter Wärmeschutz gehörte damals schon zum Standard in Skandinavien sondern auch die Probleme, die bei unsachgemäßer Dämmung oder nicht ausreichend sorgfältiger Ausführung im Detail durch Wärmebrücken entstehen, sind in Schweden schon seit langem bekannt und werden auch durch die Schwedische Baunorm 1980 bereits geregelt. In Schweden hat die Holzbauweise eine lange Tradition, die sich bis heute fortsetzt. Das Problem der Wärmebrücken ist bei dieser Bauweise leichter lösbar als bei der in Deutschland üblichen Massivbauweise. So wird z.B. die vorgefertigte Bodenplatte inklusive Wärmedämmung als ein Element auf die Streifenfundamente gelegt. Die Wände bestehen in der Regel aus vorgefertigten Holzelementen, die mit Wärmedämmmaterial gefüllt und auf der Außenseite z.B. mit einer diffusionsoffenen winddichten Papierverkleidung versehen sind, auf der Innenseite mit einer Dampfsperre aus Polyäthylen. Der Anschluß der Wände an die Bodenplatte in gleicher Bauart läßt sich problemlos nahezu wärmebrückenfrei herstellen.

3.1.2 Beispiel aus Schweden: Malmö

Daß die Baupraxis in Schweden nicht bei der Schwedischen Baunorm 1980 stehen geblieben ist, macht das Beispiel einer Wohnsiedlung in Malmö deutlich. Die Gebäude der Siedlung hießen bereits Niedrigenergie-Häuser und dürften mit die ersten Häusern dieser Bauart sein, und dies lange vor der gesetzlichen Einführung des Niedrigenergiehaus-Standards durch die ELAK-Norm von 1984 (vgl. Kapitel 3.1). Die 1978/79 errichtete und seit 1980 bewohnte Siedlung erfüllt alle wesentlichen Aspekte, die ein Niedrigenergiehaus ausmachen:

- Ein sehr guter Wärmeschutz der Außenbauteile. Im Bereich des Daches und der obersten Geschoßdecken wurde 40 cm Dämmung verwendet. Die Wände sind auf der Langseite mit 20 cm Wärmeschutzmaterial gedämmt, auf der Giebelseite mit 34 cm.
- Sorgfältige Ausführung des Wärmeschutzes im Detail, zur Vermeidung von Wärmebrücken.

- Die Verringerung von Lüftungswärmeverlusten. Jede einzelne Wohnung wird über ein Zu- und Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung mit frischer Luft versorgt.
- Ein möglichst kompakter Baukörper zur Vermeidung unnötiger Wärmeverluste. In diesem Fall wurde die Reihenhausbauweise gewählt, weil sich hierdurch die Außenfläche minimieren läßt.
- Die passive Nutzung der Sonnenenergie. Die Fenster sind dreifach verglast. Eine hohe passive Solarenergieausnutzung ist jedoch keine notwendige Voraussetzung für energiesparendes Bauen (unter unseren Klimabedingungen), wie es der verbesserte Wärmeschutz, die Dichtheit der Konstruktion, die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste und die Kompaktheit des Gebäudes sind.
- Eine auf das Gebäude abgestimmte Heizanlage, die schnell reagiert. Die Häuser in Malmö werden über Warmwasser-Zentralheizungen versorgt, die an ein Fernwärmesystem angeschlossen sind.

Die Wärmeverteilung erfolgte zunächst über ein im Estrich verlegtes Ein-Rohr-Heizsystem, was sich als entscheidender Fehler herausstellte [Feist 1986]. Denn die Heizleitungen gaben auch bei geringem und sogar bei nicht bestehendem Wärmebedarf weiterhin Wärme an die Räume ab. Das führte häufig zu einer Überheizung der Wohnungen. In einer der Wohnungen wurde daher im Winter 1982/83 das Ein-Rohr-System abgeklemmt und durch eine Heizung mit flinker Regelung ersetzt. Allein durch diese Maßnahme sank der Heizwärmeverbrauch in dieser Heizperiode auf unter 25 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche im Jahr, gegenüber vorher ca. 60 kWh pro Quadratmeter und Jahr [Feist 1986].

Das macht deutlich, wie wichtig es ist, sehr guten Wärmeschutz, also bauliche Maßnahmen zur Energieeinsparung, mit einem entsprechend gut ausgelegten und ausgeführten Heizsystem zu kombinieren.

3.2 Solararchitektur als Trend in Deutschland

Das Philips-Experimentierhaus in Aachen (vgl. Kapitel 2.4) markiert den Kenntnisstand von 1976 in Deutschland, der allerdings damals sowohl von den Architekten als auch von der traditionellen Bauforschung kaum wahrgenommen wurde. Die Ergebnisse dieses Projektes gaben allenfalls Anlaß zu ironischen Einschätzungen der Pioniere als "Energievegetarier". Generell war die Front der Vorurteile auch in Fachkreisen breit. So war etwa die Meinung vorherrschend, daß gut isolierte Häuser geringerer Wärmekapazität unter Bedingungen hoher interner und externer Lasten zu unzulässigen Temperaturerhöhungen neigen. In diesem Zusammenhang wurden häufig einfache Umschreibungen zur Kennzeichnung des Innenraumklimas verwendet, wie "gesundes Wohnklima" für mäßig isolierte Wohnhäuser mit großer Wärmekapazität (Massivhäuser) bzw. "Barackenklima" oder "Leben in einer Thermosflasche" für besonders gut isolierte Häuser geringer Wärmekapazität. Die Angst vor dem "Barackenklima" muß aber auch im Zusammenhang mit generellen Vorurteilen gegen Holzleichtbaukonstruktionen gesehen werden, die in Deutschland teilweise bis heute fortbestehen. [Brucker 1994]

Viele deutsche Architekten sahen und sehen nach wie vor in energieeffizienten Bauweisen keine Chance für eine zukunftsweisende Architektur (vgl. Kapitel 2.5) sondern eher ein Hindernis: Sie fürchten ihre Gestaltungsfreiheit durch das energiesparende Bauen empfindlich eingeschränkt. Mit der häufig formulierten Forderung nach möglichst kompakter Bauweise scheint ihnen eine "Baukasten-Architektur" zu drohen, und die relativ kleinen Fenster, wie sie auch beim Philips-Experimentierhaus in Aachen zu sehen sind, haben mit Architektur "schon gar nichts mehr zu tun". Auch die Tatsache, daß es sich bei diesem Forschungsprojekt in Aachen um ein Fertighaus handelt, scheint einem ästhetischen Architektur-Empfinden völlig entgegenzustehen. Hier ist auch heute noch eine erhebliche Aufklärungsarbeit notwendig. Obwohl inzwischen eine neue Generation von Architekten "nachwächst", die den Entwicklungstendenzen durchaus offener gegenüber steht.

Die Philips GmbH stellte schließlich das Projekt in Aachen ein, und die Forschung konzentrierte sich jetzt statt dessen im wesentlichen auf die Entwicklung aktiver Komponenten. Aufwendige Forschungsprojekte wurden durchgeführt mit Solarkollektoren oder sonstiger technischer Zusatzausstattung wie Wärmepumpen, jahreszeitlicher Speicher usw.. Diese Komponenten waren nicht nur sehr teuer sondern auch in ihrer Effizienz fragwürdig, außerdem führten sie zu dem Vorurteil,

das energiesparende Bauen generell sei wesentlich kostenintensiver als konventionelle Neubauten.

Dennoch entwickelte sich zu Beginn der achtziger Jahre die Solararchitektur zu einem regelrechten Modetrend, der von Amerika nach Deutschland "herüberschwappte" (vgl. Kapitel 2.3). Bestärkt wurde dieser Trend sicherlich durch die Tatsache, daß die passiven Solarhäuser allein optisch wesentlich wirkungsvoller sind als etwa ein "zero-energy-house" von Korsgaard oder ein "super-insulated-house" von Shurcliff, denen man von außen nicht unbedingt ansieht, daß es sich um energiesparende Häuser handelt. Große Erwartungen bezüglich der Energieeinsparung wurden in angebaute Verglasungen gelegt, wie Wintergärten, Solar-Gewächshäuser oder in transparente Wärmedämmung für Außenwände. Tatsächlich ist durch gut geplante, nicht beheizte und thermisch vom Hauptgebäude getrennte Verglasungen eine gewisse Einsparung an Heizenergie möglich. Aber beim durchaus nicht unüblichen Beheizen von Glasvorbauten ist der Energieverbrauch gegenüber Gebäuden ohne Vorbau sogar deutlich höher. Zahlreiche Untersuchungen und Projektbeispiele belegen inzwischen eindeutig, daß eine Verbesserung des Wärmeschutzes des Hauptgebäudes sowie Maßnahmen zur Verringerung der Lüftungswärmeverluste den Energieverbrauch weit stärker reduzieren und geringeren baulichen Mehraufwand benötigen. Bei Wandsystemen mit transparenter Wärmedämmung kann die Überhitzung im Innenraum zum Problem werden.¹¹

3.3 Schon genug gedämmt?

Auch die offizielle Bauforschung in Deutschland wollte zunächst nichts von den eindeutigen Ergebnissen des Philips-Experimentierhauses wissen. Im Gegenteil, der negativ besetzte Begriff der "Super-Dämmung" rief bis Ende der achtziger Jahre in Fachkreisen nur ein Lächeln hervor. Baufachleute waren sich einig, trotz vorliegender weiterführender Ergebnisse, daß mit der WSchVo 1982 bereits die Grenzen dessen festgesetzt worden seien, was zur Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes gerade noch sinnvoll sei.

Auch bei offiziellen, internationalen Fachgesprächen fand diese Überzeugung Ausdruck, wie etwa auf dem Schwedisch-Deutschen Kolloquium, das 1982 in Bonn stattfand. Vertreten wurde diese Position etwa in dem Vortrag des Bauphysikers Karl Gertis¹². Von schwedischen Baufachleuten wurden jedoch Beispiele aus der Praxis

¹¹ Vgl. [Humm 1990], S.78.

¹² [Schwedisch-Deutsches Kolloquium 1982], S. 93 ff., besonders S.100 und S.106.

vorgetragen, die eindeutig belegen, daß zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs eine weitergehende Wärmedämmung der Gebäudehülle die wirtschaftlichste Maßnahme ist. Dies wird deutlich in den damaligen Vorträgen des schwedischen Architekten Jan Hagstedt und des schwedischen Bauingenieurs Peter Finney¹³.

Trotz der bewährten Beispiele verlustreduzierter Häuser vertraten Fachleute in Deutschland im wesentlichen die Meinung, bevor die Wärmedämmung über den gesetzlich festgeschriebenen Standard (WSchVo 1982) hinaus verbessert würde, müsse zunächst etwas für die Lüftungswärmerückgewinnung getan werden.

Nicht nur die Architekten sondern auch die offizielle Bauforschung konzentrierte sich verstärkt auf die "passive Solararchitektur", also auf Konzepte des gewinnmaximierten Hauses, obwohl für viele Standorte in Deutschland z.B. Daten über die Sonneneinstrahlung fehlten. Es gab zwar verschiedene Simulationsmodelle für Solaranlagen und auch für Energiebilanzen von Gebäuden, diese stammten jedoch meist aus den USA und waren nicht an deutsche Baustandards und Klimabedingungen angepaßt. Es gab auch keine allgemein anerkannten Modelle, um die Effekte unterschiedlicher Klimabedingungen miteinander vergleichen zu können.

Ausdruck dieses "Solararchitektur-Booms" ist das Projekt "Solarhäuser Landstuhl", welches zu Beginn der achtziger Jahre als offizielles Förderprogramm des Bundesministeriums für Forschung und Technologie durchgeführt wurde und damals im Mittelpunkt der Forschung zum energiesparenden Bauen in Deutschland stand [Gruber, Erhorn, Reichert 1989]. Im Rahmen dieses Projektes mit dem Schwerpunkt "passive Solararchitektur" wurden, aufbauend auf den Erfahrungen aus den Südstaaten der USA, schließlich zwölf Solarhäuser in Landstuhl (Pfalz) und Umgebung realisiert. Im Rahmen der Projekterweiterung wurden an anderen Standorten in der Bundesrepublik zehn weitere Solarhäuser und drei konventionelle Gebäude zu Vergleichszwecken in das Forschungsprogramm einbezogen. Noch war in Fachkreisen die Überzeugung vorherrschend, daß die gewinnmaximierte Bauweise hohe Energie-Einsparpotentiale erbringen würde.

Mit dem Landstuhl-Projekt wurden in Deutschland jetzt auch erstmals beide Strategien, die passive Solarenergienutzung und das verlustreduzierte Haus-Konzept, einander gegenübergestellt. Eine Auswertung des Projektes, die erst 1989 veröffentlicht wurde, bestätigte, daß die Ansätze der gewinnmaximierten Häuser (passive Solararchitektur) weitaus ungünstigere Ergebnisse brachten als das Konzept der verlustminimierten Häuser. Die Solartechnologie erwies sich unter energetischem Aspekt als wenig wirtschaftlich, was nun auch von der offiziellen Bauforschung verbreitet wurde. Der Bauphysiker W. Kast (Technische Hochschule

¹³ Ebd., S. 13 ff. bzw. S. 39 ff.

Darmstadt) erläuterte in einem Fachvortrag, daß nicht alle eintreffende Solarenergie auch tatsächlich nutzbar ist [Kast 1991]. Das heißt, in unserem mitteleuropäischen Klima ist es sinnvoller, die Wärmeverluste so weit wie möglich zu reduzieren - durch Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes.

Zu demselben Ergebnis waren die Dänen bereits 1980/81 mit ihren "Skive-Projekten" gekommen (vgl. Kapitel 3.1.1), was allerdings zu dieser Zeit in Deutschland noch nicht aufgenommen worden war. Mit dem Landstuhl-Projekt war nun eindeutig belegt worden, daß man die Wirksamkeit der Solararchitektur aufgrund rein methodischer Fehler stark überschätzt hatte. [Gruber, Erhorn, Reichert 1989] Bei den Bilanzmethoden, mit denen man versucht hatte, die Erfahrungen aus Amerika auf deutsche Klimabedingungen 'hinzurechnen', sind wesentliche Faktoren nicht berücksichtigt worden:

- Der Energiedurchlaßgrad der Fenster wurde viel zu hoch angesetzt,
- die Solarkonstanten für unser mitteleuropäisches Klima wurden zu optimistisch angesetzt,
- es wurde vergessen, die Verschattung zu berücksichtigen,
- die Anteile, die beim Fenster tatsächlich transparent sind, hat man überschätzt.

Diese Ergebnisse wurden Anfang der neunziger Jahre von der offiziellen Bauforschung schließlich anerkannt, stießen jedoch bei vielen Architekten nach wie vor auf breite Ablehnung. Obwohl inzwischen eindeutig belegt worden war, daß die beobachteten geringen Energieeinsparungen der Solarhäuser durchaus nicht durch den ungeschickten Nutzer verursacht waren, der "mit dieser Bauweise nicht adäquat umgehen könne."

3.4 Frühe Niedrigenergiehaus-Beispiele und Tendenzen aus Deutschland

Als Anfang der achtziger Jahre in Deutschland allmählich die Entwicklung energiesparender Bauweisen einsetzte, aufbauend vor allem auf den Erfahrungen zahlreicher skandinavischer Projekte, war der gängige Einwand, daß die klimatischen Bedingungen in Schweden und Dänemark ganz anders seien als in Deutschland und deshalb die dortigen Erfahrungen nicht auf deutsche Verhältnisse übertragen werden könnten. Messungen bestätigen jedoch eindeutig, daß "die

schwedischen und dänischen Erfahrungen (...) sehr gut auf Deutschland übertragbar (sind) - weit besser, als entsprechende Beispiele aus den USA, wo die Sonneneinstrahlung im Winter deutlich höher ist als in Mitteleuropa." ¹⁴

Die mittleren Außentemperaturen in Südschweden liegen nur wenig unterhalb der Temperaturen deutscher Standorte. Dennoch sind die in Südschweden gemessenen spezifischen Heizwärmeverbrauchswerte von Neubauten deutlich geringer als entsprechende Verbräuche deutscher Gebäude. Die Unterschiede sind allein durch den besseren baulichen Wärmeschutz zu erklären: "Vergleichende internationale Untersuchungen zeigen nämlich, daß die Schweden ihre Wohnungen durchschnittlich sehr warm (um 21 °C), durchgängig und auf der gesamten Fläche beheizen. Auch gibt es in Schweden keine vorgeschriebene verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung, die zu einem nutzungsbedingten Sparverhalten führen würde. Ein sparsames Nutzerverhalten scheidet als Erklärung für die erheblich geringeren Raumwärmeverbrauchswerte daher aus." ¹⁵

Es ließ sich also belegen, daß skandinavische Erfahrungen auf deutsche Klimabedingungen übertragbar sind. Von wenigen Fachleuten wurde in Deutschland auch schon Anfang der achziger Jahre die Idee vertreten, energiesparendes Bauen konsequent weiterzuentwickeln, so daß es schließlich möglich sein müßte, Häuser ohne Heizenergiebedarf zu realisieren. Zu diesen frühen Vertretern gehören unter anderem z.B. Wolfgang Feist und mit ihm zwei Mitarbeiter des Energie- und Umweltzentrums in Springe, Robert Borsch-Laaks und Erhard Wiers-Keiser. Die beiden letzteren hatten Ende 1981 konkrete Pläne für ein "Null-Heiz-Energiehaus" als Forschungsprojekt entwickelt. Das Objekt war als rein passives Haus geplant, mit sehr kleinen Fenstern und normaler Drei- oder Vierscheibenverglasung, denn Wärmeschutzgläser gab es noch nicht, sowie ca. ein Meter dicken mit Zellulose gedämmten Wänden. Diese von der Idee her durchaus funktionsfähige Planung zeigte jedoch deutlich die Grenzen der praktisch sinnvollen Umsetzung. Um diese extremen Dämmstärken und die sehr kleinen Fenster zu vermeiden, und dennoch einen sehr energieeffizienten Gebäudestandard zu erreichen, schlug Wolfgang Feist vor, eine gewisse Restheizung zuzulassen, die dann über eine Solaranlage gedeckt wird (Das Projekt wurde tatsächlich realisiert, vgl. Kapitel 3.4.4).

Im Dezember 1985 fand dann im Institut Wohnen und Umwelt (IWU) in Darmstadt der erste Workshop "Niedrigenergiehäuser" statt. In diesem Kreis mußte damals nicht mehr über die Notwendigkeit diskutiert werden, beim Bauen im Wärmeschutz

¹⁴ [Feist 1986], S.41. Siehe dazu auch [Feist, Adamson 1988], S.17.

¹⁵ [Feist 1986], S.41.

deutlich über das gesetzlich vorgeschriebene Mindestmaß hinauszugehen. Denn unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland ist eine Minimierung der Wärmeverluste die wirtschaftlichste Maßnahme, Heizenergie zu sparen. Aber Erfahrungen für diese in Deutschland noch weitgehend fremde Bauweise lagen kaum vor. Ein Jahr später unternahm eine Gruppe von deutschen Wissenschaftlern und Architekten, die sich unter anderem aus Teilnehmern des Workshops zusammensetzten, eine Forschungsreise nach Skandinavien, um sich vor Ort anhand konkreter Objekte über den Stand der Niedrigenergiebauweise zu informieren. Unter der sachkundigen Führung unter anderem von Arne Elmroth und Bo Adamson wurde deutlich, daß sich die Besichtigung nicht auf wissenschaftliche Einzelprojekte beschränkte, sondern daß es sich bereits um den normalen Standard in Dänemark und Schweden handelte [Feist 1986] (vgl. Kapitel 3.1, [ELAK 1984]). In der Folgezeit erschienen einige IWU-Broschüren, die konkrete Empfehlungen für die Niedrigenergiehaus-Bauweise enthalten.¹⁶ Zusätzlich führt das IWU seitdem in unregelmäßigen Abständen Energieberater-Treffen durch. Diese vom Hessischen Umweltministerium geförderten Tagungen bieten interessierten Fachleuten die Möglichkeit, konkrete Fragen im Energiebereich zu erörtern und sich über innovative Entwicklungen zu informieren.

Natürlich gab es hier auch noch andere 'Pioniere'. Zu nennen wäre etwa Ansgar Schrode, der sich als Bauphysiker und Haustechniker für die Akzeptanz der Niedrigenergiehaus-Bauweise einsetzte, angeregt durch eine Studie "Energiepolitik von unten", herausgegeben vom Arbeitskreis Alternativenergie Tübingen [Energiepolitik 1982].¹⁷ 1986/87 baute Ansgar Schrode sein eigenes Niedrigenergiehaus in Winnenden. Das Haus wurde in Massivbauweise errichtet, mit Stahlbetondecken und einem Mauerwerk aus gut wärmedämmenden Steinen ohne zusätzliche Dämmschicht. Das Gebäude war neben der Privatnutzung auch als Demonstrationsprojekt für die Öffentlichkeit geplant. Ziel war es, zu zeigen, "daß wenn man die konventionellen Techniken wie sehr gute Wärmedämmung, bestmögliche Wirkungsgrade bei der Wärmeerzeugung und Begrenzung der Lüftungswärmeverluste unter Berücksichtigung hygienischer Aspekte, jeweils mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand bei im Prinzip konventioneller Bauweise konsequent durchhält, ein sehr niedriger Heizenergieverbrauch resultiert."¹⁸

¹⁶ [Feist, Adamson 1988]. In der Schriftenreihe "Energiesparinformationen" des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten erschien ein Heft zum Thema [Niedrigenergiehäuser 1987]. Die neueste Broschüre ist eine Planungshilfe für Niedrigenergiehäuser [Eicke-Hennig, Wagner-Kaul, Großmann 1996].

¹⁷ Der Arbeitskreis wurde im Sommer 1979 von engagierten Wissenschaftlern, Ingenieuren und Studenten in Tübingen gegründet. Schon 1980 legte der Arbeitskreis sein "Alternatives Energiekonzept für die Stadt Tübingen" vor.

¹⁸ Das Zitat stammt aus den Planungsunterlagen "Niedrigenergiehaus in Winnenden" von A.Schrode.

3.4.1 Theoretische Planung und erste praktische Umsetzung, Haus Schreckhof in Mosbach

Bereits 1982 hatte die Europäische Gemeinschaft (COMMISSION 83) einen europaweiten Wettbewerb ausgeschrieben für eine kostengünstige Siedlung mit 25 Reihenhäusern in Mischbauweise mit Niedrigenergiehaus-Standard in Markgröningen (Baden-Württemberg). Zu den Projektmerkmalen gehörten außerdem eine supergedämmte Vorhangfassade aus zwei getrennten Leichtschalen sowie eine einfache kontrollierte Lüftung mit Überströmelementen in der Fassade. Beispielhaft soll hier nur ein Beitrag dieses Wettbewerbs kurz wiedergegeben werden, der den vierten Preis gewann und ausführlich in dem bereits erwähnten Bericht von Johannes Brucker dargestellt ist. [Brucker 1994] Hier wurden bereits die Merkmale des einfachen skandinavischen Niedrigenergiehauses auf deutsche Verhältnisse übertragen: "Hüllflächen aus hochwärmegeprägten Leichtelementen, moderate Fenstergrößen mit technischen Wärmeschutzmaßnahmen, Freiheit der Wohnungsorientierung (also keine ausschließliche Südausrichtung), Überströmventile in den Fassaden und kontrollierte Ablüftung, flink reagierendes Heizsystem." ¹⁹

Der Wettbewerbsbeitrag von Johannes Brucker wurde nie realisiert. Erst mit dem Einfamilienhaus Schwab in Mosbach fanden schließlich viele der vor allem passiven Maßnahmen ihre erste praktische Umsetzung. Das Ungewöhnliche an diesem Projekt ist, daß es sich bei dem Haus eigentlich um einen Sandsteinbau aus dem letzten Jahrhundert handelt, der äußerlich kaum verändert wurde. In das historische Stall- und Scheunengebäude wurde 1985/86 ein neues Haus in Holzrahmenbauweise eingebaut. ²⁰

Um den angestrebten Niedrigenergiehaus-Standard zu erreichen, wurde eine sehr gute Wärmedämmung der Gebäudehülle mit sorgfältig verlegter Dampfsperre ausgeführt. Bodenplatte, Wände und Dach sind mit 14 bis 30 cm Wärmedämmung versehen. Alle Fenster wurden mit Wärmeschutz-Isolierverglasung ausgestattet. Belüftet wird das Haus über die Fenster oder an kalten Tagen von einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. "Diese `Lüftungsheizung` unterstützt die effiziente Nutzung der kostenlosen Wärme von Sonneneinstrahlung, Hausgeräten, Lampen und menschlicher Wärmequellen, indem sie die Raumlufttemperatur fast

¹⁹ [Brucker 1994], S.145.

²⁰ [Humm 1990], S.143 ff.

träge einreguliert und Wärme im ganzen Haus verteilt." ²¹ Weitere Bestandteile der Lüftungsheizung sind ein Wärmetauscher (Warmwasser/Warmluft), Umluftventilator, Kreuzstromwärmetauscher zur Wärmerückgewinnung aus der Fortluft sowie eine Gasaußenwandtherme. Letztere erwärmt einen 300 Liter fassenden Wasserspeicher für die Warmwasserversorgung und liefert der Lüftungsanlage Heizwärme.

Der spezifische Heizenergieverbrauch des Gebäudes beträgt jährlich 50 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche.



Abb.5) Die Westansicht des Einfamilienhauses Schwab in Mosbach. In das historische Scheunengebäude wurde ein Niedrigenergiehaus in Holzrahmenbauweise eingebaut. Vor allem über den verglasten First gelangt viel Licht in die Innenräume.

(Foto: J.Brucker)

²¹ Ebd., S. 144.

3.4.2 Das erste Niedrigenergiehaus in Kassel

In privater Initiative entstand 1986 in Kassel ein Niedrigenergiehaus in Mischbauweise, das zunächst als normales Wohnhaus geplant war. Es war das Jahr des Reaktorunfalls in Tschernobyl. Auf einer Kundgebung in Kassel anlässlich des Unfalls trafen sich zufällig der Bauherr und der Architekt Karl-Heinz Fingerling und diskutierten über die Chancen konkreten Handelns, um der Ohnmacht angesichts einer solchen Katastrophe etwas entgegenzusetzen. Es wurde auch über die Möglichkeiten des energiesparenden Bauens gesprochen. Schließlich konnte der Bauherr überzeugt werden, das konventionelle Haus zum Niedrigenergiehaus umzuplanen, vorausgesetzt es würde nicht mehr kosten. Die Umplanung erfolgte umgehend, und das erste Energiesparhaus in Kassel wurde gebaut. In derselben Straße entstanden später noch weitere Niedrigenergiehäuser in Massivbauweise mit Wärmedämmverbundsystem, angeordnet als Reihenhäuser mit insgesamt 15 Wohneinheiten.

Beim ersten Gebäude wurden die Innenwände und Decken in Massivbauweise errichtet. Die Außenwände (Traufwände) wurden in diesem Fall in Leichtbauweise vorgefertigt. Sie bestehen aus Holzstielen, die mit Spanplatten beplankt wurden. Auf die Spanplatten wurden 17,5 cm starke Polystyrolplatten aufgeklebt und mit der unteren Putzschicht einschließlich Armierungsgewebe versehen. Wegen der Grenzbebauung mußte aus brandtechnischen Gründen ein 50 cm breiter Streifen aus unbrennbaren Dämmstoffen hergestellt werden. Hier wurden zwei Mal 10 cm Mineralfaserplatten aufgeklebt, die zusätzlich noch durch Glasgewebematten auf dem Untergrund befestigt wurden. Nach der Montage der Außenwandelemente wurde auf der Innenseite zwischen den Hölzern noch eine 12 cm starke Mineralwolldämmung angebracht, dann eine luftdichtende Polyäthylen-Folie, die sorgfältig gegen die Massivwände und -decken abgedichtet wurde. Die Gipsfaserplatten wurden auf einer weiteren Lattung befestigt.

Ein wichtiger Anschlußbereich ist der Übergang von Massiv- zu Leichtbauteilen, also vom Mauerwerk zum Dach oder zu den vorgefertigten Außenwandelementen. Die Außendämmung reicht bis Oberkante Dachsparren, so daß die Dämmung über der massiven Decke zum Dachraum an die Außenwände direkt anschließt. Eine sorgfältige Detailplanung und Ausführung ist hier besonders wichtig. Zwischen die Sparren im Treppenhausbereich wurden Styroporelemente eingepaßt, die im

gleichen Winkel der Dachneigung zugeschnitten wurden, um sie an die Außenwanddämmung problemlos anzupassen. Dabei wurde berücksichtigt, daß Bauholz noch austrocknet und infolgedessen schwindet. Um dem Entstehen von Fugen entgegenzuwirken, wurden die Styroporelemente zwischen den Sparren zum Holz hin mit Montageschaum verklebt.



Abb.6) Die Außenfassade während der Fertigung an der Baustelle. Die vorgefertigten Außenwandelemente reichen über zwei Etagen. Im Fensterbereich werden gerade die Brüstungselemente angebracht. (Foto: Fingerling)

Als nach dem ersten Jahr die Verbräuche abgelesen wurden, wollten die Mitarbeiter der Städtischen Werke die Zähleruhren überprüfen, weil sie angesichts der geringen Werte einen Defekt vermuteten: Der Gasverbrauch lag bei etwa 60 kWh/(m²a) einschließlich Kochen und Warmwasser.

3.4.3 Niedrigenergiehaus Schrecksbach

Gegen Ende der siebziger Jahre gab es erste vereinzelte Versuche, die für Skandinavien typische Holzbauweise mit Niedrigenergiehaus-Standard auf deutsche Verhältnisse zu übertragen. Einer der Pioniere, der Ingenieur Manfred Such, gehörte zu der Forschungsgruppe, die 1986 die Skandinavienreise unternommen hatte (vgl. Kapitel 3.4), und hatte bereits vorher acht Jahre in Schweden als Konstrukteur baupraktische Erfahrungen gesammelt. Sein erster konkreter Versuch, die schwedische Holzbauweise in Deutschland marktfähig zu machen, war ein 1985 errichtetes Musterhaus in Alsfeld. Das Haus wurde, entgegen schwedischer Bautradition, ohne Vorfertigung gebaut. In der dünnen, filigranen Masonit-Trägerkonstruktion läßt sich eine erhebliche Dämmstärke unterbringen. Der Planer mußte jedoch schnell feststellen, daß sich die Niedrigenergie-Bauweise in Deutschland zunächst nur in der Massivbau-Variante durchsetzen würde. Die Holzbauweise hatte in Deutschland zunehmend an Bedeutung verloren, beschränkte sich im wesentlichen auf die Pflege traditioneller Techniken, wie Fachwerk- und Blockbauweise. Besonders nach dem zweiten Weltkrieg war die Holzbauweise als "Barackenarchitektur" behaftet mit Vorurteilen und Ressentiments: "billig, nicht haltbar, kein richtiges Haus." Die Tradition der Massivbauweise wurde in Deutschland beibehalten. Die meisten Fertighäuser sind zwar Holzhäuser, die jedoch häufig verputzt werden und damit Massivbauweise vortäuschen.

Das 1987 in Schrecksbach realisierte Forschungs- und Demonstrationsobjekt war dann der erste Versuch des Ingenieurs Manfred Such, die skandinavischen Erfahrungen auf die Massivbauweise zu übertragen, und gleichzeitig die Konsequenz aus seinen Erfahrungen, daß die Holzleichtbauweise in Deutschland damals noch nicht marktfähig war. [Feist, Werner 1988] [Hinz, Feist 1992]

Das freistehende Einfamilienhaus mit 168 m² Wohnfläche wurde durch das Hessische Umweltministerium gefördert, und vom Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt wissenschaftlich begleitet. Es ist sehr gut wärmegeklämt und mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Beheizt wird das Gebäude mit einem Niedertemperaturkessel mit integriertem Brauchwasserspeicher. Angestrebt war ein spezifischer Heizenergiebedarf von 60 kWh/(m²a), der auch tatsächlich erreicht wurde. Dies ergab das umfangreiche Meßprogramm mit über 200 Meßpunkten, welches damals von Johannes Werner (ebök, Tübingen) erarbeitet und über drei Jahre kontinuierlich durchgeführt wurde. Damit liegt der Heizenergiebedarf des Gebäudes etwa 60 Prozent unter den Anforderungen der damals gültigen WSchVo von 1982.

Besonderer Wert wurde bei diesem Projekt auf einen sehr guten Wärmeschutz und die konsequente Vermeidung von Wärmebrücken gelegt. Die thermische Hülle umschließt das Gebäude vollständig, auskragende Bauteile wurden konsequent vermieden. Das Glashaus im Südwesten ist thermisch vom Gebäude getrennt und liegt außerhalb der thermischen Hülle. Das Gebäude ist nicht unterkellert. Der Dachboden ist über eine Dachluke zugänglich. Allerdings waren die hohen Anforderungen an die Dichtheit der Gebäudehülle in Bezug auf die Massivbauweise für alle Beteiligten Neuland. Daher kam es zu Fehlern bei der Ausführung, die zu Mängeln in der Luftdichtheit der Gebäudehülle führten. Es wurde z.B. das Schrumpfen der Hölzer im Wandauflagerbereich nicht bedacht. Zusätzlich sind die Dämmplatten der Thermohaut fälschlicherweise punktweise geklebt worden statt mit umlaufenden Klebwülsten, so daß zwischen Wärmedämmung und Massivwand ein durchgängiger Hohlraum vorhanden ist. Die Thermographie brachte diese Mängel schließlich ans Licht (Abb. 8). Die eindringende Warmluft tritt, wie auf der Abbildung deutlich zu erkennen ist, ca. 2,5 m tiefer aus - in der Grenzschicht Wärmedämmung-Perimeterdämmung. Allerdings erwies sich der Wärmeschutz trotz dieser Leckagen als insgesamt gut.

Die Erfahrungen haben insgesamt gezeigt, wie sehr es auf eine sorgfältige Planung der Luftdichtheit der Gebäudehülle und vor allem der Anschlußdetails ankommt sowie auf die Überwachung der Ausführung vor Ort. Dies gilt besonders für Gebäude, die mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet sind. Zusätzlich sollte die gesamte Gebäudehülle durch einen Differenzdrucktest

(Blowerdoor-Verfahren) auf Dichtheit untersucht werden. Je früher ein solcher Drucktest erfolgt, desto günstiger sind auch die Möglichkeiten, vorhandene Leckagen ohne erheblichen zusätzlichen Aufwand abzudichten. Auch aus bauphysikalischen Gründen (Vermeidung von Kondensat und Schimmelbildung in Bauteilquerschnitten) ist ein Drucktest für ein Niedrigenergiehaus zu empfehlen.

Aus diesen Erfahrungen ergab sich die Überzeugung, daß sich für die Umsetzung derartiger Objekte Projektgruppen bilden müßten, in denen jeweils alle Beteiligten an einem Tisch sitzen, so wie es in Skandinavien üblich ist. Eine optimale Planung bis ins Detail läßt sich dann am besten realisieren, wenn eine gute Kommunikation besteht zwischen den Herstellern vor Ort, dem Planer, Konstrukteur und Haustechniker sowie der genehmigenden Behörde.

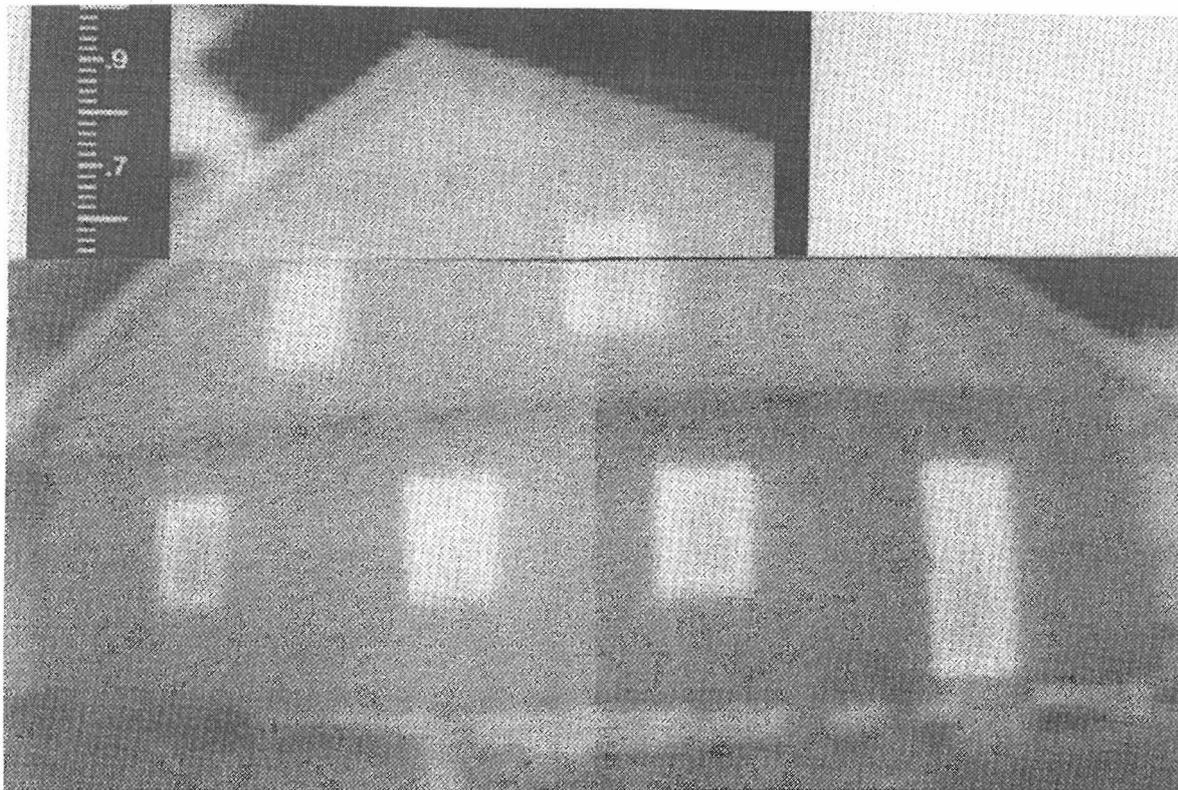


Abb.7) Die Thermographie macht den guten Wärmeschutz der Konstruktion deutlich.

(Quelle: Maschke Energieberatung, Fachbüro für Energiefragen u. Thermografie, Pforzheim 1988.)

3.4.4 Nullenergiehaus Dörpe

Ein Beispiel dafür, wie konsequent das energiesparende Bauen auch in Deutschland trotz aller Widerstände weiterentwickelt worden war, ist das Nullenergiehaus Dörpe (Niedersachsen) (vgl. Kapitel 3.3). Das Einfamilienhaus wurde 1989 in 1 1/2-geschossiger Holzrahmenbauweise errichtet. [Hinz, Werner 1994] Ursprüngliches planerisches Ziel war es, eine energieautarke Versorgung des Haushaltes zu erreichen, mit Wärmespeicherung für Heizung und Warmwasser sowie Windrad für die Stromversorgung. Das Haus wurde um einen 10 m³ fassenden Wassertank herumgebaut, um die saisonale Speicherung von Heizwärme zu gewährleisten. Die Beheizung des Speichers erfolgt über Kollektoren. Zur Reduzierung der Wärmeverluste wurde ein sehr guter baulicher Wärmeschutz der Gebäudehülle ausgeführt, mit Dämmstärken zwischen 36 und 55 cm. Als beste am Markt verfügbare Verglasung wurde eine Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung eingesetzt, sowie zusätzliche gedämmte Fensterläden und dem Gebäude angegliederte Pufferzonen. Die Lüftung erfolgt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Die Frischluft wird über einen Erdreichwärmetauscher vorgewärmt.

Ein umfangreiches Meßprogramm wurde mit Förderung des Bundesforschungsministeriums über zwei Heizperioden kontinuierlich durchgeführt. Die angestrebte sehr hohe Dichtheit der Gebäudehülle wurde nicht erreicht, als wesentliche Schwachstellen erwiesen sich die Verglasungsart, der Fensterrahmen und der Fensteranschluß an die Wandkonstruktion. "Alle weiteren Wärmebrücken im Gebäude spielen demgegenüber eine untergeordnete Rolle."²²

Die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen sind, daß das passive Konzept insgesamt sehr gut funktioniert. Es ist gelungen, einen guten Passivhausstandard zu erreichen, obwohl damals nur Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen verfügbar waren.

Die aktiven Komponenten haben sich dagegen nicht bewährt, besonders der jahreszeitliche Wärmespeicher. "Die Wärmeverluste durch Rohrleitungen, Pumpen und Ventile im Heizspeicher-Kollektorsystem, Transmissionswärmeverluste des Heizspeichers und Fehlfunktionen in der Steuerung und Regelung schränken die Effizienz des Systems ein. (...) Transmissionswärmeverluste durch den insgesamt nicht ausreichenden Wärmeschutz des Heizspeichers und Zirkulationsströmungen führen zu einer unkontrollierten kontinuierlichen Wärmeabgabe."²³

²² [Hinz, Werner 1994], S.III.

²³ Ebd.

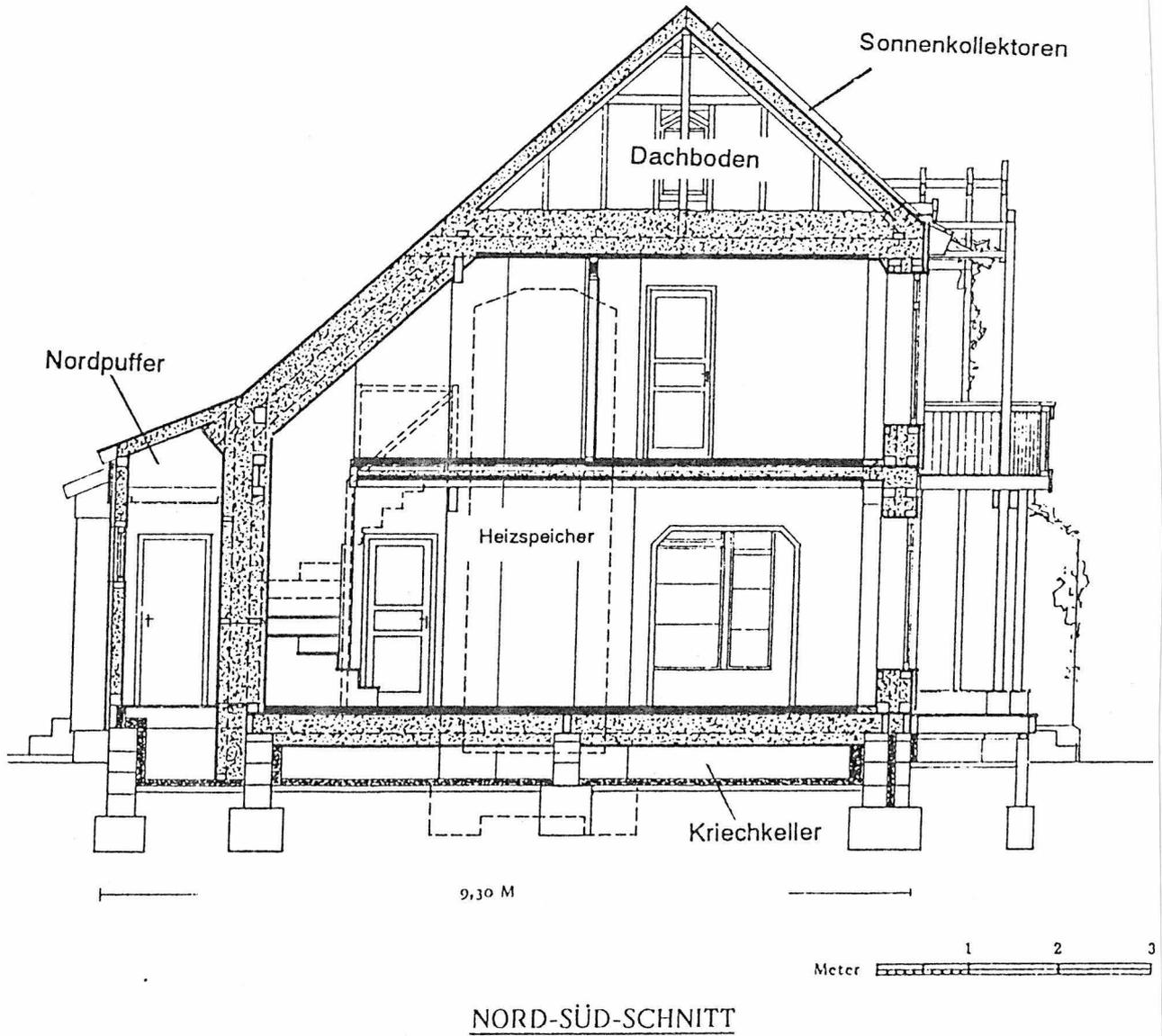


Abb.8) Die Zeichnung zeigt einen konstruktiven Querschnitt des Nullenergiehauses Dörpe.

Eine völlige thermische Autarkie wurde nicht erreicht. Eine gewisse Restheizung mit Hilfe einer Gastherme war notwendig, so daß sich ein Endenergieverbrauch von 45 kWh/(m² a) für Heizung, Warmwasser, Kochen und Strom ergibt. "Gegenüber einem üblichen Neubau nach Wärmeschutzverordnung von 1982 (170 kWh/(m² a)) verbraucht das Gebäude für Heizung und Warmwasser mit 16,6 kWh/(m² a) etwa 90 Prozent weniger Endenergie." ²⁴

Daß sich das ursprüngliche Konzept (Warmwasserspeicherung) nicht bewährt hat, ist kein prinzipielles Problem. Technisch wäre es durchaus möglich, einen gut funktionierenden jahreszeitlichen Speicher zu bauen. Da die Speicherdichte von Wasser relativ gering ist, benötigt man jedoch extrem große Volumina, um für ein ganzes Jahr Energie zu speichern. Entsprechend groß muß der Behälter sein, der außerdem besonders gut gegen Wärmeverluste gedämmt sein muß. Allein die Kosten für den benötigten umbauten Raum innerhalb des Hauses sind zu hoch, als daß sich ein solcher Ansatz wirtschaftlich vertreten ließe. Das Konzept des saisonalen Speichers für Einzelhäuser wurde daher nicht weiter verfolgt.

Die Untersuchungsergebnisse machen deutlich, daß es wesentlich sinnvoller ist, die passiven Konzepte weiterzuentwickeln: besonders eine verbesserte Konstruktion des Fensterrahmens sowie der Verglasungsart und eine Steigerung der Effizienz bei der Lüftungs-Wärmerückgewinnung.

3.5 Schwedisch-deutsche Kooperationsprojekte

3.5.1 Das Forschungsprojekt Ingolstadt - Halmstad

In einem schwedisch-deutschen Forschungsprojekt wurden zwei baugleiche Mehrfamilienhäuser in Halmstad (Südschweden) und Ingolstadt (Bayern) entwickelt, mit dem ehrgeizigen Ziel, in schwedischer Bauweise und mit deutscher Heizungs- und Lüftungstechnik preiswerte, energiesparende Häuser zu errichten [BINE 1992]. 1986 wurden die je 11 Wohnungen umfassenden Reihenhäuser nach den Plänen des Architekten Hans Eek fertiggestellt und bezogen. Wesentliches Merkmal der beiden Mehrfamilienhäuser ist die für Deutschland und die Schweiz unübliche Mischbauweise. Der tragende Baukörper des Erdgeschoßes und die Zwischendecken sind in Beton gegossen. Außenwände, Außendach und Zwischenwände bestehen aus vorgefertigten Holzbauteilen. Der Wärmeschutz der Holzträgerkonstruktion ist in den Wänden 21,5 cm stark, im Dach 34 cm. Dies sind

²⁴ Ebd., S.76.

für den schwedischen Neubau typische Werte und entsprechen der schwedischen Baunorm. Das Gebäude "schwimmt" auf einer 10 cm starken Dämmplatte aus Polystyrol. Auch die vertikalen Fundamentflächen sind vollständig wärmebrückenfrei gedämmt. Jede Wohnung ist in zwei Zonen eingeteilt: ein beheizter Wohnteil und nicht beheizte Pufferzonen, wie Wintergarten und Windfang. Die Fenster sind schwedischer Bauordnung entsprechend dreifach verglast, und außerdem mit einer Metallschicht versehen, die die Wärmestrahlung von innen reflektiert. Die Innenwände und -decken sind in Stahlbeton ausgeführt, um die Sonneneinstrahlung und die internen Wärmegewinne optimal zu nutzen und für eine ausgeglichene Raumtemperatur zu sorgen.



Abb.9) Ansicht der Reihenanlage in Ingolstadt.
(Quelle: [BINE 1989])

Die umfangreichen Messungen, die an beiden Orten von 1987 - 1989 durchgeführt wurden, haben für die Wohnungen einen spezifischen Heizwärmeverbrauch von ca. 44 kWh/(m²a) ergeben. Damit liegt der Nutzenergieverbrauch für das Objekt in Ingolstadt insgesamt 60 Prozent unter den Werten konventioneller deutscher Neubauten. Trotz des erheblich besseren Wärmedämmstandards bewegten sich die Baukosten im Bereich des kostengünstigen Wohnungsbaus. In Halmstad lagen die Kosten im für Schweden normalen Rahmen.

Der Einfluß des Benutzerverhaltens auf den Energieverbrauch erwies sich im Verlauf der Messungen als erheblich: "Die gemessenen Werte schwanken zwischen ca. 25 kWh/(m²a) für die günstigste und ca. 70 kWh/(m²a) für die ungünstigste Wohnung. In Ingolstadt wurde die Wichtigkeit der richtigen Dimensionierung von Heizanlagen für das Erreichen günstiger Energieverbrauchswerte sehr deutlich. Falsche Auslegungen bei Heizkörpern, der Kesselleistung und der Wärmepumpe konnten im Untersuchungszeitraum nur zum Teil korrigiert werden und ließen keinen optimalen Betrieb zu. Dadurch wurde die energetische und ökonomische Bilanz verschlechtert."²⁵

3.5.2 Fortsetzung der Kooperation in Pappritz-Dresden

Die schwedisch-deutsche Forschungs-Zusammenarbeit, die mit dem Projekt Ingolstadt - Halmstad begonnen hatte, wurde in einem weiteren Projekt fortgesetzt. In Pappritz-Dresden wurde eine ebenfalls von Hans Eek entworfene Reihenhausanlage mit zwölf Niedrigenergiehäusern und jeweils 125 m² Wohnfläche errichtet. [Pappritz-Dresden o.J.] Es lassen sich drei verschiedene Hausmodelle unterscheiden. Eine Reihenhausergruppe mit fünf Hauseinheiten wurde in Mischbauweise realisiert, ausgestattet mit Lüftung ohne Wärmerückgewinnung, Heizzentrale mit Gasbrennwertkessel und Brauchwasser-Solaranlage. Der Heizenergiebedarf wurde zu 25 kWh/(m²a) errechnet. Die zweite Hausgruppe mit ebenfalls fünf Wohneinheiten wurde in Leichtbauweise errichtet, mit zentraler Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung, Heizzentrale mit Gasbrennwertkessel und ohne Solaranlage. Der Heizenergiebedarf dieser Hausgruppe wurde noch geringer berechnet. Das dritte Modell ist ein Doppelhaus in Leichtbauweise mit zwei Hauseinheiten. Ausgestattet ist dieses Doppelhaus mit einer dezentralen Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Gasbrennwertkessel und Fassadenkollektoren.

An den Verbrauchswerten wird deutlich, welchen Einfluß die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage bei sehr guter Wärmedämmung hat, denn der Aufbau der

²⁵ [BINE 1992], S.3.

Außenhaut ist bei allen drei Hausmodellen identisch: Flachgründung mit Betonplatte auf Wärmedämmung aus harter Mineralwolle (k-Wert 0,12 W/(m²K)). Die Dachböden sind mit 55 cm Zellulosedämmstoff gedämmt (k-Wert 0,07 W/(m²K)) und die Außenwände mit Nordexträger und 35 cm Wärmedämmung aus Mineralwolle (k-Wert 0,135 W/(m²K)). Die Holzrahmenfenster sind dreifachverglast (k-Wert 1,0 W/(m²K)). Alle Fenster sind mit Klappläden ausgestattet, die nach Süden orientierten Fenster haben einen festen Sonnenschutz in Form eines Vordaches. Mit dieser baulichen Qualität reichen die Häuser nahe an den Standard von Passivhäusern heran (vgl. Kapitel 4).

3.6 Förderprogramme in Deutschland

3.6.1 Niedrigenergiehaus-Siedlung Distelweg, Niedernhausen

Angeregt durch die ökologische Siedlung "Experimenteller Wohnungsbau in Darmstadt-Kranichstein" wurde 1987 die Niedrigenergiehaus-Siedlung mit zentralem Nahwärmekonzept in Niedernhausen initiiert [Menje, Loga 1992] [Menje 1993]. Hauptzielsetzung war es, die Niedrigenergiebauweise ohne öffentliche Projektförderung in gängige Wohnungsbauprojekte umzusetzen. Die Niedrigenergiehaus-Siedlung Distelweg ist die erste Siedlung in Deutschland, die vollständig in Niedrigenergiestandard errichtet wurde. Sie umfaßt 41 Einfamilienhäuser, die in zwei bis sechs Einheiten zu Reihenhäusern zusammengefaßt sind.²⁶

Die wesentlichen bautechnischen Maßnahmen sind eine verstärkte Wärmedämmung der Außenhülle gegenüber der konventionellen Bauweise, so daß der mittlere k-Wert der einzelnen Objekte im Schnitt nur etwa die Hälfte des nach der damals geltenden Wärmeschutzverordnung von 1982 zugelassenen Wertes beträgt. Zusätzlich wird die wärmeübertragende Außenfläche durch die Reihenhausbauweise im Vergleich zu freistehenden Einfamilienhäusern reduziert. Die Anordnung der Gebäude an einem Südhang und die Ausrichtung bzw. Öffnung nach Süden durch große transparente Flächen ermöglichen ein hohes Maß an passiver Solarenergienutzung. Zur Sicherung eines dauerhaften, hygienisch ausreichenden Luftwechsels wurden Anlagen zur kontrollierten (mechanischen) Lüftung eingebaut.

²⁶ Die einzelnen Hausgruppen wurden von folgenden Architekten geplant:
Dipl.-Ing. Gitter, Dipl.-Ing. Hamacher /
Arbeitsgruppe Stadt/Bau Baufrösche Kassel /
Dipl.-Ing. Brackrock.



Abb.10) Eine Luftaufnahme der Niedrigenergiehaus-Siedlung Distelweg, Niedernhausen.

Ein weiterer Aspekt des Siedlungs-Konzeptes war der Einsatz rationeller Versorgungstechniken, um eine zusätzliche wirtschaftlich vertretbare Senkung des für die Beheizung und Warmwasserbereitung aufzubringenden Primärenergieeinsatzes um 30 bis über 50 Prozent zu erreichen. In der Regel besitzen diese Technologien eine wesentlich höhere Effizienz, wenn sie in größeren Siedlungen statt in einzelnen Gebäuden verwendet werden.

Äußerlich unterscheiden sich die Niedrigenergiehäuser der Siedlung in Niedernhausen kaum von konventionellen Reihenhauses-Neubauten. Jede Hauseinheit hat, über zwei Geschosse verteilt, je 123 m² beheizte Wohnfläche. Die Südhälfte liegt ein halbes Geschoß tiefer als die Nordhälfte und ist nicht unterkellert. Die Verglasungsflächen der Südfassade sind mit 13 m² pro Gebäude mehr als doppelt so groß wie die der Nordfassade (5 m²). Die Außenwände bestehen aus 17,5 cm Kalksandsteinmauerwerk, auf das außen ein 12 bis 16 cm starkes Wärmedämmverbundsystem aufgebracht wurde. Der Sparrenzwischenraum im Dachbereich ist mit 20 cm Mineralfaser gedämmt und raumseitig mit einer Folie als Dampfbremse versehen. Diese verhindert sowohl das Eindringen von Feuchtigkeit in die Konstruktion und gleichzeitig als Windschutz den unkontrollierten Luftaustausch nach außen. Als Sichtschalung dienen Gipskartonverbundplatten mit zusätzlich 5 cm Dämmung. Die Dämmung des Fußbodens gegen Keller bzw. Erdreich wurde in einer Stärke von 12 cm (incl. Trittschalldämmung) auf der Bodenplatte verlegt, sie dient als Auflager für den schwimmenden Estrich. Für die Fenster wurde Wärmeschutzverglasung eingesetzt mit einem k-Wert incl. Rahmen von 1,5 W/(m²K). Dies wird erreicht durch eine Silberbedampfung der inneren Scheibe zur Reflektion der Wärmestrahlung sowie eine Füllung des Scheibenzwischenraumes mit dem Edelgas Argon zur Verringerung der Wärmeleitung.

Der mittlere k-Wert der Hausgruppe beträgt 0,34 W/(m²K). Nach der Wärmeschutzverordnung von 1982 wäre in diesem Fall ein Wert von 0,71 W/(m²K) zugelassen gewesen.

Die meisten Gebäude der Siedlung sind mit Abluftanlagen ausgestattet, die aus einer mechanischen Entlüftung in den geruchs- und feuchtebelasteten Bereichen (Küche, Bad, WC) und Zuluftöffnungen in den übrigen Wohnräumen bestehen. Auf die wärmebrückenfreie und luftdichte Ausführung der verschiedenen Bauteilanschlüsse wurde besonders geachtet, vor allem die Anschlüsse der Außenwand-Thermohaut-Dämmung an die Dachdämmung, die Kellerdämmung und an die Fenster. Im Februar, März und April 1992 wurden dann insgesamt 20 Niedrigenergiehäuser im Distelweg nach dem Verfahren der Differenzdruckmethode (Blowerdoor-Verfahren) untersucht, um die Dichtheit der Gebäude zu überprüfen und eventuell vorhandene Leckagen zu lokalisieren, und um schließlich

Erkenntnisse zu gewinnen, wie dicht mit den heute am Bau verfügbaren Techniken gebaut werden kann. Die Messungen (durchgeführt von der Firma ebök, Tübingen) ergaben auffällig häufige Undichtigkeiten an Fenstern und Türen sowie der Holzständerkonstruktion an der Südfassade der untersuchten elf Häuser, die alle auf unvollständiges Abdichten hindeuteten. Teilweise waren auch falsch eingestellte Fenster- und Türscharniere die Ursache für Luftdurchlässigkeiten. Als Schwachstellen erwiesen sich bei fast jedem Haus Eingangs- und Kellertüren, die beheizten von unbeheiztem Raum trennen, sowie Rolladenkästen und Gurtdurchführungen zur Bedienung der Rolläden. Auch Anschlußarbeiten an den Installationsschächten, die in den Bereich des Sanitär- und Elektrohandwerkers fallen, waren häufig undicht ausgeführt, was zu einem Kamineffekt des Schachtes führen kann.

Für ein optimales Funktionieren der Abluftanlage, auch im Sinne der Energieeinsparung, wurde die Dichtheit in vielen Fällen nachträglich durch einfache Maßnahmen noch verbessert: Nachstellen der Fenster- und Türbeschläge, Ausspritzen von Dichtungsfugen an den Anschlußstellen von Rohr- oder Kabeldurchdringungen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen, Abdichten von Haustüren, Kellertüren und Dachluken in der wärmetauschenden Hülle.

Wie aus dem Abschlußbericht des Siedlungsprojektes hervorgeht, haben die Differenzdruckmessungen gezeigt, daß "in der heutigen Baupraxis eine Dichtheit, die für den Betrieb einer Anlage mit balancierter Zu- und Abluftanlagen erforderlich wäre, nur selten erreicht (wird). Obwohl die in Niedernhausen beteiligten Architekten, Bauherren und ausführenden Handwerksbetriebe sorgsam auf eine dichte Gebäudeausführung achteten, unterschreitet lediglich ein Gebäude beim Drucktest den für den Betrieb einer Zu- und Abluftanlage festgesetzten Schweizer Grenzwert von 1,0 l/h." ²⁷ Daran wird deutlich, daß der Ausführung besonders von Anschlußdetails eine noch größere Sorgfalt gewidmet werden muß, und daß die entsprechende Anleitung der beteiligten Baufachleute dringend erforderlich ist.

²⁷ [Menje 1993], S.10.

3.6.2 Förderprogramm - 30 Niedrigenergiehäuser in Hessen

Bereits die umfangreichen Messungen bei dem 1987 errichteten und durch das Land Hessen geförderten Forschungs- und Demonstrationsprojekt in Schrecksbach (vgl. Kapitel 3.4.3) hatten deutlich gemacht, daß die Niedrigenergiebauweise funktioniert und auch in Deutschland realisierbar ist. 1988, etwa ein Jahr nach dem Schrecksbach-Projekt, legte die Hessische Landesregierung ein Förderprogramm für Niedrigenergiehäuser auf. Es war das erste Niedrigenergiehaus-Programm in Deutschland.

In den Jahren 1989 und 1990 wurde der Bau von 30 Niedrigenergiehäusern bzw. Wohneinheiten gefördert. Erklärtes Ziel der Förderung war "die Schaffung von Demonstrationsobjekten in allen Landesteilen, von denen eine positive Wirkung auf die qualitative Baunachfrage und die Bauausführung ausgehen soll. Impulse für die wärmetechnische Gebäudesanierung werden erwartet."²⁸

Als Fördervoraussetzung war ein Wärmeschutznachweis dergestalt zu erbringen, daß der für das Verhältnis A/V einzuhaltende Wert $k_{m, \max}$ (maximaler mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient) um 50 Prozent gegenüber der WSchVo '82 unterschritten wird. Erforderlich waren außerdem eine winddichte Ausführung der wärmetauschenden Flächen, die Verminderung von Wärmebrücken sowie der Einbau einer Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung.

Das Förderprogramm wurde durch das Institut Wohnen und Umwelt (IWU) in Darmstadt in den Jahren 1989 bis 1992 wissenschaftlich begleitet.

3.6.3 Niedrigenergiehäuser in Schleswig-Holstein

Auch das Bundesland Schleswig-Holstein bemühte sich, den gängigen Vorurteilen, energiesparendes Bauen führe zu "stickigen Wohnmaschinen" mit kleinen und nicht zu öffnenden Fenstern, mit einem Förderprogramm für Niedrigenergiehäuser in Massivbauweise entgegenzuwirken [Niedrigenergie-Häuser 1992]. Das Programm begann 1989 und lief zunächst zögerlich an, da die Bauweise allgemein noch immer als unwirtschaftlich angesehen wurde. Außerdem lagen zu dieser Zeit kaum Kenntnisse vor in Bezug auf die Übertragbarkeit vor allem der skandinavischen Erfahrungen mit der Niedrigenergiebauweise auf die für Schleswig-Holstein (bzw. für Deutschland) typische Massivbauweise.

²⁸ [Eicke 1990], S.15.

Wesentliches Ziel des Förderprogramms war eine umfassende Information und Einbeziehung der Bevölkerung. Die anfänglichen Schwierigkeiten mit neuen Konstruktionen und der Weiterentwicklung der Haustechnik, besonders im Zusammenhang mit der kontrollierten Lüftung, wurden in einem eigens dafür eingerichteten Arbeitskreis bearbeitet. Die architektonische Gestaltung der Objekte war völlig freigestellt. Als Voraussetzung für eine Förderung wurden allerdings eindeutige technische Anforderungen formuliert. Die Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile sind als "Regelanforderungen" wie folgt festgelegt worden:²⁹

	<u>k-Werte</u>
• Außenwände und Decken, die beheizte Räume nach unten gegen die Außenluft abgrenzen	0,20 W/m ² K
• Decken unter nicht beheizten Dachräumen (einschl. Dachschrägen)	0,15 W/m ² K
• Kellerdecken, Wände und Decken gegen unbeheizte Räume sowie Decken und Wände, die an das Erdreich grenzen	0,30 W/m ² K
• Fensterflächen	1,50 W/m ² K

Die architektonische Konstruktionsart war freigestellt, allerdings unter Voraussetzung einer wärmebrückenfreien Ausführung. Vorgeschrieben war ein System zur kontrollierten Be- und Entlüftung (mit oder ohne Wärmerückgewinnung). Um die Wirksamkeit der kontrollierten Lüftung zu gewährleisten, wurde auf die Notwendigkeit einer weitgehend luftdichten Ausführung der Gebäudehülle hingewiesen. Für die Beheizung sahen die Förderrichtlinien ein raumweise schnell regelbares effizientes Niedertemperaturheizsystem mit Brauchwassererwärmung vor.

Trotz anfänglicher Schwierigkeiten erlangte das Projekt allmählich breitere Akzeptanz. Das planerische Ziel, den Heizenergiebedarf gegenüber damals üblichen Neubauten auf ein Drittel zu senken, konnte erreicht werden. Die Mehrkosten lagen bei 5 bis 10 Prozent der sonstigen Baukosten. Im Rahmen dieses Landes-Förderprogramms wurden über 700 Wohneinheiten mit Niedrigenergiehaus-Standard realisiert.

²⁹ [Niedrigenergie-Häuser 1992], S.5.

3.6.4 Energie- und kostensparende Wohngebäude in Schopfheim

Anfang der neunziger Jahre (1992/93) wurden in der Gemeinde Schopfheim im Landkreis Lörrach in Baden-Württemberg insgesamt 120 Wohneinheiten mit Niedrigenergiehausstandard in verdichteter Bauweise als Mehrfamilien- oder Reihenhäuser gebaut. Die Initiative zu diesem Projekt ging von Klaus Fleck aus, dem Bürgermeister von Schopfheim.

Ziel des Vorhabens war es, im Vergleich zu bisherigen Anforderungen (WSchVo 1982) eine Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes von Gebäuden um ca. 30 Prozent zu erreichen, und das mit nur geringen Mehrkosten. Das "Modell Schopfheim" wurde schließlich ohne jede Förderung realisiert, man baute mit unterschiedlichen Baustoffen und Dämmstärken. Die Mehrkosten beliefen sich auf etwa 120 - 150 DM pro Quadratmeter Wohnfläche³⁰. Um den angestrebten energetischen Standard der Gebäude zu gewährleisten, wurden die Käufer vertraglich verpflichtet, bestimmte maximale Wärmedurchgangskoeffizienten für Außenbauteile bzw. bestimmte Werte für den Jahres-Heizwärmebedarf nicht zu überschreiten. Als Zielwerte für den Heizwärmebedarf wurden festgelegt: 65 kWh/(m²a) für Mittelhäuser, 75 kWh/(m²a) für Reihenhäuser und 65 kWh/(m²a) im Geschößwohnungsbau. [Energiedepesche 1993] [Neddermann o.J.] [Fraunhofer 1992]

Die wissenschaftliche Betreuung des Projektes übernahm das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) Stuttgart.

3.6.5 Niedrigenergiehaus-Siedlung Freiburg-Rieselfeld

Zu den größer angelegten, aktuellen Projekten gehört die Niedrigenergiehaus-Siedlung Freiburg-Rieselfeld. In Orientierung an die für Freiburg im Breisgau typischen städtebaulichen Strukturen entsteht hier ein neuer Stadtteil im Westen Freiburgs mit rund 4500 Wohnungen [Stadt Freiburg 1993].

Das Projekt ist nicht auf ein einheitliches architektonisches Konzept festgelegt, sondern es werden unterschiedliche Bauformen wie Blockbebauung, Zeilenhaus, Reihenhäuser usw. realisiert. Das Grundkonzept sieht für alle Häuser einen Anschluß

³⁰ [Energiedepesche 1993], S.41.

an die Fernwärmeversorgung vor. Die Niedrigenergiebauweise ist als Standard vorgeschrieben mit einer maximal zulässigen Energiekennzahl von 65 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr.

Der Wohnungsbau im Baugebiet Rieselfeld wird teilweise vom Land Baden-Württemberg bevorzugt gefördert und andernteils frei finanziert.

3.6.6 Niedrigenergiehaus-Siedlung Leipzig-Knauthain

Seit 1993 ist in Leipzig-Knauthain (Sachsen) eine Siedlung für zweigeschossige Wohnbauten mit Niedrigenergiehaus-Standard in Planung. [Leipzig-Knauthain 1993] Das insgesamt 150 Wohneinheiten umfassende Konzept legt besonderen Schwerpunkt auf eine optimale Nutzung der Solarenergie. Die Gebäude werden in Hausgruppen von zwei bis sechs Häusern in Zeilenform zusammengefaßt. Für eine optimale passive und aktive Nutzung der Solarenergie wurden die Hauptfassaden nach Süden ausgerichtet. Der Abstand der Hauszeilen untereinander ist so gewählt, daß bei niedrigem Sonnenstand (Heizperiode) die Südfassaden nicht verschattet werden.

Die Gebäude werden in Holzrahmenbauweise erstellt. Für Wände und Dächer ist ein k-Wert von ca. 0,22 W/(m²K) vorgeschrieben, und die Fenster werden mit Wärmeschutzverglasung mit einem k-Wert von 1,6 W/(m²K) ausgestattet. Die Beheizung der Gebäude erfolgt mit einer kontrollierten Luftheizung mit Luft-Luft-Wärmepumpe und Gas-Zusatztherme. Warmwasserbereitung und Kochen erfolgen mit Erdgas.

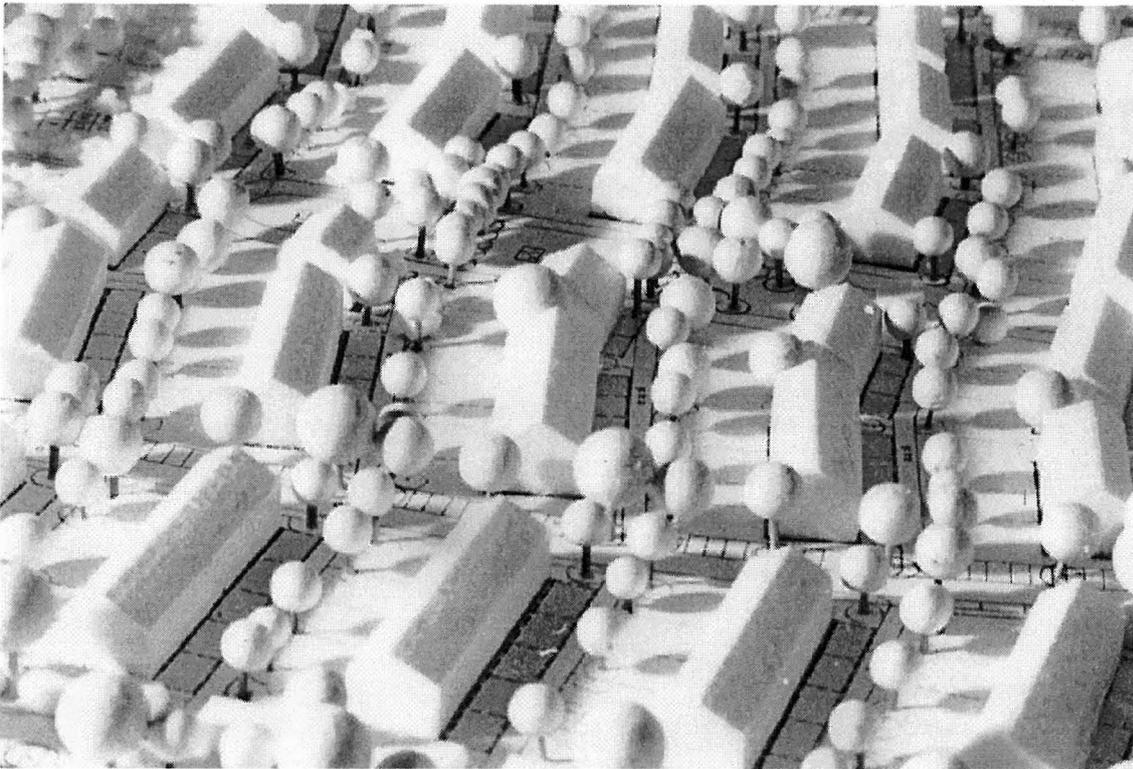


Abb.11) Ausschnitt aus einem Massenmodell des Siedlungs-Projektes Leipzig-Knauthain in Niedrigenergiebauweise.
[Leipzig-Knauthain 1993]

3.6.7 Weitere Niedrigenergiehaus-Projekte

Anfang der neunziger Jahre (1991) entstanden im Rahmen eines Demonstrationsvorhabens in *Heidenheim* fünf Doppelhäuser. Ziel des Projektes war es, anhand unterschiedlicher Konzepte aufzuzeigen, "daß mit vielfältigen Materialien und Anlagensystemen die Niedrigenergiebauweise realisierbar ist."³¹ Das Gesamtvorhaben wurde durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gemeinsam mit Partnern aus der Industrie gefördert und vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) wissenschaftlich begleitet. Der spezifische Heizenergiebedarf der Häuser bewegt sich zwischen 40 bis 60 kWh/(m²a).

Im Baugebiet *Werther* (Nord-Rhein-Westfalen) entstanden 1995/96 im Rahmen eines Detmolder Förderprogrammes 21 Einfamilienhäuser und 13 Mehrfamilienhäuser in Niedrigenergiebauweise. Planung und Bauausführung wurden vom Detmolder Niedrig-Energie-Institut im Auftrag des NRW-Forschungsministeriums begleitet und ausgewertet. Aufgrund der örtlichen Bausatzung wurden alle Häuser in Massivbauweise errichtet.

Ein Beispiel des engagiert durchgeführten Detmolder Förderprogramms ist das Niedrigenergie-Haus Meink, in Detmold-Privitsheide. Dabei handelt es sich um eine unterkellerte Doppelhaushälfte in einschaliger Massivbauweise mit Thermohaut-Außendämmung. Der spezifische Heizwärmeverbrauch des Hauses liegt, den Angaben der Projekt-Broschüre zufolge, im Bereich der vorgesehenen 30 bis 70 kWh/(m²a). [NE-Haus Meink o.J.]

Später gab es weitere Länderprogramme zur Förderung von Niedrigenergiehaus-Projekten, etwa vom Land Niedersachsen oder Baden-Württemberg. Auch von den Stadtwerken Hannover gingen Niedrigenergiehaus-Förderprogramme aus, die sich durchaus mit diversen Landesprogrammen messen lassen können.

Sicherlich gibt es noch weitere interessante kommunal oder privat initiierte Niedrigenergiehaus-Projekte, die man aufführen könnte. Sofern dies hier nicht geschieht, hat dies keine inhaltliche Bedeutung. Ziel der vorliegenden Broschüre ist es, einen groben Überblick über die Entwicklung energieeffizienter Bauweisen zu geben, ohne dabei - wie bereits eingangs erwähnt - einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

³¹ [Heidenheim 1991], S.2.

3.7 Ein langer Weg zum Niedrigenergiehaus

Nachdem nun der Weg bereitet war, zeichnete sich gegen Ende der achtziger Jahre ein regelrechter `Entwicklungsschub` im Bereich Niedrigenergiehaus-Technologie ab. Auch die offizielle Bauforschung erkannte nun diesen Bereich als zukunftsweisendes Innovationsfeld. Ausdruck dafür ist eine Empfehlung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau "Wege zum Niedrigenergie-Haus" aus dem Jahre 1988, an der renommierte Wissenschaftler beteiligt waren. [Wege zum Niedrigenergiehaus 1988] Unter der Frage, wie das Wohngebäude für das Jahr 2000 konzipiert werden müsse, wird nicht nur auf die Notwendigkeit der Energieeffizienz im Gebäudebereich hingewiesen, sondern es werden auch konkrete Empfehlungen für die Niedrigenergiebauweise formuliert. Abweichend von den Äußerungen auf dem Schwedisch-Deutschen Kolloquium, 1982 in Bonn (vgl. Kapitel 3.3), wird nun die "Superdämmung" propagiert, die "erheblich über den geltenden Anforderungen der Wärmeschutzverordnung (1982)" liegt.³² Niedrigenergiehäuser werden nun definiert mit einem Heizenergieverbrauch zwischen 50 und 90 kWh/(m²a), und liegen damit nur unwesentlich über den Empfehlungen, die das IWU in Darmstadt seit Mitte der achtziger Jahre für den Niedrigenergiehaus-Standard formuliert hatte (vgl. Kapitel 3.4).

Das Bemerkenswerte an der Empfehlung der Bundesregierung ist, daß die dortigen Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz³³ bereits über den Standard hinausgehen, der dann tatsächlich mit der novellierten WSchVo 1995 festgeschrieben wurde. Das heißt, man ist von den eigenen Ansätzen nochmals zurückgewichen für eine abgeschwächte Fassung der neuen WSchVo ('95). Auch die Diskussion im Rahmen der Novellierung derselben macht die offenbar noch immer bestehende Diskrepanz der Entwicklung deutlich. Ausdruck dafür ist eine Anfang 1993 veröffentlichte Stellungnahme von 18 Architekturprofessoren zur damals noch in Planung befindlichen WSchVo-Novelle, sowie eine Erwiderung der Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung e.V.³⁴ Die Architekturprofessoren wollen in ihrer Resolution das Gebäude als "komplexes Gebilde" verstanden wissen, und sehen in der "vordergründigen Teiloptimierung" (verbesserter Wärmeschutz)

³² [Wege zum Niedrigenergiehaus 1988], S.12.

³³ Die Empfehlung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau sieht folgende k-Werte vor:

- Außenwände 0,4 bis 0,2 W/(m²K)
- Fenster 1,8 bis 1,5 W/(m²K)
- Dach-, oberste
Geschoßdecke 0,2 bis 0,15 W/(m²K)
- Kellerdecke 0,45 bis 0,30 W/(m²K)

[Wege zum Niedrigenergiehaus 1988], S.5.

³⁴ Beides wurde veröffentlicht unter dem Titel: "Nur propagandistische Erfolge", in: VFA Profil, 6.Jahrgang, Nr.2 / 1993, S.44 ff.

negative Auswirkungen und Gefahren für das Gebilde "Haus". Regelrecht gepflegt werden hier offenbar die alten Vorurteile gegen die "mittels der Novelle oktroyierte(n) `Superdämmung`", die "mit Sicherheit zu Bauschäden" führen würde aufgrund angeblich mangelnder Erfahrung.³⁵ Durch die neue WSchVo fürchten die Verfasser der Resolution nicht nur eine empfindliche Einschränkung ihrer Kreativität, auch der Einsatz technischer Lüftungsanlagen erzeugt deutliche Ablehnung, als Ausdruck eines "lebensfremden, die Technik vor den Menschen stellenden Verordnungswillens."³⁶ Die Erwidern der Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung e.V. verweist auf die offensichtlich vorhandenen Wissensdefizite und auf die Tatsache, daß die Verfasser der Resolution die theoretischen und experimentellen Erkenntnisse sowie bauphysikalische Erfahrungen der vergangenen 20 Jahre schlichtweg ignorieren.³⁷

Zwar ist die Wirksamkeit und auch die Notwendigkeit des energiesparenden Bauens auch in der Fachwelt inzwischen unumstritten, aber erst die nächste geplante Novelle der WSchVo (voraussichtlich 1999) wird für Neubauten den Niedrigenergiehaus-Standard festlegen. Die seit Anfang 1995 wirksame WSchVo ist allenfalls eine vorsichtige Annäherung an diesen Standard, auch wenn mancherorts vom Niedrigenergie-Haus "erster Stufe" die Rede ist.

Der Trend geht nun in Richtung Kostensenkung beim energiesparenden Bauen. Lange Zeit galt die Niedrigenergie-Bauweise als zu teuer, und daher wurden die realisierten Objekte als eher exotische Einzelbeispiele abgetan. Unter anderem unter dem Aspekt des kostengünstigen Bauens wird zunehmend die Holzbauweise für den deutschen Markt neu entdeckt. Außerdem zeichnen sich die Einschätzungen der Holzbauweise durch z.T. emotional geprägte Charakterisierungen aus: schön, biologisch gesund, umweltfreundlich, beständig.

Bei der Leichtbauweise ist ein hoher Grad an Vorfertigung möglich, das Baugeschehen wird somit im wesentlichen ins Werk verlegt. Dadurch sind die Zeiten an der Baustelle erheblich kürzer. Der Grad an Vorfertigung ist beim Massivbau zwar geringer, es besteht aber die Möglichkeit, den Arbeitsprozess direkt an der Baustelle noch weiter zu rationalisieren. Neue Vergleiche zeigen, daß beide Systeme etwa zu gleichen Kosten errichtet werden können. Allerdings ist die Diskussion noch offen, der `Meinungsstreit` wird von Interessenvertretern beider Richtungen noch geführt. Eindeutig nachgewiesen ist dagegen, daß die Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizenergieverbrauch einen unerheblichen Einfluß hat. [Feist 1986] [Hauser, Otto, Stiegel 1995] Allerdings ist gerade bei

³⁵ [VFA Profil 1993], S.44.

³⁶ Ebd.

³⁷ Ebd., S.46.

Niedrigenergiehäusern mit hohem passiv solarem Deckungsanteil eine größere innenliegende Masse vorteilhaft für eine gleichmäßige Raumtemperatur im Sommer, was zu einem komfortableren Raumklima führt.

4 Vom Niedrigenergie-Haus zum Passiv-Haus

Heute bezweifelt niemand mehr, daß der Niedrigenergiehaus-Standard technisch realisierbar ist. In der Praxis gibt es inzwischen genügend gut dokumentierte Beispiele, die dies belegen und dementsprechend auch Erfahrungen, worauf es beim energiesparenden Bauen besonders ankommt.

Der Niedrigenergiehaus-Standard, der in Schweden mit der *Nybyggnadsregler* seit 1991 für Neubauten festgeschrieben ist (vgl. Kapitel 3), und in Deutschland erst mit der WSchVo von 1999 eingeführt werden soll, stellt jedoch noch nicht die technisch und wirtschaftlich erreichbare Grenze dar. Vielmehr ist es mit heutigen Erfahrungen und technischen Mitteln möglich, auch Null-Heizenergiehäuser zu bauen, d.h. Gebäude, die durch bauliche Maßnahmen an der Gebäudehülle einen Heizenergieverbrauch von "Null" aufweisen.

Die Entwicklung zum Null-Heizenergiehaus demonstrieren einerseits Beispiele, die auf Konzepten mit großen Wärmespeichern beruhen, wie z.B. das Nullenergiehaus Dörpe (vgl. Kapitel 3.4.4) oder das Haus Jenni in der Schweiz.

Ein weiteres konsequentes Beispiel ist das "Energieautarke Solarhaus" in Freiburg im Breisgau (1992/93), ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme. [Stahl, Voss 1992] Bei diesem Projekt wurden auch die wesentlichen Komponenten des Passivhaus-Konzeptes realisiert (vgl. Kapitel 4.1), unter anderem die sehr gute Wärmedämmung ringsum und die Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Die vollständige Energieautarkie wird erreicht durch aktive und passive Solarenergienutzung, Energiespeicherung und rationelle Energieverwendung. Die saisonale Energiespeicherung erfolgt bei dem Freiburger Solarhaus mit Hilfe von Wasserstoff: "Ein Wasserstoff-System ist dazu besonders geeignet, da der Wasserstoff einerseits mit dem Strom der Solarzellen aus Wasser gewonnen werden kann (Elektrolyse), und andererseits nahezu verlustfrei speicherbar ist. Mit Wasserstoff kann sowohl Wärme (Verbrennung) als auch Strom (Brennstoffzelle) erzeugt werden." ³⁸ Gespeichert werden die Gase Wasserstoff und Sauerstoff. Der Sauerstofftank (7,5 m³) befindet sich unter der Erde, während der 15 m³ große Behälter für den

³⁸ [Stahl, Voss 1992], S.8.

Wasserstoff sichtbar neben dem Haus steht.

Insgesamt zeichnet sich das energieautarke Solarhaus durch komplizierte technische Systeme aus, die sehr kostenintensiv und wartungsaufwendig sind, aber keine zwingende Notwendigkeit darstellen, um den Passivhaus-Standard zu erreichen.

Bei diesen auf Energiespeicherung beruhenden Konzepten erwies sich gerade in den sonnenarmen Monaten die jahreszeitliche Speicherung immer wieder als problematisch.

Ein anderer Ansatz beruht darauf, das inzwischen bewährte Erfolgskonzept des Niedrigenergiehauses konsequent fortzusetzen, und zwar mit den wesentlichen Aspekten:

- Einfachheit des Gesamtkonzeptes (architektonisch und technisch),
- keine teuren Zusatzkomponenten (wie Wärmespeicher, aufwendige aktive Solar-Systeme, transparente Wärmedämmung usw.),
- Reduktion der Wärmeverluste (durch sehr gute Wärmedämmung, kompakte Gebäudeform und Wärmerückgewinnung),
- passive Solarenergienutzung durch ohnehin vorhandene Fenster.

Das erste Null-Heizenergiehaus, das im wesentlichen auf diesen Aspekten beruht, ist das Haus von Korsgaard in Kopenhagen, das bereits 1976 gebaut wurde (vgl. Kapitel 2.1). Ein Jahr später entstand in den USA das Saskatchewan Conservation House von Shurcliff (vgl. Kapitel 2.3). Doch auch in Deutschland gab es mit dem Philips Experimentierhaus in Aachen ähnliche Ansätze, etwa zeitgleich mit den Dänen (vgl. Kapitel 3.1.1). Alle drei Projekte waren ihrer Zeit weit voraus und galten als exotische Einzelbeispiele, von vielen Baufachleuten kaum zur Kenntnis genommen.

Die konsequente Fortsetzung derartiger Innovationen führte schließlich zum Konzept des Passiv-Hauses. Zu den Vorreitern der Passivhaus-Idee gehört Bo Adamson von der Universität Lund. Die Ergebnisse und Erfahrungen der ersten Passivhäuser in China (1988), die Bo Adamson wissenschaftlich begleitete, veranlaßten den Bauphysiker zu der Frage, ob sich ein derartiges Objekt auch im gemäßigten europäischen Klima realisieren läßt. Bereits im selben Jahr entwickelte das Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt gemeinsam mit der Universität Lund ein theoretisches Konzept für das erste Passivhaus in Deutschland.

4.1 Das Passivhaus Darmstadt-Kranichstein

Die Planung für das Passivhaus Darmstadt Kranichstein begann bereits 1989. Mit diesem Projekt fand das schwedisch-deutsche Konzept seine erste praktische Umsetzung in Deutschland, orientiert an folgender konsequenter Definition: Passive Häuser sollen auch im mitteleuropäischen Klima praktisch ohne Heizenergiebedarf auskommen. Das Haus kann dann allein mit den ohnehin vorhandenen inneren Wärmequellen und der durch Fenster eingestrahlten Sonnenenergie, also "passiv", warm gehalten werden. Eine "aktive" Beheizung ist überflüssig, ohne auf die üblichen Wohnqualitäten zu verzichten. Im Gegenteil, ein Passivhaus im strengen Sinn sollte "komfortable raumklimatische Bedingungen im Winter wie im Sommer ohne aktives Heiz- oder Klimatisierungssystem" sicherstellen.³⁹ Gleichzeitig ist eine weitere Verbesserung der Energieeffizienz wirtschaftlich sinnvoll, indem alle Haushaltsenergieverbräuche gering gehalten werden. Sonst wäre es beispielsweise möglich, den Heizwärmebedarf dadurch auf "Null" zu reduzieren, daß hohe Stromverbräuche, die starke interne Wärmequellen erzeugen, in Kauf genommen werden. [Feist 3, 1994]

In der offiziellen Bauforschung gab es jedoch noch immer kritische Stimmen. Ein Beispiel dafür ist der bereits erwähnte Fachvortrag von W. Kast, in dem er "die Grenzen für die Reduzierung des Heizwärmeverbrauchs" aufzeigt.⁴⁰ Er bezweifelt hier nicht nur die Wirtschaftlichkeit einer "äußerst guten" Wärmedämmung sondern auch, daß das Passivhaus-Konzept überhaupt funktioniert.

Entgegen aller kritischer Einschätzungen wurde das Passivhaus Darmstadt-Kranichstein 1990/91 errichtet. Projektierung, Vorbereitung und Bau des Mehrfamilienhauses wurde vom Hessischen Umweltministerium gefördert. Dabei wurde ein Gesamtenergiekennwert von ca. 30 kWh/(m² a) für Haushaltsstrom, Warmwasser und ggf. Restheizung angestrebt. (Abb.13) [Feist 1995] [Feist 4, 1995] [Feist 1994] [Feist 2, 1994] [Feist 3, 1994]

³⁹ [Feist 3, 1995], S.1.

⁴⁰ [Kast 1991], S.268.

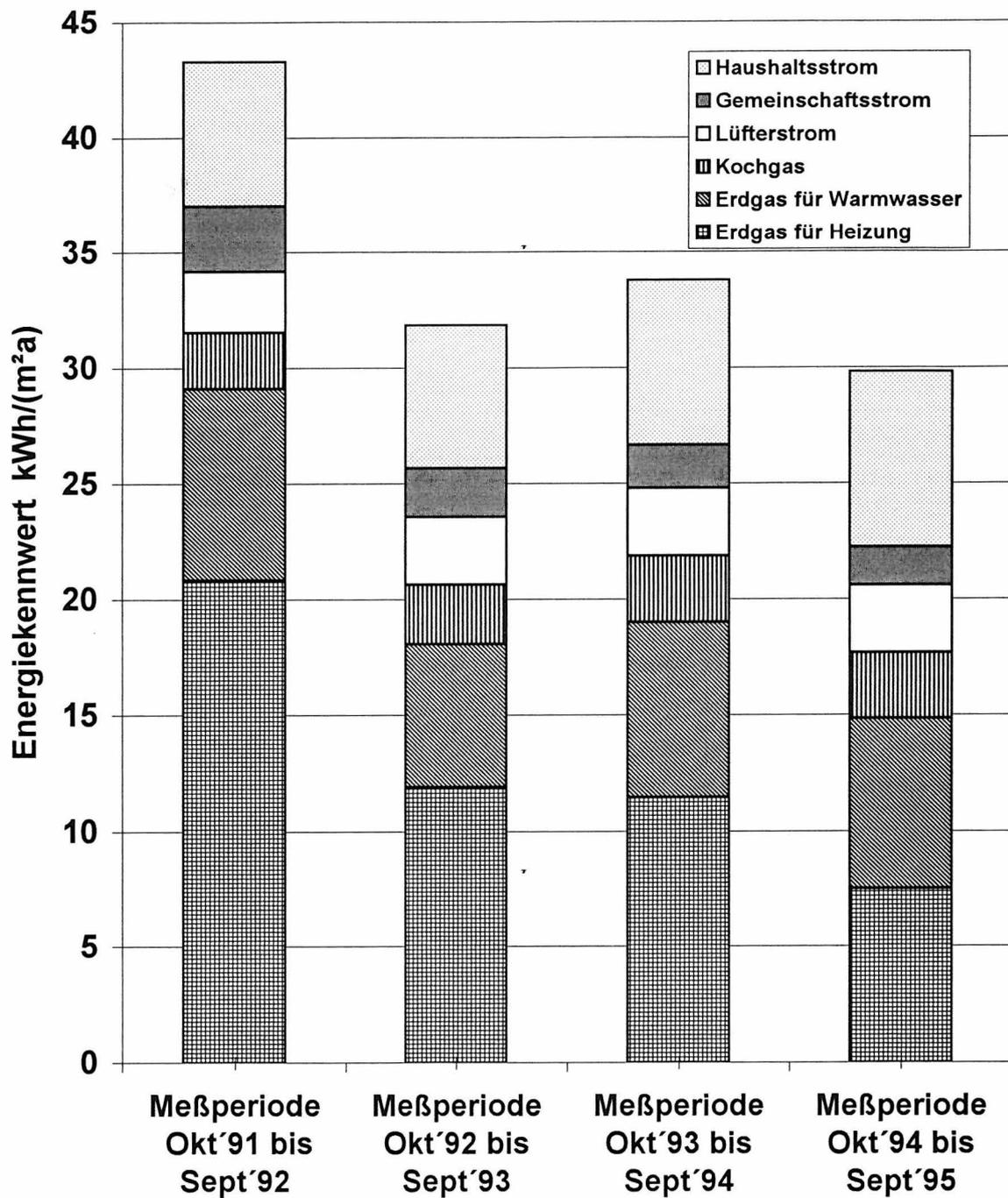


Abb. 12) Der gemessene spezifische Energiebedarf im Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Während im ersten Meßzyklus noch nicht alle Dämmmaßnahmen fertiggestellt waren, wurde ein Erdgasverbrauch für die Heizung unter $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ in allen vier Wohnungen in der zweiten, dritten und vierten Meßperiode erreicht. Auch die übrigen Haushaltsenergieverbräuche sind entsprechend gering, so daß die Zielwerte annähernd erreicht wurden.

Die Außenoberfläche des Gebäudes ist unter anderem dadurch optimal verringert, daß die vier Wohneinheiten in Zeilenbauweise angeordnet sind. An der Außenwand ist ein Wärmedämmverbundsystem in einer Gesamtstärke von 30 cm angebracht. Der k-Wert erreicht $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Jede Wohneinheiten hat 156 m^2 Wohnfläche. Der gesamte Gebäudekomplex ist unterkellert, wobei der Keller thermisch vom Erdgeschoß völlig getrennt und nicht beheizt ist. Dort befinden sich neben den privaten Keller- und Waschräumen der Wärmetauscher mit Wärmerückgewinnung sowie die Technik zur Erfassung und wissenschaftlichen Auswertung aller Meßdaten des Passivhauses. Die Kellerdecke wurde mit 30 cm Dämmstoff versehen (k-Wert $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Im Erdgeschoß befindet sich jeweils eine in der Mitte angeordnete Installationszone mit Küche und Bad. Das Obergeschoß ist wie das Erdgeschoß aufgeteilt, mit ebenfalls einer Installations- und Erschließungszone im Innern. Im Dachgeschoß wird nur der südliche Teil genutzt. Die spezielle Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit Kryptonfüllung hat mit einem k-Wert von $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nur noch ein Viertel des Wärmeverlustes der bisher üblichen Zweischeiben-Isolierverglasung. Diese Scheiben wurden in einen konventionellen Holzrahmen eingesetzt, der nachträglich mit speziell entwickelten PU-Dämmschalen ausgestattet wurde, um die Wärmeverluste über den Glas-Rand-Verbund zu reduzieren. [Feist, Hinz, Jäckel 1994]

Während in den Jahren 1991 bis 1993 in allen vier Wohnungen des Passivhauses zur Sicherheit ein Notheizsystem installiert war und auch genutzt wurde, konnte in einer der vier Wohnungen in der Meßperiode Oktober 1994 bis September 1995 das Heizsystem vollständig abgeklemmt werden. Das Passivhaus ohne aktive Heizung war erst durch den Einsatz motorisch betriebener Dämmschiebeläden möglich geworden. [Feist 5, 1995]

Die Dämmschiebeläden, bestehend aus beidseitig alukaschierten Polyurethanplatten, werden am Abend vor die großen Fensterflächen des Passivhauses gefahren und reduzieren dann den Transmissionswärmeverlust der Verglasung, des Fensterrahmens und der Laibung auf weniger als die Hälfte. Da das übrige Gebäude ohnehin extrem gut wärmegeklämt ist, wird durch diese Maßnahme der nächtliche Wärmeverlust stark reduziert.

Die konsequente Version des Passivhauses gewährleistet gewohnten Wohnkomfort. Die Bewohner können ihre warmen Räume genießen, ohne aufwendige Apparaturen bedienen zu müssen. Die gewohnte Wartung der Heizungssysteme fällt sogar ganz weg.

Die Ergebnisse der Meßperiode 1994/95 in der vierten Wohneinheit des Passivhauses zeigen, daß im mitteleuropäischen Klima heute bereits Passivhäuser ohne jedes Heizsystem technisch realisierbar sind. Möglich wird dies durch eine

extrem gute Wärmedämmung - einschließlich der hochgedämmten Superfenster mit zusätzlichem Dämmschiebeladen. Auch bei den erreichten sehr geringen Wärmeverlusten stimmt das thermische Verhalten des Hauses sehr gut mit den theoretischen Erwartungen auf der Basis der wärmetechnischen Simulation überein. Die Erfahrung hat auch gezeigt, daß die Nutzer der Häuser den Passivhaus-Standard annehmen.

Es hat sich als wirtschaftlich sinnvoll erwiesen, die Wärmeverluste durch bauliche und technische Maßnahmen so weit wie möglich zu reduzieren, statt zu sehr mit solaren Energiegewinnen zu kalkulieren. Denn die Gewinne sind nicht gleichmäßig verteilt, sie reduzieren sich auf wenige Tage im Jahr mit besonders intensiver Sonneneinstrahlung. Die Räume heizen sich dann zwar stark auf, geben aber ohne entsprechende bauliche Vorkehrungen nachts um so mehr Wärme nach draußen ab. Werden diese Verluste von vornherein minimiert, etwa unter anderem durch die Installation des temporären Wärmeschutzes, so kommen die internen Wärmegevinne um so stärker zum Tragen.

Eine kostengünstige Realisierung war beim Passivhaus Darmstadt Kranichstein noch nicht primäres Ziel. Es wurde viel Zeit und auch Geld in die Entwicklung einzelner, auf dem Markt noch nicht vorhandener Komponenten investiert, wie etwa die speziellen Fensterrahmen oder die Dämmschiebeläden. Der zweite Schritt besteht nun darin, die Erfahrungen mit dem Passivhaus der ersten Generation unter dem Aspekt des kostengünstigen Bauens umzusetzen - ganz im Sinne der Philosophie Shurcliffs: einfach, kostengünstig, leicht verständlich, vor allem auch für den Nutzer (vgl. Kapitel 2.3). Kosten lassen sich in den bautechnischen Details sparen. Das Passivhaus besteht aus qualitativ hochwertigen Bauteilen im Grunde gewöhnlicher Komponenten. Die industriell hergestellten Teile müßten nur serienmäßig wärmetechnisch verbessert werden. Außerdem können erhebliche Kosteneinsparungen erreicht werden: Durch den Verzicht auf eine separate Wärmeverteilung und auf separate Wärmeabgabesysteme. Die so eingesparten Kosten finanzieren das bei Passivhäusern benötigte hocheffiziente Lüftungssystem. Weitere Verbesserungen bei der Verglasung sind absehbar; so wird bereits an der Vakuumverglasung geforscht, die die Wärmeverluste noch einmal halbieren kann und dabei den solaren Energiedurchlaß sogar erhöht.

Insgesamt zeichnet sich das Forschungs- und Demonstrationsprojekt Darmstadt Kranichstein durch eine sehr sorgfältige Planung und eine ebenso sorgfältige Umsetzung aus. Eine Vielzahl von Planern und Entwicklern haben an der Realisierung mitgearbeitet und das Projekt ermöglicht. Der Erfolg dieses

ungewöhnlich hohen Engagements ist, daß technisch alles weitgehend so umgesetzt werden konnte, wie es geplant war. Die Messungen haben gezeigt, daß eine extrem gute Luftdichtheit der Gebäudehülle erreicht werden konnte, sogar besser als theoretisch erwartet [Feist 2, 1995]. Daran wird deutlich, daß es möglich ist, ein zuverlässiges Simulationsmodell als Planungsgrundlage zu entwickeln, welches sich für Folgeprojekte problemlos variieren läßt und in dem alle wichtigen Aspekte berücksichtigt sind.

4.2 Tendenzen

Die Entwicklung ist bereits weiter fortgeschritten. Im Rahmen der expo 2000 sind in Hannover-Kronberg ca. 120 kostengünstige Wohneinheiten in Passivbauweise geplant. Auch in Hessen gibt es konkrete Umsetzungspläne. In Neukirchen plant Manfred Such eine Passivhauszeile.

Das Architekturbüro Rasch & Partner plant für das Baugebiet Geisenheim-Marienthal ein Passivhausprojekt mit Unterstützung durch die Stadt Geisenheim und das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Wissenschaftlich begleitet wird das Projekt durch das Institut Wohnen und Umwelt in Darmstadt. [Rasch & Partner 1996]

Vorgesehen sind drei unterschiedliche Haus- und Wohnkonzepte mit einer angestrebten Kleinsiedlungsgröße von bis zu 23 Einheiten mit 7 bis 9 Wohneinheiten pro Hausgruppe. Unter dem Aspekt des kosten- und energiesparenden Wohnungsbaus ist die Passivhaustechnologie vorgesehen, mit einer Heizenergiekennzahl von 15 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr sowie einer angestrebten Gesamtenergiekennzahl inklusive Elektroverbrauch und Warmwasser von 35 kWh/(m²a). Für die hochwärmegedämmte Holzverbundfassade mit wetterfester Holzstülpchalung ist ein k-Wert von 0,15 W/(m²K) vorgesehen, für das Gründach als Holzverbundkonstruktion 0,14 W/(m²K). Die Fenster werden mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung (k-Wert 0,7 W/(m²K)) ausgestattet.

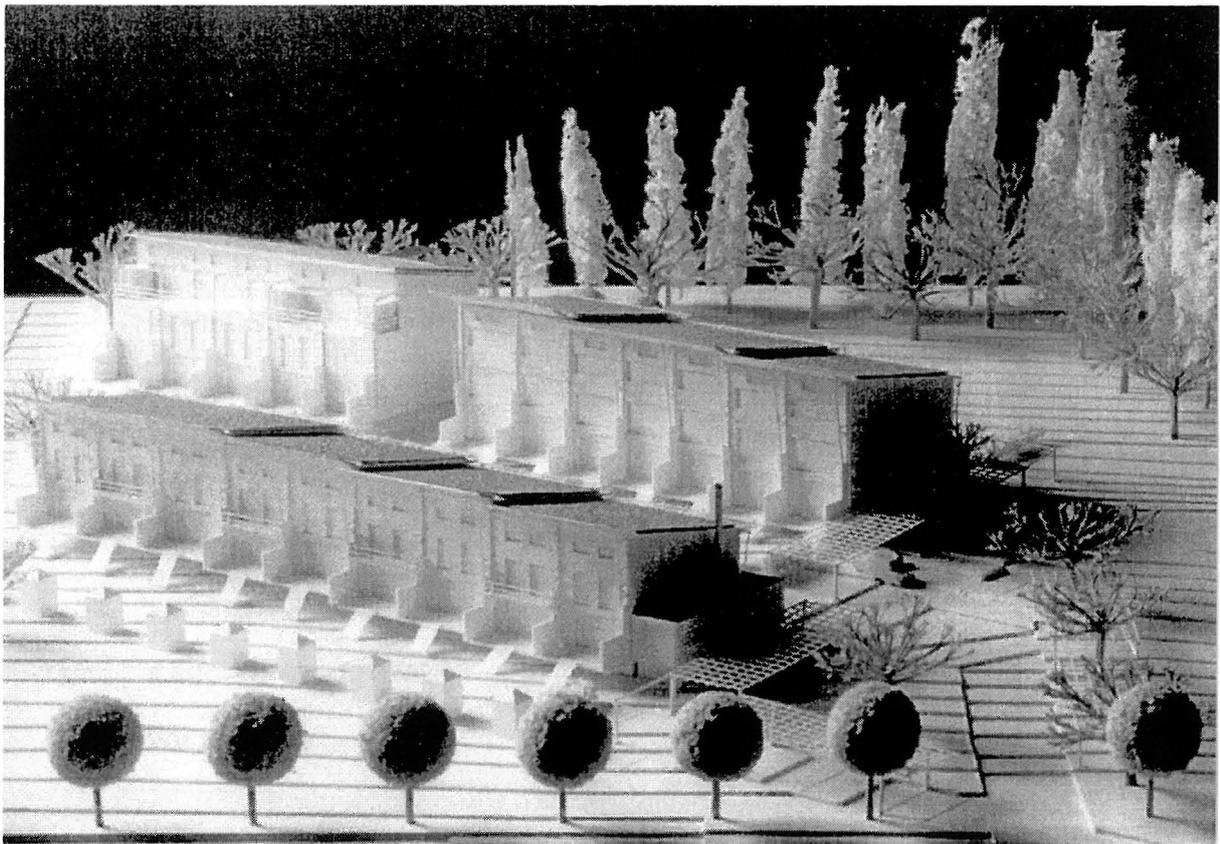
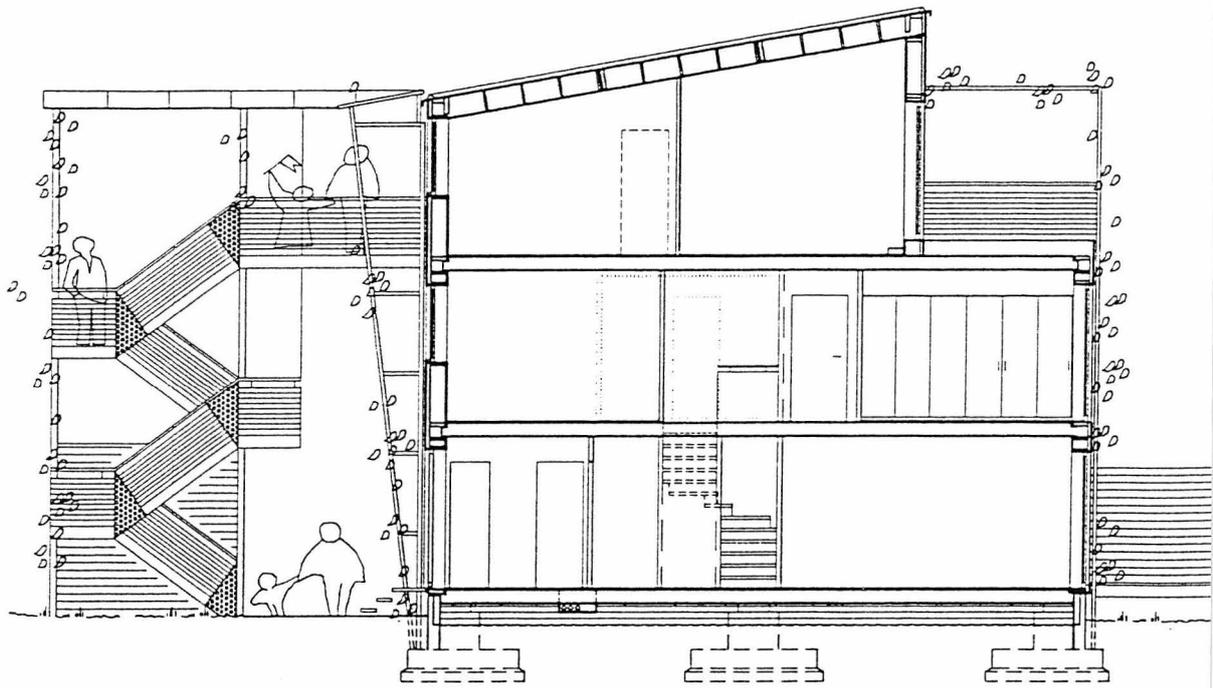


Abb.13) Das Passivhausprojekt in Geisenheim-Mariantal.

Für das Neubaugebiet "Unterneustadt - documenta urbana 2" in Kassel hat der Architekt Karl-Heinz Fingerling eine Passivhauszeile vorgesehen. 1995/96 führte die Firma "isorast" einen bundesweiten Architekturwettbewerb zum "Passivhaus" durch. Hierdurch wird eine weitere Entwicklungslinie für Selbstbauer, aber auch für Mehrgeschoßgebäude eröffnet. Die außerordentliche Resonanz (über 1300 Anforderungen der Wettbewerbsunterlagen) macht deutlich, daß der Passivhausstandard inzwischen auf ein breiteres Interesse vor allem auch unter Architekten gestoßen ist.

Unumstrittene Perspektive ist heute, daß Energieeffizienz auch im Bereich Hausbau ein realistischer und wirtschaftlicher Lösungsansatz ist - so wie es für Fahrzeuge und Kühlschränke inzwischen fast selbstverständlich erscheint. Hinzu kommt die Tatsache, daß ein Neubau für einen Nutzungszeitraum von mindestens 50 und mehr Jahren errichtet wird. Der bauliche Standard, der bei einem Neubau einmal gewählt wurde, läßt sich also über einen Zeitraum von Jahrzehnten aus wirtschaftlichen Gründen kaum noch korrigieren, oft ist dies nicht einmal aus technisch-konstruktiver Sicht möglich. [Feist 1991] Alle Gründe sprechen also dafür, die beim Neubau vergleichsweise geringen Mehrinvestitionen zu tätigen, um den Nutzen der dauerhaften Bausubstanz, des verbesserten Komforts, der entlasteten Umwelt und der Verringerung der künftigen Heizkosten zu sichern.

5 Zeittafel

Jahr			Seite
1974	Zero-energy-house, Kopenhagen (Dänemark)	Vagn Korsgaard	7
1974	Super-insulated houses (USA)	Wayne Shick	8
1976	Philips-Experimentierhaus, Aachen	H.Hörster / B.Steinmüller	13
1977	Saskatchewan Conservation House (Kanada)	William A. Shurcliff	10
1977/79	"Energie-Ausstellungen" in Skive (Jütland)		20
1979	Design of low-energy-houses	Adamson / Efring	21
1980	Niedrigenergiehaus Malmö (Schweden)	Adamson / Lange	
1981	"Energiepolitik von unten"	Arbeitskreis Alternativ- energie Tübingen	28
1981	Null-Heiz-Energiehaus	E.Wiers-Keiser / R. Borsch-Laaks / W.Feist	27
1982	Wettbewerbsbeitrag von J. Brucker (COMMISSION 83)		29
1983	RWE / Streif: "Niedrigenergiehaus"		
1983	"Bauliche Voraussetzungen eines wirtschaftlichen Heizenergieeinsatzes"	Wolfgang Feist	
1984	Niedrigenergiehäuser Skive (Dänemark)		20
1984	Schweden: ELAK-Norm		
1985	Workshop "Niedrig-Energie-Häuser IWU"	W. Feist	28
1985/86	Niedrigenergiehaus-Umbau Mosbach	Johannes Brucker	30
1986	Niedrigenergiehaus Winnenden	Ansgar Schrode	28
1986	Niedrigenergiehaus Kassel	K.-H. Fingerling / W. Feist	31
1986	Schwed.-dt. Projekt Ingolstadt - Halmstad	Hans Eek	39
1987 ff.	Schwed.-dt. Projekt Pappritz-Dresden	Hans Eek	41
1987	Niedrigenergiehaus Schrecksbach	M.Such / W.Feist / J.Werner	33

Jahr			Seite
1987	Niedrigenergiehaus-Siedlung Distelweg, Niedernhausen	Feist / Klien / Menje / Loga	42
1988 ff.	Niedrigenergiehaus-Förderprogramm Hessen	Feist / Eicke-Hennig	46
1988	Empfehlung des BM Bau "Wege zum Niedrigenergiehaus"		52
1988	Passivhäuser in China	Bo Adamson	55
1989	Nullenergiehaus Dörpe	Hinz / Werner	37
1989 ff.	Niedrigenergiehaus-Förderprogramm Schleswig-Holstein		46
1989	Forschungsprojekt Passive Häuser	Wolfgang Feist	54
1991	Schweden: Nybyggnadsregler		
1991	Passivhaus Darmstadt Kranichstein	Bott / Ridder / Westermeyer / Feist	56
1991	Niedrigenergiehäuser Heidenheim	Erhorn	51
1992	Energieautarkes Haus Freiburg	Stahl / Voss	54
1992/93	Niedrigenergiehaus-Siedlung Schopfheim		48
1993 ff.	Niedrigenergiehaus-Siedlung Freiburg- Rieselfeld		
1993 ff.	Niedrigenergiehaus-Siedlung Leipzig- Knauthain (Sachsen)		49
1995/96	Architekturwettbewerb "Passivhäuser"	isorast	62
1995/96	Niedrigenergiehaus-Siedlung Werther / Detmold (Nordrhein-Westfalen)		51

6 Literatur

- [Adamson 1991] Adamson, Bo: Codes and standards for energy conservation in some countries (Appendix D). Lund 1991.
- [BINE 1989] BINE Projekt Info-Service, Nr.15 / Oktober 1989: **Deutsch-Schwedisches Gemeinschaftsprojekt Energiesparhäuser Ingolstadt - Halmstad.**
- [BINE 1992] BINE Projekt Info-Service, Nr.17 / Oktober 1992: **Deutsch-Schwedisches Gemeinschaftsprojekt Energiesparhäuser Ingolstadt - Halmstad.**
- [Boeckh 1994] Boeckh, Martin von: **Kaum Alternativen bei der Wärmedämmung**, in: VDI-Nachrichten Nr.6, 11. Februar 1994, S.17.
- [Brucker 1994] Brucker, Johannes: **Holzrahmenbau - Systembauweise für kosten- und energiesparenden Wohnungsbau: Geschoßhaus, Niedrigenergiehaus**; Stuttgart 1994.
- [Carlsson, Elmroth, Engvall 1980] Carlsson, Björn / Elmroth, Arne / Engvall, Per-Ake: **Airtightness and thermal insulation. Building design solutions**; Stockholm 1980.
- [Eicke 1990] Eicke, Werner: **Förderprogramm "30 Niedrigenergiehäuser in Hessen", begleitendes Forschungsprogramm**. In: Studien zur Energiepolitik in Hessen. Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik (Hrsg.), Wiesbaden 1990.
- [Eicke-Hennig, Wagner-Kaul, Großmann 1996] Eicke-Hennig, Werner / Wagner-Kaul, Alfons / Großmann, Uwe: **Planungshilfe Niedrigenergiehaus**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1996.
- [ELAK 1984] **ELAK - code**. Hrsg. von Planverket, Schweden 1984.
- [Energiedepesche 1993] Auch Mitglied bei uns: Klaus Fleck. In: Energiedepesche Nr. 3, Oktober 1993, S.41.
- [Energiepolitik 1982] Energiepolitik von unten. Für eine Energiewende in Dorf und Stadt. Hrsg. vom Arbeitskreis Alternativenergie Tübingen, Frankfurt am Main 1982.
- [Feist 1986] Feist, Wolfgang: **Niedrigenergiehäuser in Dänemark und Schweden. Ein Reisebilderbuch**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1986.

- [Feist 2, 1986] Feist, Wolfgang: **Primärenergie- und Emissionsbilanz von Dämmstoffen**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1986.
- [Feist 1990] Feist, Wolfgang: **Konstruktionsmerkmale für Niedrigenergiehäuser in der Bundesrepublik Deutschland**. In: Studien zur Energiepolitik in Hessen. Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik (Hrsg.), Wiesbaden 1990.
- [Feist 1991] Feist, Wolfgang (Hrsg.): **Erfahrungen mit Niedrigenergiehäusern**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1991.
- [Feist 1994] Feist, Wolfgang: **Erfahrungen mit Niedrigenergie- und Passivhäusern**, in: Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik, 43. Jg. Heft 2, Februar 1994.
- [Feist 2, 1994] Feist, Wolfgang: **Passivhäuser in Mitteleuropa**, in: Bauphysik 16, Heft 4, 1994.
- [Feist 3, 1994] Feist, Wolfgang: **95 Prozent Heizenergieeinsparung im Passivhaus**, in: das bauzentrum 4, 1994.
- [Feist 1995] Feist, Wolfgang: **Das Passivhaus Darmstadt Kranichstein - Übersichtsdarstellung**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.
- [Feist 2, 1995] Feist, Wolfgang: **Die Luftdichtheit im Passivhaus**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.
- [Feist 3, 1995] Feist, Wolfgang: **Das kostengünstige Passivhaus - Projektbeschreibung**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.
- [Feist 4, 1995] Feist, Wolfgang: **Erfahrungen mit Häusern ohne aktives Heizsystem**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.
- [Feist 5, 1995] Feist, Wolfgang (Hrsg.): **Gedämmte Fensterläden im Passivhaus**. Passivhaus-Bericht Nr.9; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.
- [Feist, Adamson 1988] Feist, Wolfgang / Adamson, Bo: **Konstruktionsmerkmale von Niedrigenergiehäusern in der Bundesrepublik Deutschland**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1988.
- [Feist, Hinz, Jäckel 1994] Feist, Wolfgang / Hinz, Eberhard / Jäckel, Michael: **Fenster und Rahmendämmung im Passivhaus**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1994.

- [Feist, Werner 1988] Feist, Wolfgang / Werner, Johannes: **Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1988.
- [Fraunhofer 1992] Gemeinde stoppt Energieverschwender. Presseinformation des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) Stuttgart, München 1992.
- [Gruber, Erhorn, Reichert 1989] Gruber, Edelgard / Erhorn, Hans / Reichert, Jürgen: Chancen und Risiken der Solararchitektur: **Solarhäuser Landstuhl**. Köln 1989.
- [Hauser, Otto, Stiegel 1995] Hauser, Gerd / Otto, Frank / Stiegel, Horst: **Einfluß von Baustoffen und Baukonstruktionen auf den Wärmeschutz von Gebäuden**. Poren Beton Bericht 15, Wiesbaden 1995.
- [Heidenheim 1991] Niedrigenergiehäuser Heidenheim, Demonstrationsprojekt. Projektbroschüre, hrsg. vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) Stuttgart, Oktober 1991.
- [Hinz, Feist 1992] Hinz, Eberhard / Feist, Wolfgang: **Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach - Abschlußbericht**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1992.
- [Hinz, Werner 1994] Hinz, Eberhard / Werner, Johannes: **Meßdatenerfassung und Auswertung beim ökologischen Nullenergiehaus Dörpe**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1994.
- [Hörster 1980] Hörster, H. (Hrsg.): **Wege zum energiesparenden Wohnhaus**; Hamburg 1980.
- [Humm 1990] Humm, Othmar: **Niedrigenergiehäuser - Theorie und Praxis**, Staufen bei Freiburg 1990.
- [Kast 1991] Kast, W.: **Gebäude ohne Heizwärmeverbrauch?** In: Gesundheits-Ingenieur - Haustechnik - Bauphysik - Umwelttechnik, 112. Jhg., Heft 5 / 1991, S. 268 ff.
- [Korsgaard 1977] Korsgaard, Vagn: **Zero-Energy-House**, Kopenhagen 1977.
- [Leipzig-Knauthain 1993] Grundlagen zum Vorhaben- und Erschließungsplan Leipzig-Knauthain. Stadt Leipzig. Entwurf: Atelier für Architektur Fingerling, Kassel 1993.
- [Menje 1993] Menje, Horst: **Dichtheit von Niedrigenergiehäusern am Beispiel der "Niedrigenergiesiedlung Distelweg"**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1993.

- [Menje, Loga 1992] Menje, Horst / Loga, Tobias: **Die "Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in Niedernhausen**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1992.
- [Neddermann o.J.] Neddermann, Rolf: Energie- und kostensparende Wohngebäude in Schopfheim. Entwurf. Informationsbroschüre des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, o.J.
- [NE-Haus Meink o.J.] Niedrigenergie-Haus Meink, Detmold - Privitsheide. Projektbroschüre, o.J.
- [Niedrigenergiehäuser 1987] **Niedrigenergiehäuser. Wissenswertes über Grundlagen und Funktionsweise.** Energiesparinformation Nr.3, Hessisches Ministerium für Wirtschaft und Technik, Wiesbaden 1987.
- [Niedrigenergie-Häuser 1992] **Niedrigenergie-Häuser in Schleswig-Holstein**; Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen (Hrsg.), Kiel 1992.
- [Pappritz-Dresden o.J.] **Niedrigenergiehäuser in Pappritz-Dresden.** Deutsch-Schwedisches Gemeinschaftsprojekt. Projektbroschüre o.J.
- [Rasch & Partner 1996] Rasch & Partner: **Ökologischer "Weitblick" am Rheinhöhenweg**, Projekt-Broschüre 1996.
- [Ruby 1981] Ruby, Daniel: **Super-insulated houses. Airtight double walls mean near-zero heat loads**; in: Popular Science, May 1981.
- [Schwedisch-Deutsches Kolloquium 1982] Schriftreihe "Bau- und Wohnforschung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Nr.04.080: **Schwedisch-Deutsches Kolloquium.** Bonn 1982.
- [Shurcliff 1981] Shurcliff, William A.: **Super-Insulated-Houses and Double-Envelope-Houses.** Massachusetts 1981.
- [Stadt Freiburg 1993] Stadt Freiburg. Der neue Stadtteil Rieselfeld. Projektbroschüre hrsg. von der Stadt Freiburg im Breisgau, Freiburg 1993.
- [Stahl, Voss 1992] Stahl, W. / Voss, K.: **Das Energieautarke Solarhaus.** Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Hrsg.), Freiburg 1992.
- [VDI 1995] **Das Haus ohne Heizung ist keine Utopie**, in: VDI - Nachrichten Nr.46, 1995.

- [VFA Profil 1993] **Nur propagandistische Erfolge.** In: VFA Profil, 6. Jahrgang, Nr.2 / 1993, S.44 ff.
- [Wege zum Niedrigenergiehaus 1988] Empfehlung: **Wege zum Niedrigenergiehaus.** Der Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), Bonn 1988.
- [Zeller, Dorschky, Borsch-Laaks, Feist 1995] Zeller, Joachim / Dorschky, Sigrid / Borsch-Laaks, Robert / Feist, Wolfgang: **Luftdichtigkeit von Gebäuden;** Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.