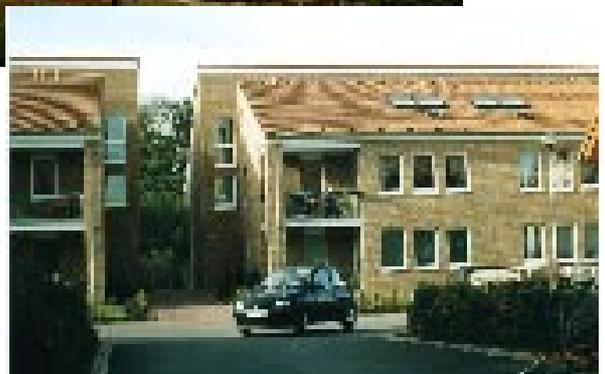


Baupraxis Niedrigenergie-Häuser in NRW

Abschlußbericht „Wissenschaftliche Begleituntersuchung
von 31 Niedrigenergie-Häusern in NRW“
Forschungsprojekt der AG Solar NRW,
gefördert durch das Ministerium für Schule und Weiterbildung,
Wissenschaft und Forschung NRW (253 133 96)



Autoren: Klaus Michael, Gudrun Heitmann und Heike Scharping,
Niedrig-Energie-Institut GbR, Rosental 21, 32756 Detmold
Hrsg. der CD-ROM: Energieagentur NRW, Morianstr.32, 42103 Wuppertal
e-Mail: Energieagentur.NRW@ea-nrw.de

Abstract

Im Baugebiet Speckfeld/Schlingweg der Stadt Werther (Kreis Gütersloh) im Bundesland Nordrhein-Westfalen wurden zwischen 1994 und 1997 insgesamt 31 Niedrigenergie-Häuser (NEH) von verschiedenen Bauherren, Planern und ausführenden Firmen errichtet. Davon sind 19 Ein- oder Zweifamilienhäuser und 12 Mehrfamilienhäuser mit zusammen 114 Wohneinheiten. Die Gebäude sind aufgrund entsprechender Festsetzungen im Bebauungsplan in Massivbauweise sowie aufgrund zivilrechtlicher Auflagen beim Grundstücksverkauf in Niedrigenergie-Bauweise nach "Detmolder Standard" errichtet. Alle Bauvorhaben wurden durch das Detmolder Niedrig-Energie-Institut bei der Entwurfs- und Detailplanung beraten. Bei 20 Objekten erfolgte auch eine begleitende Bauleitung einschließlich Winddichtemessung und thermographischer Analyse von Wärmebrücken und Baumängeln. Eine Auswertung der Heizenergieverbräuche wird noch bis 1999 erfolgen.

Untersucht werden die energetischen Gebäudekonzepte, die baukonstruktiven Details der Hüllfläche hinsichtlich Wärmedämmung, Wärmebrücken-Effekten und Winddichtung, die Energiebilanzen, die Beheizung, mechanische Belüftung und Sanitärinstallation sowie die planerischen und bauorganisatorischen Abläufe. Neben einer kritischen Darstellung der Vielfalt der realisierten Ideen und technischen Detaillösungen werden ausführlich auch aufgetretene Probleme, Fehler und deren Ursachen herausgearbeitet. Untersucht wird auch der tatsächliche Heizenergieverbrauch der Objekte zwischen 1996 und 1999.

Das Projekt wurde aus Mitteln des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen im Projektbereich AG Solar, Schwerpunkt Niedrigenergie- und Solararchitektur (NESA) mit Abwicklung über die Universität/Gesamthochschule Siegen finanziert.

Inhaltsübersicht

1. Einleitung

- 1.1. Problemverständnis und Forschungsziele
- 1.2. Stadtplanerische und zivilrechtliche Rahmenbedingungen im Baugebiet
- 1.3. Organisatorische Aspekte, Vorgehensweise und Projektablauf

2. Gebäudeentwürfe

- 2.1. Kompaktheit
- 2.2. Solare Ausrichtung
- 2.3. Innere themische Zonierung und äußere Abgrenzung der thermischen Hüllfläche
- 2.4. Sanitär- und Lüftungstechnische Aspekte

3. Energiebilanzen

- 3.1. Ergebnisse bei Anwendung dreier verschiedener NEH-Standards
- 3.2. Methodenfragen verschiedener Rechenverfahren
- 3.3. Praktische Probleme der Nachweisführung

4. Bauteilkonstruktionen

- 4.1. Sohlplatten unter beheizten Räumen
- 4.2. Decken zwischen Keller und Erdgeschoß
- 4.3. Außenwände beheizter Kellerräume
- 4.4. Außenwände gegen Luft
- 4.5. Innenwände beheizter gegen unbeheizte Räume
- 4.6. Treppen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen
- 4.7. Haus-, Wohnungs- und Kellertüren
- 4.8. Fenster und Fenstertüren
- 4.9. Schrägdächer
- 4.10. Kehlbalkendecken unter unbeheizten Dachräumen
- 4.11. Flachdächer und sonstige thermisch trennende Deckenkonstruktionen
- 4.12. Dachgauben
- 4.13. Dachflächenfenster
- 4.14. Bodenluken

5. Wärmebrücken

- 5.1. Vorgaben, Vermeidungs-Konzepte und deren Umsetzung
- 5.2. Wärmebrücken an Sohlplatten und Kellerdecken
- 5.3. Wärmebrücken an Treppen
- 5.4. Wärmebrücken an Balkonen, Podesten, auskragenden Bauteilen
- 5.5. Wärmebrücken an Fenstern und Rolladenkästen
- 5.6. Wärmebrücken an nach in unbeheizte Räume oder nach außen durchlaufenden Wänden
- 5.7. Wärmebrücken an den Oberkanten von Wänden im Dachbereich

6. Luftdichtheit

- 6.1. Vorgaben, Normentwicklung, Luftdichte Konzepte und deren Umsetzung
- 6.2. Luftdichtheit an Massivbauteilen
- 6.3. Luftdichtheit an Leichtbauteilen
- 6.4. Luftdichtheit an Gebäudeöffnungen
- 6.5. Luftdichtheit an Installationen
- 6.6. Ergebnisse der Luftdichtemessungen

7. Heizung und Warmwasserversorgung

8. Lüftungsanlagen

- 8.1. Vorgaben und Planungsempfehlungen für Lüftungsanlagen
- 8.2. Geplante und ausgeführte Lüftungsanlagen

9. Die einzelnen Objekte

10. Die tatsächlichen Heizenergie-Verbräuche 1996-1999

Anlagen

Anlage 1: Auszug aus dem Grundstückskaufvertrag der Stadt Werther, betreffend NEH-Auflagen

Anlage 2: "Anlage 4" zum Grundstückskaufvertrag, betreffend Nachweise und Fristen

Anlage 3: Literatur zu Niedrigenergie-Häusern

Abkürzungen

A/F	Verhältnis von Hüllfläche (A) zu Wohnfläche (F)	KG	Kellergeschoß
A/V	Verhältnis von Hüllfläche (A) zu Gebäudeaußenvolumen (V)	KS	Kalksandstein
AT	Außentür	LHLZ	Leichtlochziegel (vgl. HLZ)
AW	Außenwand	MFH	Mehrfamilienhaus (ab 3 WE)
BRD	Bundesrepublik Deutschland	NEH	Niedrigenergie-Haus
DG	Dachgeschoß	NEH-Standard	Detmolder NEH-Standard (vgl. Kap. 3)
DFF	Dachflächenfenster	NEI	Niedrig-Energie-Institut, Detmold
DT	Detmold	OG	Obergeschoß (vgl. DG)
EBF	Energiebezugsfläche (beheizte Wohn- und Nutzfläche)	PE	Polyethylen
EFH	Einfamilienhaus (incl. Zweifamilienhaus)	PS	Polystyrol
EG	Erdgeschoß	PVC	Polyvinylchlorid
FE	Fenster	Schweden'80	Schwedische Baunorm von 1980
GB	Gasbeton (korrekt: Porenbeton)	Schweden'90	Schwedische Baunorm von 1990
GFZ	Geschoßflächenzahl	TrH	Treppenhaus
GK	Gipskarton	WE	Wohneinheit
HLZ	Hochlochziegel (vgl. LHLZ)	WFI	Wohnfläche
IW	Innenwand	WLB	Wärmeleistungsbedarf in Watt/m ² EBF (vgl. DIN 4701)
K	Kelvin = Maßeinheit für Temperaturdifferenz; 1 Kelvin entspricht 1°C	WLG	Wärmeleitfähigkeitsgruppe von Dämmstoffen
KE	Keller	WRG	Wärmerückgewinnung
k-Wert	Maßeinheit für Wärmedämmung eines Bauteils in W/m ² K	WSVO	Wärmeschutzverordnung
k _F -Wert	k-Wert von Fenstern incl. Rahmenanteilen		
k _V -Wert	k-Wert von reinen Gläsern (vgl. k _F -Wert)		

1. Einleitung

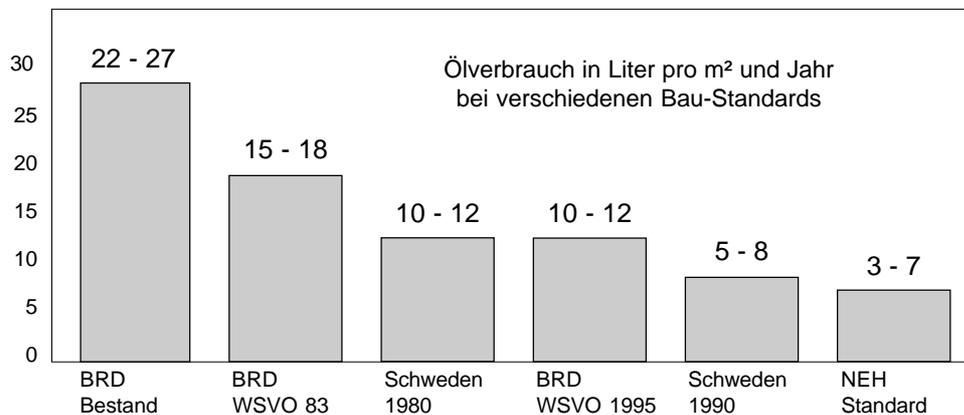
1.1. Problemverständnis und Forschungsziele

1.2. Stadtplanerische und zivilrechtliche Rahmenbedingungen im Baugebiet

1.3. Organisatorische Aspekte, Vorgehensweise und Projektablauf

1.1. Problemverständnis und Forschungsziele

Eines der quantitativ bedeutsamen, mit marktverfügbaren Mitteln und vertretbaren Kosten ausschöpfbaren Potentiale zur Energieeinsparung und Minderung der CO₂-Emissionen liegt in der Verringerung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden. Im Neubaubereich kann dies durch sogenannte Niedrigenergie-Häuser erreicht werden, deren Heizwärmebedarf nur noch etwa 50-70 Prozent desjenigen von Neubauten in dem heute gesetzlich vorgeschriebenen Wärmedämm-Standard beträgt. Folgende Abbildung zeigt im Vergleich den spezifischen Ölverbrauch pro m² beheizter Fläche und Jahr verschiedener Bau-standards.



Wesentliches Hemmnis für die massenhafte Realisierung von Niedrigenergie-Häusern ist die geringe Bekanntheit und das bei Planern und Bauausführenden noch fehlende Know-How über die Detailanforderungen dieser Bautechnik. Während

Bild 1.1- 1: Ölverbrauch in Liter pro m² und Jahr bei verschiedenen Baustandards.

in Schweden Niedrigenergie-Häuser seit 1990 durch allgemeines Baurecht vorgeschrieben sind und der Baumarkt sich hierauf völlig eingestellt hat, bestehen in der Bundesrepublik bisher noch keine entsprechenden Vorgaben. Die 1995 novellierte Wärmeschutzverordnung (WSVO95) hat nur zu einem Standard geführt, der dem alten Schwedenstandard von 1980 entspricht. Sie schöpft damit gegenüber der WSVO83 nur etwa die Hälfte des mit Niedrigenergie-Bauweise möglichen Einsparpotentials aus.

Zur Verbreitung der Niedrigenergie-Bauweise und des dafür erforderlichen Know-Hows haben seit 1986 viele Gebietskörperschaften und mehrere Energieversorgungsunternehmen regionale oder lokale Förderprogramme für NEH aufgelegt. Bundesweit gibt es aufgrund solcher Aktivitäten derzeit schon über 50.000 Wohneinheiten in NEH. Innerhalb der nächsten Jahren wird ein weiterer NEH-Zubau von etwa 20.000 WE/Jahr mit stark steigender Tendenz erwartet.

NEH-Förderprogramme können wichtige lokale oder regionale Impulse zum Bekanntmachen und Verbreiten der NE-Bautechnik leisten. Energie- oder klimapolitisch relevante Mengeneffekte können jedoch aus Kostengründen nicht allein mit Zuschußprogrammen bewirkt werden. Die allgemeine Markteinführung der NE-Bautechnik kann nur über den Qualitätswettbewerb sowie über Instrumente des Zivilrechts (z.B. Auflagen beim Grundstücksverkauf) oder des Bau- und Ordnungsrechts (z.B. Festsetzungen in Bebauungsplänen, WSVO 2000) erreicht werden, die auch in steigendem Maße angewandt werden. Um eine energetisch effiziente, solide und kostengünstige Planung und Bauausführung von NEHs zu erreichen, ist vor allem noch ein umfangreicher, effizient organisierter und qualifizierter Know-How-Transfer über die Besonderheiten dieser Bauweise an die verschiedenen Akteure des Baumarktes erforderlich. Dieser muß neben motivierender Öffentlichkeitsarbeit und präziser Dokumentation guter Konzepte und Detaillösungen auch eine ehrliche und kritische Auseinandersetzung mit typischen Problemen und Mängeln bei Planung und Ausführung von NEH umfassen.

Diese Begleituntersuchung des Baus von 31 Niedrigenergie-Häusern in NRW hat als Forschungsziel, zu diesem Know-How-Transfer für die betroffenen Investoren, Planer und Baupartner beizutragen. Weiterhin soll sie die bei der Planung und Realisierung dieser NEH entwickelten Ideen, Erfolge und Probleme systematisch dokumentieren und auswerten. Sie soll damit einerseits dazu beitragen, daß diese Gebäude möglichst fehlerfrei, energieeffizient, solide und kostengünstig realisiert werden. Andererseits soll die kritische Aufarbeitung der Erfahrungen die Planungsgrundlagen für künftige NEHs verbessern.

1.2. Stadtplanerische und zivilrechtliche Rahmenbedingungen im Baugebiet

Die stadtplanerischen Vorgaben für das Baugebiet, in dem die untersuchten Gebäude liegen, sind im Bebauungsplan Nr.34 "Speckfeld/Schlingweg" der Stadt Werther (Bild 1.2-1) genannt. Dieser Bebauungsplan wurde bereits vor dem politischen Entschluß, hier eine Niedrig-Energie-Siedlung zu errichten, erstellt und ist in vieler Hinsicht nicht energetisch optimiert. Nach dem Ratsbeschluß über die Niedrig-Energie-Bebauung wurde jedoch im Interesse einer raschen Erschließung und Bebauung keine Änderung des Bebauungsplanes mehr vorgenommen.

Das Baugebiet ist als allgemeines Wohngebiet ausgewiesen. Es gliedert sich in einen inneren Bereich für Ein- und Zweifamilienhäuser und einen äußeren Ring für Geschloßwohnungsbau.

Im inneren Bereich ist eingeschossige Bebauung mit einer Grundflächenzahl (GRZ) von bis zu 0,4, einer Geschosflächenzahl (GFZ) von bis zu 0,5 und mit Satteldächern zwischen 35° und 48° Neigung zulässig. Im äußeren Ringbereich ist zweigeschossige Bauweise mit GRZ 0,4 und GFZ 0,8 zulässig, wobei am westlichen Rand des Baugebiets und im nördlichen Halbkreis Pultdächer mit 22-45° Neigung und im östlichen Randbereich Satteldächer mit 30-40° Neigung vorgegeben sind.

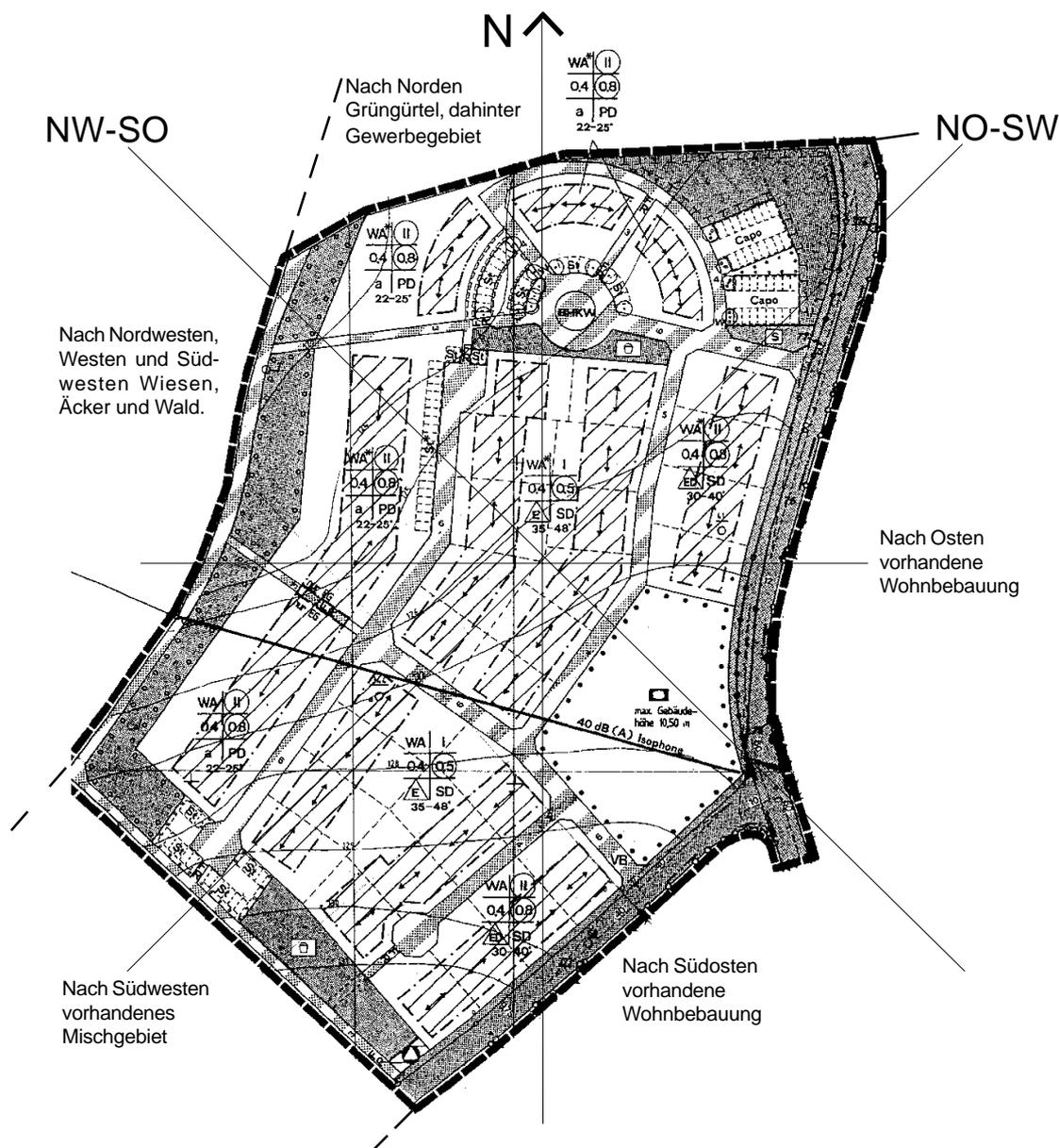


Bild 1.2- 1: Bebauungsplan Nr.34 "Speckfeld/Schlingweg" der Stadt Werther.

Wegen der Nähe des Wohnbaugebiets zu einem nördlich gelegenen Gewerbegebiet, das aus gewerbepolitischen Gründen ohne einschränkende Nutzungsvorgaben vermarktet werden sollte, waren aufgrund eines Gutachtens so hohe künftige Schall- und Erschütterungs-Immissionen im Baugebiet Speckfeld/Schlingweg für möglich gehalten worden, daß im Bebauungsplan als Vorsorge vor störenden Einwirkungen eine massive Bauweise vorgegeben wurde. Im Bebauungsplan ist querlaufend etwas unterhalb der Mitte die 40 dB(A)-Isophone-Linie erkennbar, oberhalb derer sogar die Einstufung als allgemeines Wohngebiet mit Einschränkungen versehen ist. Diese Festsetzung verlangt konkret massive Geschoßdecken in Einfamilienhäusern zwischen Keller und EG sowie EG und OG und im Geschoßwohnungsbau bis unter die oberste ausgebaute Etage. Die Dachkonstruktionen selbst sowie die Kehlbalckendecken unter ausgebauten Dachräumen können in üblicher Leichtbauweise errichtet werden.

Zivilrechtlich war für das Baugebiet durch entsprechende Passi in den Grundstückskaufverträgen eine Bebauung in Niedrig-Energie-Bauweise nach dem (Detmolder) "Niedrigenergie-Haus-Standard" (Bild 1.2-2) vorgegeben. Dieser Standard wurde 1989 in Zusammenarbeit der Länder Schleswig-Holstein und Hamburg, der Stadt Detmold und der Stadtwerke Hannover für die damals ersten deutschen NEH-Förderprogramme vereinbart und war 1994 zu Projektbeginn mit über 2.500 gebauten NEH noch der meistverbreitete NEH-Standard (vgl. Kap.3). Er enthält quantitative Vorgaben für die Wärmedämmung (k-Werte) der einzelnen Teile der wärmeübertragenden Gebäudehülle und eine Obergrenze für den

gesamten Wärmeleistungsbedarf in W/m². Weiterhin enthält er eine qualitative Vorgabe zur Vermeidung bzw. Minimierung von Wärmebrücken. Die Be- und Entlüftung muß mit einer mechanischen Lüftungsanlage erfolgen; Wärmerückgewinnung aus der Abluft ist nicht vorgeschrieben. Für die Winddichtigkeit der Gebäudehülle gibt es eine Soll-Vorgabe. Als Heizung dürfen nur rationelle Systeme mit zentraler Brauchwassererwärmung verwendet werden, Elektroheizung und elektrische Warmwasserbereitung sind nicht zulässig. Einzelheiten zu diesen Vorgaben und zur konkreten Umsetzung der qualitativen Anforderung sind in den folgenden technischen Kapiteln, eine Erläuterung des Rechenverfahrens ist im Kapitel Energiebilanzen enthalten.

In den Verträgen zwischen der Stadt Werther und den Grundstückskäufern sind neben den technischen Anforderungen an die Niedrigenergie-Bauweise auch detailliert die Art und Fristen der Nachweisführung und die Vertragsstrafen bei Nichterfüllung der Vertragsbestimmungen geregelt

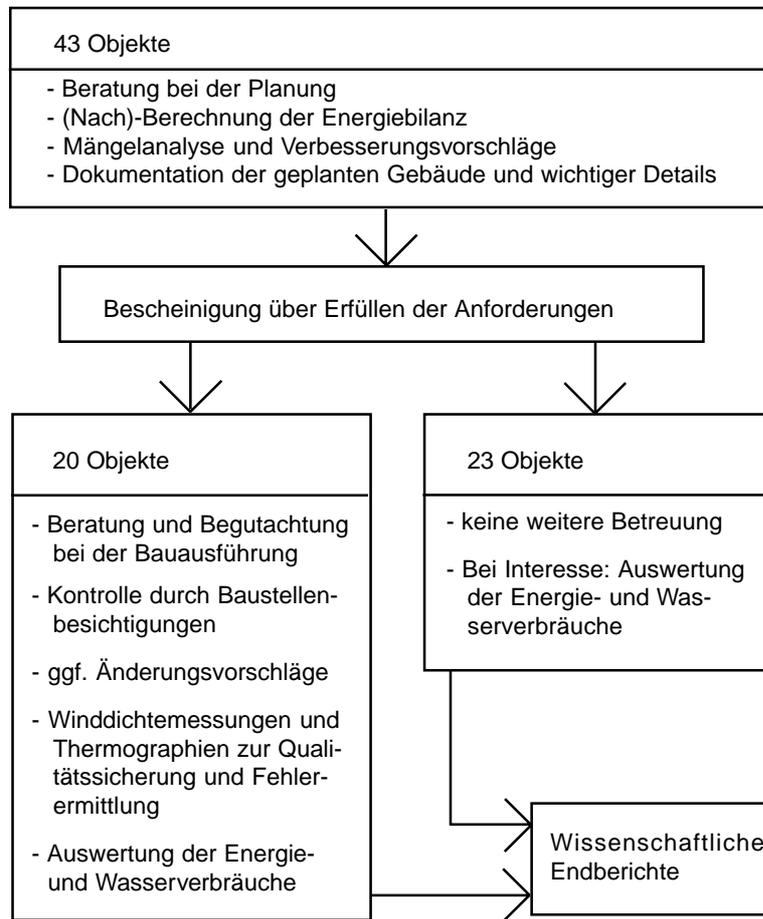
Niedrigenergie-Haus-Standard			
des Baugebiets Speckfeld/Schlingweg, Werther			
Hoher Wärmeschutz	k-Wert	Dämmstoffstärke bei Massivbau	Dämmstoffstärke bei Leichtbau
Außenwände	≤ 0,20 W/m ² K	11-18 cm	24-28 cm
Dach oder oberste Geschoßdecke	≤ 0,15 W/m ² K	25-32 cm	25-32 cm
Decken oder Wände zu Erde oder unbeheizten Räumen	≤ 0,30 W/m ² K	8-12 cm	10-16 cm
Fenster, Außentüren und Türen zu unbeheizten Räumen	≤ 1,50 W/m ² K	(z.B. Fenster mit Wärmeschutzglas mit Glas-k-Wert ≤ 1,3)	
Wärmeleistungsbedarf			
Wärmeleistungsbedarf nach DIN 4701 oder nach Hüllflächenverfahren zzgl. Lüftungswärmebedarf			
	25 - 40 W/m²		
Wärmebrückenfreie Konstruktion			
insbesondere an Übergängen zwischen Keller-, Wand- und Dachdämmung und an Fenstern und Türen.			
Lüftung			
Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung. Auslegung auf 0,3-fachen bis 0,8-fachen Luftwechsel pro Stunde je nach Gebäudetyp, Jahres- und Tageszeit. Ventilatoren mit geringem Stromverbrauch. Bei Anlagen mit Abluft-Wärmerückgewinnung darf der Stromverbrauch im Jahresmittel nicht höher als 20 % des Jahres-Wärmegewinns sein.			
Gebäudehülle			
Luftdichte Ausführung, insbesondere im Dachbereich. Bei 50 Pascal Unterdruck soll Luftwechsel < 300 % des Luftvolumens der beheizten Räume pro Stunde sein, bei Gebäuden mit Abluftwärmerückgewinnung < 100%. Messung vor Fertigstellung des Innenausbaus.			
Heizung:			
Schnell regelbares effizientes Niedertemperatur-System mit Brauchwassererwärmung. Jahresnutzungsgrad Kessel > 85 %. Verfügbare Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (Blockheizkraftwerk) soll genutzt werden. Keine elektrische Widerstandsheizung.			
Sanitärinstallation:			
Kurze Leitungswege und sehr gute Rohrisolation. Warmwasseranschlüsse für Wasch- und Spülmaschine. Einbaumöglichkeit für Solaranlage vorsehen.			
Erläuterung: Von den einzelnen k-Wert Vorgaben dieses Standards kann bis zu 10 % abgewichen werden, wenn die dadurch bewirkten Effekte an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden, und das Ziel des geringen Heizenergieverbrauchs insgesamt erreicht wird. Auskünfte über Detailanforderungen und Methoden zur Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs gibt das Niedrig-Energie-Institut GbR, Rosental 21, 32756 Detmold, Tel. 05231-390747, Fax: 390749.			

Bild 1.2- 2: (Detmolder) Niedrigenergie-Haus-Standard.

(vgl. Anlagen 1 und 2).

1.3. Organisatorische Aspekte, Vorgehensweise und Projektablauf

Das Baugebiet umfaßt 34 Baugrundstücke (siehe Titelblatt), von denen 31 in die Untersuchung einbezogen sind. Nicht einbezogen sind Nr.28, da dessen Bebauung erst später erfolgen wird, Nr.34, da es



nicht zu den zivilrechtlich zur NEH-Bauweise verpflichteten Grundstücken zählt und Nr.7, da dieses Grundstück gar nicht separat abgeteilt, sondern gemeinsam mit Nr.6 bebaut wurde.

Ursprünglich war geplant, alle 31 Gebäude bzw. 43 Objekte (MFH ab 3 WE = 2 Objekte) in der Planung wie auch beim Bau zu begleiten und auszuwerten. Aus Kostengründen konnten jedoch nur 20 Objekte in der Bauausführung begleitet werden. Den Ablaufplan des Projekts für die ganz oder teilweise begleiteten Objekte zeigt (Bild 1.3-1). Der praktische Ablauf ist in der Handreichung für die Bauherrn in (Bild 1.3-2) dargestellt.

Die wichtigsten Daten der einzelnen Objekte und den gesamten Zeitplan zeigen (Bild 1.3-3 und 1.3-4) auf der folgenden Seite. Aus (Bild 1.3-4) ist erkennbar, daß die Objekte im wesentlichen in zwei gleichen Jahresgruppen geplant und gebaut wurden. Während die erste komplett betreute Gruppe zwischen Herbst 1995 und Januar 1996 bezugsfertig wurde, ist die zweite, nur in der Planung begleitete Gruppe erst bis Ende

Bild 1.3-1: Ablaufplan, Stukturschema

Ihre Zusammenarbeit mit dem Niedrig-Energie-Institut

<h4>1. In der Planungsphase</h4> <p>Wir beraten Sie (Bauleute, Architekten, Fachplaner oder Bauträger) kostenlos darüber, wie Sie die gestellten Anforderungen bei Ihrem Gebäudeentwurf solide und preiswert realisieren können.</p> <p>Wir prüfen kostenlos für Sie, ob Ihr Haus in der letztlich geplanten Version diesen Anforderungen genügt.</p> <p>Wir weisen sie auf evtl. Mängel hin und schlagen Ihnen ggf. Verbesserungen vor und berechnen deren Energie-Effekte.</p> <p>Wir bestätigen der Stadt Werther formal, ob Ihr Haus den Anforderungen genügt.</p> <p>Am Ende der Planungsphase entscheiden wir gemeinsam mit der Stadt Werther und unserem Auftraggeber, welche Gebäude intensiv (auch in der Bauphase) ausgewertet und begleitet werden.</p>	<h4>2. In der Bauphase</h4> <p>Wir begleiten Sie und Ihre Baupartner kostenlos während der Bauzeit. Dabei beraten wir Sie auch über Fragen, die erst während der Bauzeit auftreten.</p> <p>Wir weisen Sie auf Abweichungen des Baus von der Planung hin, soweit diese Energierelevanz haben. Wir berechnen die energetischen Auswirkungen und machen Ihnen Vorschläge, wie evtl. negative Auswirkungen verhindert oder ausgeglichen werden können.</p> <p>Wir prüfen für Sie kostenlos die Winddichtigkeit Ihres Neubaus. Wir weisen sie auf evtl. Mängel hin und schlagen Ihnen ggf. Verbesserungsmöglichkeiten vor.</p> <p>Wir berechnen die Energiebilanz der tatsächlich gebauten Gebäude.</p> <p>Die während der Bauzeit gewonnen Erkenntnisse fließen in unseren wissenschaftlichen Endbericht ein.</p>	<h4>3. Nach Bezug</h4> <p>Sie liefern uns während der ersten drei Nutzungsjahre jährlich oder öfter Ihre Verbrauchswerte für Strom, Gas und Kaltwasser sowie (wenn Meßapparat vorhanden) auch von Warmwasser und Lüftungsstrom. Sie können uns auch eine Vollmacht geben, diese Werte direkt bei Ihren Versorgungsunternehmen abzufragen.</p> <p>Wir informieren Sie über die Erkenntnisse, die wir aus Ihren Verbrauchsangaben gewinnen.</p> <p>Bei Fragen... wenden Sie sich bitte an Herrn Michael oder an Frau Heitmann im Niedrig-Energie-Institut GbR, Rosental 21, 32756 Detmold</p> <p>Tel. 05231-390 747 Fax: 05231-390 749</p>
--	--	---

Bild 1.3- 2: Ablaufplan, Handreichung für Bauleute.

Nr.	Bauherr	Typ	Zahl WE	WFI m²	Betreuung bei Plan	Betreuung bei Bau	Berat.-Beginn	Bau-Beginn	Bau-Bezug
01	Beyaz/Cevik	MFH	3	290	ja	nein	3/96	5/96	5/97
02	Hellmann/Menkel	MFH	8	572	ja	ja	(5/95)	4/95	3/96
03	Ottliczki	MFH	5	(491)	(ja)	nein	6/96	6/96	9/97
04	Quest	MFH	6	315	ja	ja	5/94	5/95	2/96
05	Hageresch	MFH	(6)	(300)	ja	nein	9/96	7/96	3/97
06	Triebel	MFH	6	488	ja	ja	10/94	6/95	4/96
08	Lünstedt	EFH	1	147	ja	ja	6/94	12/94	9/95
09	Schäfer	EFH	1	153	ja	nein	(6/95)	6/95	9/96
10	Otters	EFH	1	144	ja	ja	(4/95)	4/95	1/96
11	Schröder	ZFH	2	159	ja	ja	5/94	10/94	2/96
12	Sawatzky	EFH	1	152	ja	ja	6/94	10/94	12/95
13	Wächtler	EFH	1	132	ja	ja	8/94	10/94	1/96
14	Möller	EFH	1	242	ja	nein	4/95	9/95	7/96
15	Kloss-Didier	EFH	1	189	ja	nein	5/95	10/95	6/97
16	Wißmann	EFH	1	151	ja	ja	6/94	11/94	7/95
17	Kröger	ZFH	2	199	ja	ja	11/94	1/95	11/95
18	Günther	EFH	1	(---)	ja	nein	11/95	4/96	8/97
19	Schäfer2	EFH	(1)	(---)	ja	nein	(5/96)	5/96	4/97
20	Dähne	EFH	1	160	ja	ja	5/94	1/95	10/95
21	Willbrandt	ZFH	2	169	ja	ja	5/94	1/95	11/95
22	Kordes	EFH	1	142	ja	nein	7/95	8/95	8/96
23	Wilms	EFH	1	183	ja	nein	4/96	6/96	1/97
24	Bresser	EFH	1	159	ja	nein	4/95	5/95	8/96
25	Pirog	ZFH	2	172	ja	ja	6/94	10/94	9/95
26	Wellenkötter	ZFH	2	156	ja	ja	6/94	10/94	11/95
27	Fagard	MFH	?	?	ja	nein	4/96	---	---
29	Speckmann	MFH	8	713	ja	ja	8/94	3/95	2/96
30	Junge-Wentrup	MFH	12	1085	ja	nein	4/95	6/95	8/96
31	KWG Halle	MFH	8	619	ja	nein	5/94	6/95	10/96
32	KWG Halle	MFH	8	619	ja	nein	5/94	6/95	11/96
33	Richter	MFH	9	(630)	ja	ja	8/94	2/95	2/96

Bild 1.3- 3:

Übersicht der untersuchten Gebäude nach lfd.Nr., Investor, Bautyp, Größe, Art der Betreuung und Zeitplan (Beratungsbeginn in Klammern = erst nach Baubeginn).

EFH = Einfamilienhaus, ZFH = Zweifamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus (ab 3 WE)

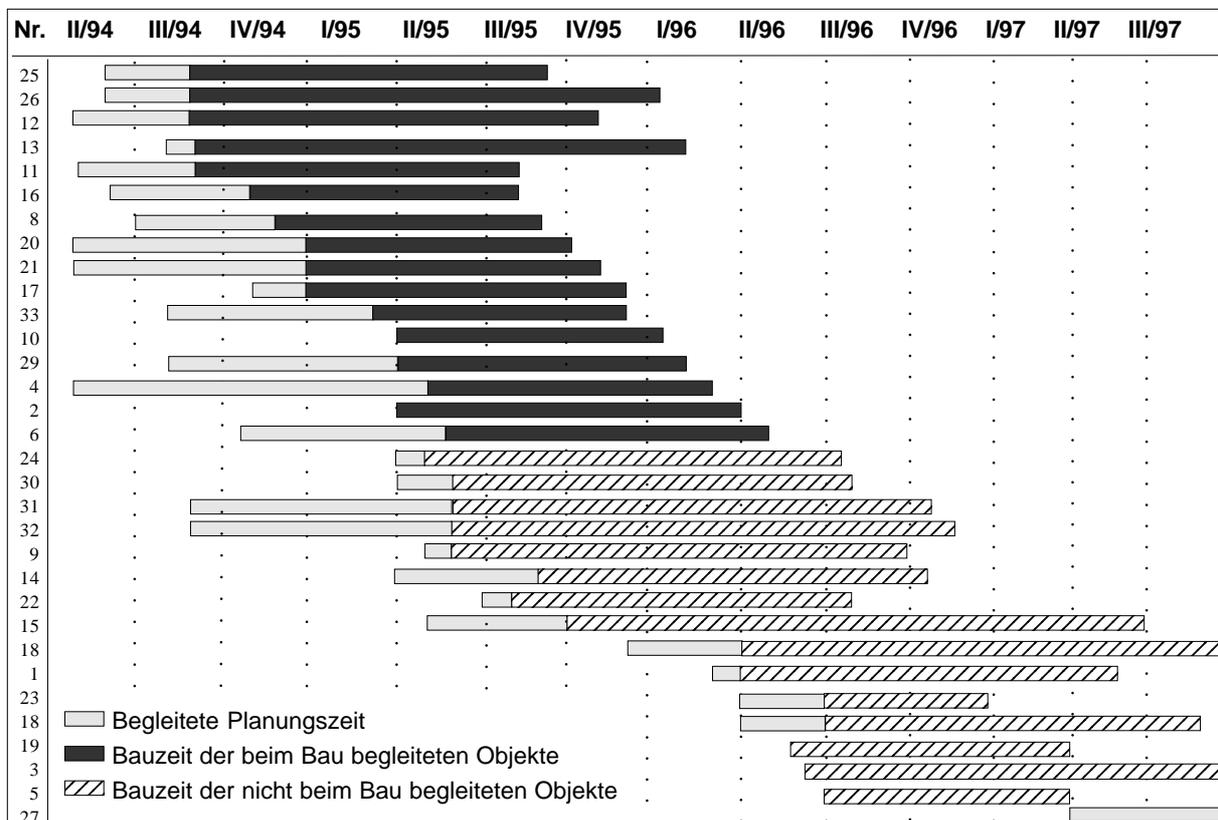


Bild 1.3- 4: Planungs- und Bauzeiten der untersuchten Gebäude.

1996 bezugsfertig geworden.

Bei sieben Objekten verzögerte sich die Planung und Baufertigstellung bis lange über die ursprünglich geplante **Projektlaufzeit** Ende März 1996 hinaus, so daß das Projekt tatsächlich erst Ende 1997 abgeschlossen werden konnte.

Das Niedrig-Energie-Institut übernahm im Rahmen des Forschungsvorhabens die **Vorabauklärung** der Bauwilligen, die freiwillige **Beratung** der Investoren und ihrer Planer, die **Prüfung der Baupläne** und die **Attestierung der Einhaltung** der geforderten Standards gegenüber der Stadt Werther. Die Attestierung gegenüber der Stadt Werther bezog sich dabei aus vertragsrechtlichen Gründen nur auf die Bauplanungen. Die spätere **Begleitung der Bauphase**, die Beratung bei energetisch relevanten Abweichungen der Bauausführung gegenüber der Planung und die Luftdichtemessungen erfolgten dagegen ohne Beteiligung der Stadt Werther nur in Zusammenarbeit zwischen dem NEI und den Investoren sowie deren Baupartnern. Die **Luftdichtemessungen** wurden je zur Hälfte vom NEI und von MitarbeiterInnen des Fachbereichs Physik der Universität/Gesamthochschule Siegen durchgeführt, welche auch die Thermographieaufnahmen vornahmen. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung der Planungs- und Bauphase sind in dieser Untersuchung dokumentiert und ausgewertet.

Seitens der **Stadt Werther** erhielt das NEI im mehrerlei Hinsicht **organisatorische Unterstützung**. Für die öffentlichen Veranstaltungen und für Einzelberatungstermine wurden im Rathaus Räume zur Verfügung gestellt und das Bauamt unterrichtete das NEI über den Stand der Grundstücksverkäufe und Bauantragsstellungen. Von der unter vielerlei Einfluß stehenden **örtlichen Presse** gingen dagegen eher erschwerende Impulse aus, insbesondere wenn sie in ihrer Berichterstattung weniger die ganz überwiegend guten Ergebnisse, sondern mehr die vorübergehenden Entscheidungsnöte und Sorgen mancher Bauherren mit deren Planern und ausführenden Firmen in den Vordergrund stellte und dabei den Eindruck erweckte, diese Probleme seien wesentlich auf die Niedrigenergie-Bauweise zurückzuführen.

Die **Beratung der Investoren** und - je nach Vertragskonstellation - der Architekten und Fachplaner oder Bauträger oder Generalunternehmer sowie der jeweils ausführenden Firmen erfolgte im Vorfeld der Bebauung zunächst durch sechs öffentliche Einführungsveranstaltungen im Rathaus der Stadt Werther zu den Themen NEH-Bauweise allgemein, Rohbaufragen, Dachkonstruktionen, Lüftungsanlagen und Energiebilanzierung. Pro Objekt folgten später 6-15 individuelle Beratungstermine in der Planungsphase. Die begleitende Bauleitung erfolgte durch im Regelfall wöchentliche Ortstermine (insgesamt zwischen 20 und 40 pro Objekt) mit oder ohne Begleitung durch Investoren oder Planer. Hierbei beobachtete Mängel oder Probleme wurden schriftlich und fotografisch dokumentiert und, wenn möglich, sofort vor Ort mit den jeweiligen Ansprechpartnern erörtert, sonst unmittelbar danach per Telefon, Fax oder durch Zusendung der Ortstermin-Protokolle aufgearbeitet. Die Winddichtemessungen erfolgten im Regelfall halböffentlich, wozu seitens des NEI und der jeweiligen Investoren vor allem auch die Investoren, Planer und ausführenden Firmen nachfolgender Bauten zwecks Sensibilisierung für diese Fragen eingeladen wurden. Während der Bauzeit veranstaltete das NEI zusätzlich in Werther mehrere Vortragsveranstaltungen und Führungen über das Baugebiet für Architekten- und andere Interessentengruppen aus dem ganzen Bundesgebiet.

Eine **Begleitung auch der Bauausführung** war ursprünglich aus Kostengründen nur bei der Hälfte der NEH im Untersuchungsgebiet vorgesehen. Während der Projektbearbeitung wurde jedoch erkennbar, daß dies dazu führt, daß einige Investoren, die bei der Bauausführung nicht begleitet werden sollten, weniger Sorgfalt auf die korrekte bauliche Umsetzung ihrer geprüften Planung legten. Das NEI bekam daraufhin noch während der Laufzeit des Basis-Projekts vom Forschungsministerium NRW den Zusatzauftrag, die Bauabweichungen und deren Ursachen auch bei den offiziell nicht begleiteten NEH zu ermitteln, ohne daß dies den betreuten Investoren bekannt wurde. Erkenntnisse über die unterschiedliche Art und Höhe solcher Abweichungen sollen vor allem für künftige NEH-Förder- oder NEH-Verbreitungsprogramme nutzbar sein, bei denen immer wieder die Frage gestellt wird, welche Art der Begleitung bzw. Kontrolle der Bauausführung für das Erreichen der NEH-Qualitätsziele erforderlich ist, die aus Kostengründen bei vielen NEH-Programmen faktisch nicht erfolgt. Die "detektivische" Ermittlung der Mängelursachen soll Informationen darüber geben, ob bei den beobachteten Abweichungen nur normale bauseitige Mißverständnisse oder Irrtümer und übliche Kommunikationsdefizite des Baugeschehens Ursache sind oder ob mehr oder weniger bewußte und direkte Betrugsabsichten erkennbar sind. Die Ergebnisse über die Abweichungen zwischen in der Ausführung offiziell betreuten und nicht betreuten NEH sind in den jeweiligen Fachkapiteln eingearbeitet.

2. Gebäudeentwürfe

Inhaltsübersicht

In diesem Kapitel werden vier **ausgewählte NEH-spezifische Entwurfsaspekte** an Beispielen erörtert.

Dies ist zunächst die unterschiedliche **Kompaktheit** der untersuchten NEH. Als zweites ist es die **solare Ausrichtung** der Gebäude. Hier werden die Anteile der Fensterflächen an der thermisch trennenden Gebäudehülle, die Verhältnisse der Fensterflächen zu den Wohnflächen, die Ausrichtungen der Fenster der gesamten Gebäude und die Fensterausrichtung von Räumen mit bestimmten Nutzungen systematisch verglichen. Am Beispiel zweier benachbarter NEH werden zwei extrem unterschiedlich solarorientierte Grundrisse aufgezeigt. Die Bedeutung der in NEH eingesetzten Glasqualitäten auf die winterlichen solaren Wärmegewinne und den sommerlichen Wärmeschutz werden angesprochen. Weiterhin wird die Spanne der verwendeten Glasqualitäten dargelegt.

Der Entwurfsaspekt der inneren **thermischen Zonierung** wird beispielhaft anhand der Wärmeströme zwischen benachbarten und sehr unterschiedlich beheizten Räumen berechnet und seine Konsequenzen werden herausgearbeitet. Die Frage der sinnvollen äußeren Abgrenzung der wärmeübertragenden Gebäudehülle wird am Beispiel von Treppenhäusern in Ein- und Mehrfamilienhäusern diskutiert und es werden verschiedene Möglichkeiten für energetisch effektive Treppenhaus-Entwürfe gezeigt. Bei den **Sanitär- und Lüftungstechnischen Entwurfsaspekten** werden Anforderungen für eine energetisch und ökonomisch rationelle Feuchtraumplanung und die Anforderungen der Lüftung an die Grundrißplanung an Beispielen diskutiert.

2.1. Kompaktheit

2.2. Solare Ausrichtung

2.3. Innere thermische Zonierung und äußere Abgrenzung der thermischen Hüllfläche

2.4. Sanitär- und Lüftungstechnische Aspekte

2.1. Kompaktheit

Das Ziel möglichst geringer Wärmeverluste eines Gebäudes wird beim Entwurf vor allem durch eine kompakte Gebäudeform erreicht, die wenig thermische Hüllfläche zwischen beheiztem Innenraum und äußerer kalter Umgebung hat. Üblicher Indikator für die Kompaktheit ist das A/V-Verhältnis von Außenfläche zu (Außen-)Volumen. Dieser kann allerdings irreführen, weil er auf Außenmaße und nicht auf die nutzungsrelevanten Innenmaße abhebt und z.B. überhöhte Räume nicht negativ gewichtet. Auch haben Gebäude gleichen Innenvolumens allein durch dickere, weil stärker gedämmte Außenbauteile rechnerisch günstigere A/V-Verhältnisse. Ebenso haben Gebäude durch größere Raumhöhen bei gleicher Wohn- und Nutzfläche bessere A/V-Verhältnisse, obwohl größere Raumhöhe kein Indikator kompakten Bauens ist. Die Kompaktheit wird deshalb außer durch das A/V-Verhältnis auch durch das A/F-Verhältnis aus Außenfläche und beheizter Wohn-/Nutz-Fläche ausgedrückt.

Die Gebäudegrößen, Gebäude- und Dachformen sowie die möglichen Anbauten (Erker und Gauben) waren im Baugebiet durch den Bebauungsplan (Vgl. Kap.1.2.) vorgegeben. Im Innenbereich wurden freistehende Ein- oder Zweifamilienhäuser mit etwa 120 bis 250 m² Wohnfläche errichtet, im Außenbereich Wohnungsbauten bis etwa 1100 m². Bilder (2.1-1) bis (2.1-3) zeigen die Gebäudegrößen, die A/V-Verhältnisse und die A/F-Verhältnisse.

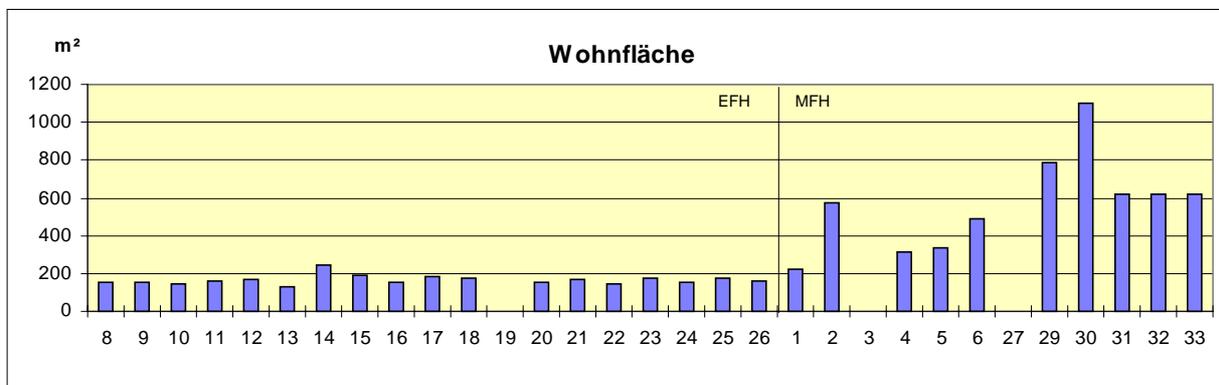


Bild 2.1- 1: Größe (Wohnfläche) der untersuchten NEH.

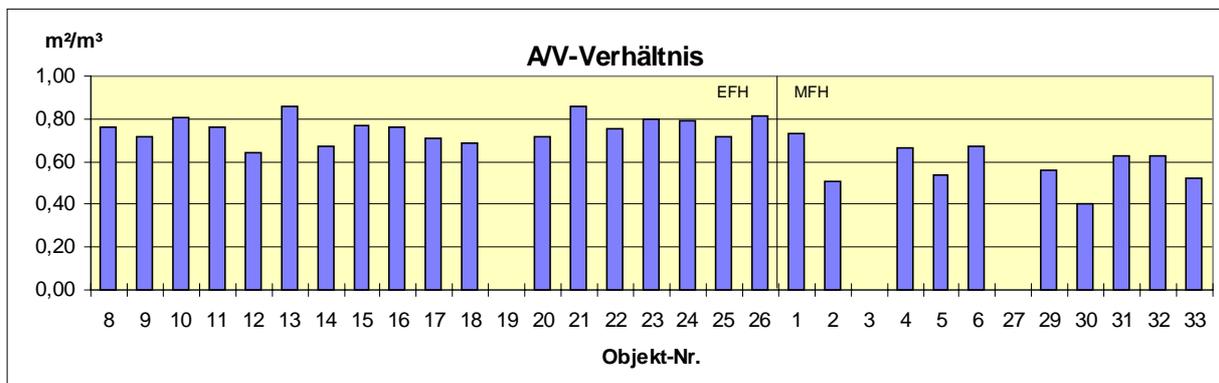


Bild 2.1- 2: A-V-Verhältnisse der untersuchten NEH.

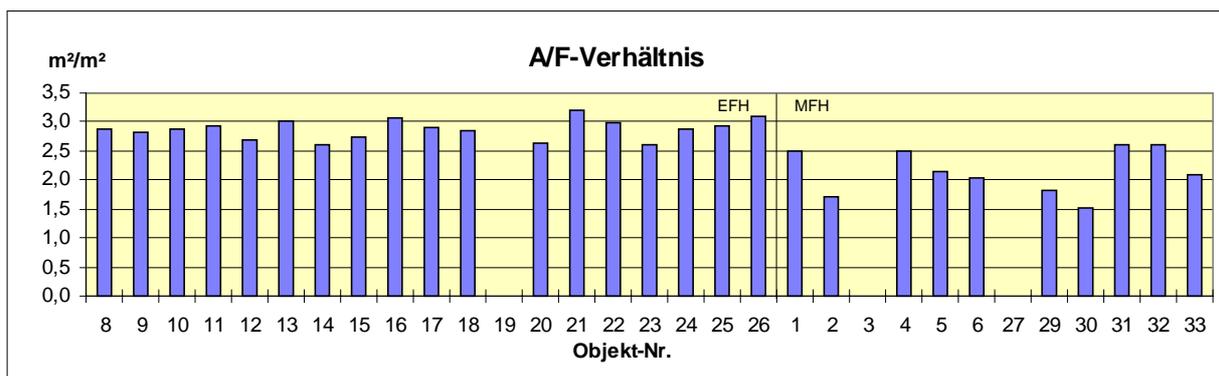


Bild 2.1- 3: A/F-Verhältnisse der untersuchten NEH.

Die A/V-Verhältnisse der kleinen Ein- und Zweifamilienhäuser mit 132 - 242 m² beheizter Wohn-/Nutzfläche liegen zwischen 0,64 und 0,86 m²/m³. Bei vergleichbar großen Häusern mit ca. 170 m² hat das am ungünstigsten geformte gegenüber dem kompaktesten eine um 34 Prozent bzw. 110 m² größere wärmeübertragende Hüllfläche. Dieser große mögliche Unterschied in der energetischen Baukörperqualität ist Bauleuten und Planern kleiner Häuser oft nicht bewußt. Die A/V-Werte der großen Mehrfamilienhäuser liegen zwischen 0,40 und 0,73 m²/m³, wobei der höchste Wert von einem untypisch kleinen Dreifamilienhaus mit nur 224 m² beheizter Wohn- und Nutzfläche stammt. Läßt man dieses außen vor, liegt die Spanne der Häuser mit 330-1100 m² beheizter Wohn-/Nutzfläche zwischen 0,40 und 0,67 m²/m³; hier ist überwiegend eine klare Korrelation mit der Gebäudegröße erkennbar. Auch bei den MFH weisen Gebäude mit vergleichbar großen beheizten Wohn-/Nutzflächen unterschiedlich große Hüllflächen auf, die um 100-300 m² differieren.

Die A/F-Verhältnisse verhalten sich ähnlich wie die A/V-Verhältnisse und liegen bei den kleinen Häusern zwischen 2,5 und 3,3 m² Hüllfläche pro m² beheizter Wohn/Nutzfläche, bei den Mehrfamilienhäusern bei 1,6 - 2,6 m²/m². Hier zeigt sich noch deutlicher als bei den A/V-Verhältnissen der Vorteil geringerer Hüllflächen kompakt gebauter größerer Gebäude. Das MFH mit dem niedrigsten A/F-Wert von 1,6 m²/m² hat weniger als die Hälfte an wärmeübertragender Hüllfläche pro beheizter Wohn-/Nutzfläche wie das am wenigsten kompakte Einfamilienhaus.

Ein noch weitergehender Indikator für energiebewußtes Bauen hebt schließlich nicht nur auf die Kompaktheit des Bauwerks (Hüllfläche pro Nutzfläche) oder auf das übliche "flächensparende Bauen" (Wohn/Nutzfläche pro Baulandfläche), sondern auch auf den individuellen pro-Kopf-Wohn-/Nutzflächenbedarf oder -verbrauch der Bewohner ab. Bild (2.1-4) zeigt die pro Bewohner gebauten m² Wohn-/Nutzfläche der untersuchten NEH.

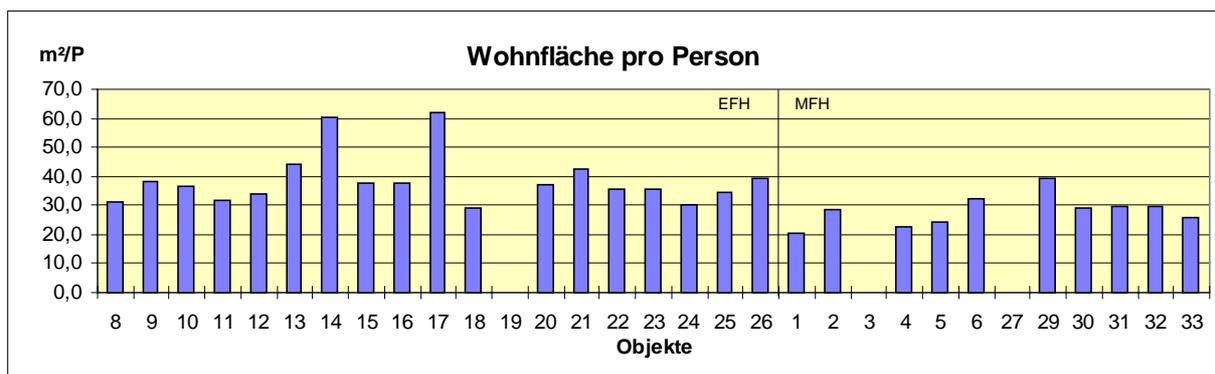


Bild 2.1- 4: Beheizte Wohn-/Nutzfläche pro Person

Bild (2.1-4) zeigt im Vergleich mit den vorigen Bildern deutlich, daß die Effekte energiebewußt-kompakter Baukörpergestaltung (A/V) und wohn-nutzflächenbezogener Baukörpergestaltung (A/F) bei weitem durch die wohlstands- und lebensstilbedingten Spannweiten des individuellen Wohnflächenverbrauchs überkompensiert werden können. Dies ist nun allerdings keine Eigenschaft des Bauwerks, sondern eine seiner Nutzer und soll hier deshalb nicht weiter vertieft werden.

Insgesamt läßt sich feststellen, daß bei den untersuchten NEH kein eindeutiger Trend zu energiebewußter kompakter Baukörpergestaltung feststellbar ist, sondern vielmehr eine Bandbreite, die auch in ganz normalen Neubaugebieten vorkommt. Die Auswertung zeigt jedoch, daß hier große Potentiale bestehen, deren künftige Ausschöpfung durch konkretere Aufklärung über deren Effekte und engere Gestaltungsvorgaben für Baukörper in B-Plänen gefördert werden könnte.

2.2. Solare Ausrichtung

Die durch die Gestaltung der Gebäudeentwürfe zu erwartende oder tatsächlich stattfindende passive Nutzung von Sonnenenergie hängt bei Niedrigenergie-Häusern von einer Vielzahl von Faktoren ab, von denen hier nur einige wesentliche behandelt werden.

Die wesentliche **stadtplanerische Voraussetzung** für passive Sonnenenergienutzung ist eine möglichst geringe gegenseitige Verschattung der benachbarten Gebäude bei winterlichem Sonnenlauf. Diese ist im Baugebiet nicht gegeben. Der in der nördlichen Hälfte durch Nord-Süd-Achsen und in der südlichen Hälfte durch SW-NO-Achsen gekennzeichnete Bebauungsplan (vgl. Kapitel 1.2) hat zur Folge, daß nur die wenigsten Häuser südlich gelegene Gärten oder Freiflächen haben und sich viele benachbarte Gebäude gegenseitig im Winterhalbjahr erheblich beschatten. Viele Gebäude haben südlich nur den Mindest-Grenzabstand zur Nachbarbebauung. In mehreren Fällen sind die Nord-Süd-Zwischenräume durch Garagen-Grenzbebauung verfüllt, so daß im EG der nördlichen Häuser keine Südfenster möglich sind. Die Vorgabe von Satteldächern mit Nord-Süd-Firstrichtung und 35-48° Neigung bei den Einfamilienhäusern verstärkt die gegenseitige winterliche Beschattung bei Nord-Gebäudereihen noch.

Die wichtigsten **passiv-solaren Anforderungen an den Gebäudeentwurf** sind, daß Räume mit hohem Bedarf an Licht, Wärme und Sonne, also Wohn- und Kinderzimmer, auf den sonnenbegünstigten Süd- und Westseiten des Hauses, Räume mit geringem Licht- und Wärmebedarf wie Schlafzimmer, Bäder und Treppenhäuser auf der Nordostseite angeordnet werden und daß die Fensterausrichtungen, Fenstergrößen, Glasqualitäten, Beschattungsmöglichkeiten und inneren Speichermassen der unterschiedlich temperierten und sonnenbegünstigten Räume hierauf abgestimmt sind. Die Fensteranteile der einzelnen Fassaden sollten proportional zu deren Besonnung gewählt werden. Dadurch können die stets höheren Transmissions-Wärmeverluste von Fenstern gegenüber Wänden durch die solaren Wärmegewinne weitgehend ausgeglichen werden. Ein passiv-solar günstiger Gebäudeentwurf ordnet große Fenster nur auf der stark besonnten Südfassade, mittelgroße auf West- und Ostfassaden und nur sehr kleine oder gar keine auf der unbesonnten Nordfassade an.

Des weiteren beeinflussen die **Glasqualitäten, Beschattungsmöglichkeiten und inneren Speichermassen** der unterschiedlich temperierten und sonnenbegünstigten Räume die Ausnutzung der solaren Wärmegewinne. Entgegen häufig mißverstandener Solararchitektur bedeutet dies aber nicht, daß Gebäude grundsätzlich große Süd-, Ost-, oder West -Fensterflächenanteile aufweisen oder alle licht- und wärmebedürftigen Räume möglichst große Fenster haben sollten. Fensterflächen haben außerhalb der Sonnenscheindauer wesentlich höhere Wärmeverluste als gut gedämmte Außenwände, was sich insbesondere an bedeckten Wintertagen und in den Nächten in der Heizperiode auswirkt. Der im Untersuchungsgebiet maßgebliche Detmolder NEH-Standard berücksichtigt solare Wärmegewinne an Fenstern nicht. Demzufolge geht gegenüber einer Außenwand mit einem k-Wert von 0,2 W/m²K durch Fenster mit gutem Wärmeschutzglas und k-Wert von 1,5 W/m²K die siebeneinhalbfache Wärmemenge verloren, gegenüber Dächern mit 0,15 W/m²K sogar die zehnfache. Fensterflächen sollten deshalb **vorrangig an Licht- und Sichtbedürfnissen, sonst aber nicht unnötig groß bemessen** werden.

Die Vielzahl der Aspekte der Grundrißgestaltung an den 31 untersuchten Gebäuden mit zusammen über 100 WE kann hier nicht diskutiert werden. Herausgearbeitet werden können aber fünf Indikatoren für passive Solarorientierung der Gebäudeentwürfe:

1. die Fensterflächenanteile an der thermisch trennenden Gebäudehülle,
2. die Fensterflächen im Verhältnis zur Wohnfläche,
3. die Ausrichtungen der Fenster insgesamt,
4. die solare Ausrichtung von Räumen mit bestimmter Nutzung und
5. die vorgesehenen Glasqualitäten.

Die **Fensterflächenanteile** an der gesamten Hüllfläche, das Verhältnis von Fenster- zu Wohnfläche und die Fensterausrichtungen nach Nord, West, Süd und Ost zeigen Bilder (2.2-1 bis 2.2-6).

Die Zuordnung der **Fensterausrichtung** war schwierig, da die Ausrichtung von 20 der 31 Gebäude im Winkel von 40-50° zur Nord-Süd-Achse verläuft (vgl. Lageplan auf der Titelseite und Bebauungsplan in Kap.1.2). Bei diesen Gebäuden existieren keine Nord-, West, Süd- oder Ostfenster, sondern Fenster nach Nordwest, Südwest, Südost und Nordost. Für die Untersuchung der Belichtung und des passiv-solaren Wärmegewinns wurden die untersuchten Gebäude in zwei Gruppen eingeteilt. Gruppe 1 umfaßt Gebäude mit Nord-Süd-Ausrichtung (Bild 2.2-1), Gruppe 2 die mit NO-SW-Ausrichtung (Bild 2.2-2).

NEH mit Nord-Süd-Firstausrichtung														
Nr Objekt	Typ	Hüllfl.	Wohnfl.	Fensterfläche										
		gesamt (m²)	gesamt (m²)	gesamt (m²)	Anteil d.Hüllfl. (%)	Verhältn. z.Wohnfl. (%)	Ausrichtung							
							Nord		Ost		Süd		West	
(m²)	(m²)	(m²)	(%)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)		
4 Quest	MFH	789	314,7	66,8	8,5	21,2	5,2	7,8	15,5	23,2	18,1	27,1	28,0	41,9
5 Hageresch	MFH	718	337,0	64,4	9,0	19,1	8,1	12,6	9	14,0	38,3	59,5	9,0	14,0
6 Triebel	MFH	996	488,0	96,3	9,7	19,7	6,4	6,6	30,6	31,8	6,4	6,6	52,9	54,9
8 Lünstedt	EFH	449	155,8	31,9	7,1	20,5	6,3	19,7	4,3	13,5	8,8	27,6	12,5	39,2
9 Schäfer	EFH	433	153,0	32,8	7,6	21,4	3,2	9,8	8,7	26,5	13,7	41,8	7,2	22,0
10 Otters	EFH	419	144,0	32,6	7,8	22,6	5,8	17,8	5,3	16,3	8,8	27,0	12,7	39,0
24 Bresser	EFH	437	152,0	37,7	8,6	24,8	11,3	30,0	10,4	27,6	10,5	27,9	5,5	14,6
25 Pirog	ZFH	506	172,0	28,6	5,7	16,6	4,7	16,4	5,9	20,6	14,4	50,3	3,6	12,6
26 Wellenkötter	ZFH	484	157,0	29,1	6,0	18,5	6,1	21,0	7,1	24,4	11,5	39,5	4,4	15,1
27 Fagard	MFH													
29 Speckmann-1	MFH	1433	783,8	166,6	11,6	21,3	26,4	15,8	45,2	27,1	35,9	21,5	59,1	35,5
30 Junge-Wentrup	MFH	1682	1099,0	226,2	13,4	20,6	26,0	11,5	62,6	27,7	26,2	11,6	111,4	49,2

Bild 2.2- 1: Fensterflächenanteile und Fensterausrichtungen an NEH mit Nord-Süd-Ausrichtung.

NEH mit Nordost-Südwest-Firstausrichtung														
Nr Objekt	Typ	Hüllfl.	Wohnfl.	Fensterfläche										
		gesamt (m²)	gesamt (m²)	gesamt (m²)	Anteil d.Hüllfl. (%)	Verhältn. z.Wohnfl. (%)	Ausrichtung							
							Nord (NW)		Ost (NO)		Süd (SO)		West (SW)	
(m²)	(m²)	(m²)	(%)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)		
1 Beyaz/Cevik	MFH	561	224,0	46,1	8,2	20,6	15,5	33,6	7,7	16,7	9,3	20,2	13,6	29,5
2 Hellmann	MFH	974	572,0	127,4	13,1	22,3	10,6	8,3	32,1	25,2	52,7	41,4	32,0	25,1
3 Ottliczki	MFH													
14 Möller	EFH	631	242,0	44,9	7,1	18,6	12,8	28,5	9,1	20,3	11,9	26,5	11,1	24,7
15 Kloss-Didier	EFH	517	189,0	40,2	7,8	21,3	7,6	18,9	4,4	10,9	7,2	17,9	21,0	52,2
16 Wissmann	EFH	463	151,1	38,0	8,2	25,1	8,7	22,9	11,3	29,7	8,7	22,9	9,3	24,5
17 Kröger	ZFH	537	185,1	44,1	8,2	23,8	6,7	15,2	13,4	30,4	10,9	24,7	13,1	29,7
							Nord (NO)		Ost (SO)		Süd (SW)		West (NW)	
							(m²)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)	(m²)	(%)
11 Schröder	ZFH	466	159,0	31,8	6,8	20,0	5,6	17,6	6,2	19,5	12,0	37,7	8,0	25,2
12 Sawatzki	EFH	456,5	170,2	35,6	7,8	20,9	4,5	12,6	7,7	21,6	15,2	42,7	8,2	23,0
13 Wächtler	EFH	396,6	132,5	32,8	8,3	24,8	8,8	26,8	6,1	18,6	10,0	30,5	7,9	24,1
18 Günther	EFH	500	175,0	34,4	6,9	19,7	5,4	15,7	11,9	34,6	7,7	22,4	9,4	27,3
19 Schäfer2	EFH													
20 Dähne	EFH	392,6	149,2	34,0	8,7	22,8	6,4	18,8	13,5	39,7	8,5	25,0	5,6	16,5
21 Willbrandt	ZFH	543,8	169,3	45,9	8,4	27,1	12,6	27,5	14,7	32,0	11,1	24,2	7,5	16,3
22 Kordes	EFH	425	142,0	25,1	5,9	17,7	4,8	19,1	9,7	38,6	6,7	26,7	3,9	15,5
23 Wilms	EFH	467	179,0	32,2	6,9	18,0	2,0	6,2	14,0	43,5	9,0	28,0	7,2	22,4
31 KWG Halle 1	MFH	1613	619,4	102,4	6,3	16,5	23,7	23,1	29,1	28,4	15,9	15,5	33,7	32,9
32 KWG Halle 2	MFH	1613	619,4	102,4	6,3	16,5	23,7	23,1	29,1	28,4	15,9	15,5	33,7	32,9
33 Richter	MFH	1299,6	620,3	110,7	8,5	17,8	3,8	3,4	57,0	51,5	25,4	22,9	24,5	22,1

Bild 2.2- 2: Fensterflächenanteile und Fensterausrichtungen an NEH mit Nordost-Südwest-Ausrichtung. Je nach Winkelabweichung von der NO-SW-Achse sind die Fenster verschiedenen Richtungen zugeordnet.

Die Fensterflächenanteile an der Hüllfläche liegen bei den untersuchten Ein- und Zweifamilienhäusern fast alle um acht Prozent. Nur die drei Objekte 26, 25 und 22 haben mit 5,6 bis 5,9 Prozent kleinere Anteile. Bei den Mehrfamilienhäusern liegen sie überwiegend zwischen acht und 13 Prozent, nur die baugleichen Objekte 31 und 32, die sehr große innere Hüllflächen im Treppenhaus aufweisen, liegen mit 6,3 Prozent niedriger. Viele Gebäude hatten im ersten Entwurf noch größere Fensterflächenanteile. Die Reduzierung erfolgte teils aufgrund unserer Beratung, teils deshalb, weil der Zielwert der Energiebilanz sonst nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand an anderer Stelle erreichbar gewesen wäre.

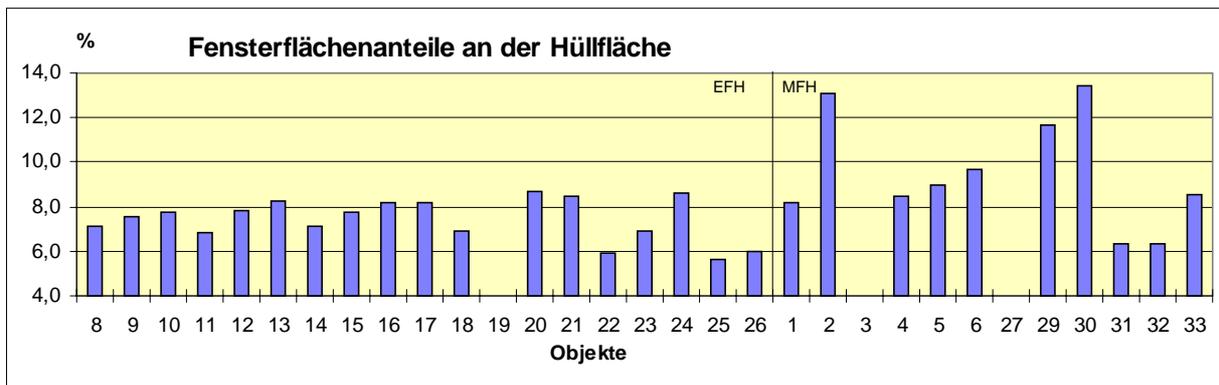


Bild 2.2- 3: Fensterflächenanteile an der Hüllfläche.

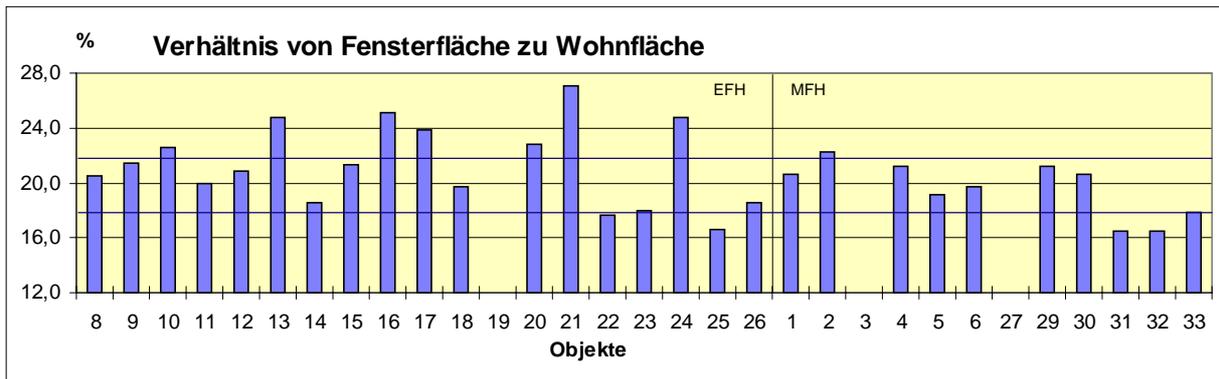


Bild 2.2- 4: Verhältnisse von Fensterfläche zu Wohnfläche in Prozent.

Bild (2.2-4) zeigt, daß das **Verhältnis von Fenster- zu Wohnflächen** insgesamt zwischen 16,5 und 27 Prozent und bei der Mehrzahl der Häuser in der noch kleineren Spanne zwischen 18 und 22 Prozent liegt. Diese gebäudebezogenen Mittelwerte liegen sämtlich deutlich über den von der Bauordnung geforderten 12,5 Prozent Fensterflächenanteil für Aufenthaltsräume. Dies schließt jedoch nicht aus, daß einzelne Räume geringer belichtet sind, was hier aber nicht erhoben wurde.

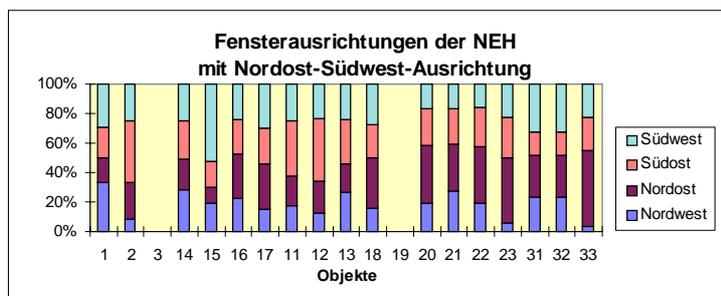
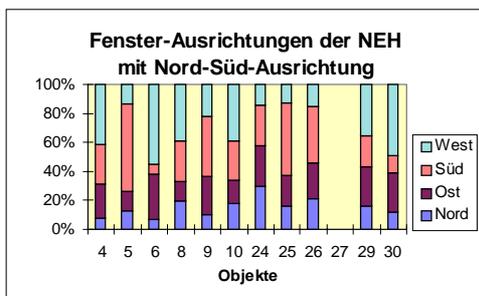


Bild 2.2-5: Fensterausrichtungen nach Himmelsrichtungen in Prozent

Die **Fensterausrichtung nach verschiedenen Himmelsrichtungen** zeigt Bild (2.2-5), unterteilt in Gebäude mit Nord-Süd-Ausrichtung (linkes Teilbild) und Gebäude mit Nordost-Südwest-Ausrichtung (rechtes Teilbild). Die Balken zeigen im linken Teilbild von unten nach oben die Anteile der Nord-, Ost-, Süd- und Westfenster, im rechten Teilbild von unten nach oben die der Nordwest-, Nordost, Südost- und Südwestfenster. (Bilder 2.2-1 und 2.2-2) zeigen, daß die Fensterausrichtungen der untersuchten NEH sehr unterschiedlich sind. Die für passive Sonnenenergienutzung besonders wichtigen Süd-, West-, Südwest und Südostfenster haben bei den meisten NEH zwar über 50 % der Flächenanteile, in wenigen Fällen werden sogar Werte von über 70 Prozent erreicht. Bei einzelnen NEH kommen jedoch hohe Nord- und Ostfensteranteile von bis zu 30 % oder Nordwest- und Nordostanteile von bis zu 55 % vor.

Die **solare Ausrichtung von Räumen mit bestimmten Nutzungen** zeigen Bild (2.2-6) anhand der eher sonnen- und lichtbedürftigen Wohn- und Kinderzimmer sowie Bild (2.2-7) anhand der solar eher nachrangigen Schlafzimmer, Bäder und Treppenhäuser. In beiden Bildern sind in der jeweils linken Spalten die MFH-Werte und in der jeweils rechten Spalte die EFH-Werte gegenübergestellt.

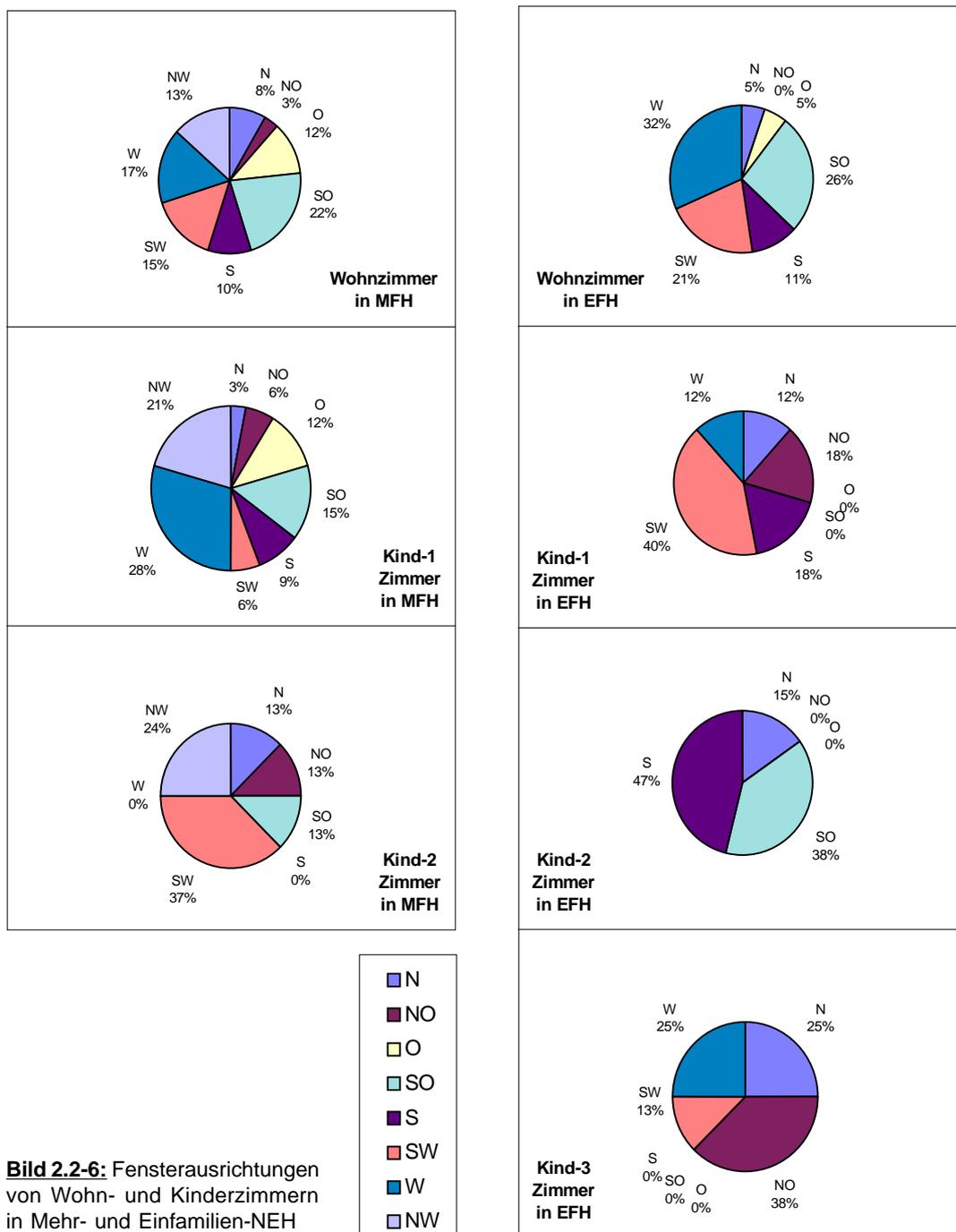


Bild 2.2-6: Fensterausrichtungen von Wohn- und Kinderzimmern in Mehr- und Einfamilien-NEH

Die Wohnzimmer sind in EFH zu über 60 % nach Süd, Südwest und West ausgerichtet, in MFH dagegen nur zu etwa 40 % in diese vorteilhaften Richtungen. Ungünstige Nord-, Nordwest oder Nordost-Wohnzimmer gibt es in 5 % der EFH, jedoch in 24 % der MFH.

Die ersten (best-gelegenen) Kinderzimmer sind in EFH zu etwa 70 % richtig nach Süd, Südwest oder West orientiert, in MFH dagegen nur zu etwa 40 %. Ungünstig nordöstlich, nördlich oder nordwestliche ausgerichtete erste Kinderzimmer kommen bei beiden Gebäudetypen zu etwa 30 % vor.

Bei zweiten (zweit-best gelegenen) Kinderzimmern, die bei der Mehrzahl der EFH und bei rund 10 % der Mietwohnungen in MFH vorkommen, ist die Ausrichtung in EFH noch zu 47 %, in MFH noch zu 37 % günstig. Dritte Kinderzimmer kommen im untersuchten Baugebiet noch in 40 % der EFH, in MFH-Mietwohnungen dagegen gar nicht mehr vor. In den EFH sind sie dabei bereits überwiegend solar-energetisch ungünstig orientiert. Diese prozentuale Darstellung ist allerdings nur bedingt aussagekräftig. "Dritte Kinderzimmer" laut Bauplan sind in Wirklichkeit oft Arbeits- oder Gästezimmer und haben dann auch einen geringeren Licht- und Wärmebedarf, so daß ihre nördliche oder östliche Ausrichtung nicht so nachteilig sein muß.

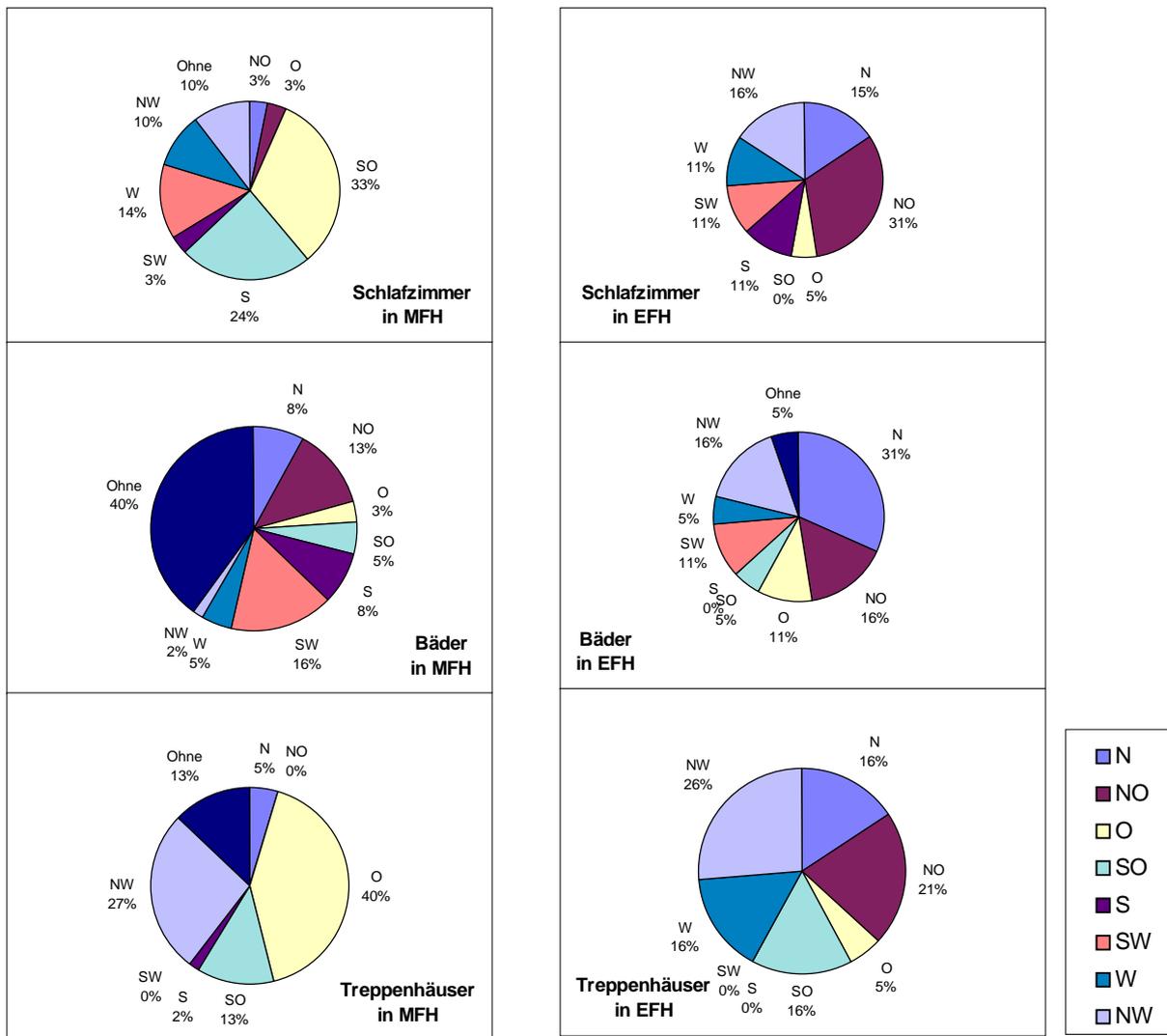


Bild 2.2-7: Fensterausrichtungen von Schlafzimmern, Bädern und Treppenhäusern in Mehr- und Einfamilien-NEH

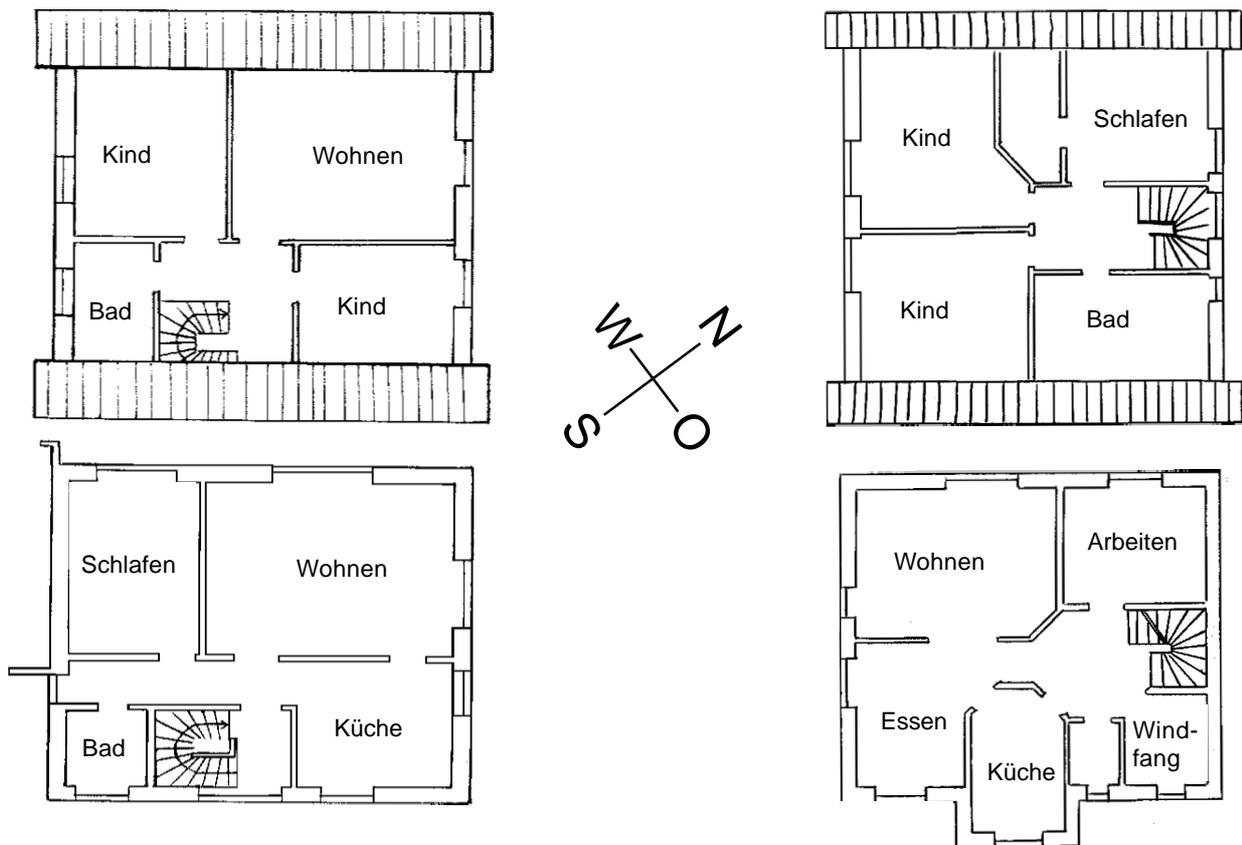
Bei den wegen geringeren Licht- und Wärmebedarfs solar nachrangigen Schlafzimmern zeigen sich starke Unterschiede zwischen EFH und MFH. Bei über 65 % der untersuchten EFH, jedoch nur bei rund 16 % der MFH sind die Schlafzimmer in den für ihre Nutzung sinnvollen Bereich zwischen Nordwest, Nord, Nordost und Ost ausgerichtet. Ungünstige Schlafzimmer-Ausrichtungen zwischen Südost, Süd, Südwest und West haben dagegen 33 % der EFH und 74 % der MFH.

Bei den ebenfalls passiv-solar nachrangigen Bädern und Treppenhäusern unterscheiden sich die Ausrichtungen in EFH und MFH weniger voneinander. Bäder sind bei den EFH zu 74 % nördlich (NW-O) ausgerichtet, bei den MFH dagegen nur zu 26 %. Innenliegende Bäder gibt es in 5 % der EFH, jedoch in über 40 % der MFH.

Die Treppenhäuser der EFH sind zu über 60 % am sinnvollen nördlichen Spektrum orientiert. Die Treppenhäuser der MFH sind schwer analysierbar, weil sie zum einen oft unbeheizt sind und zum anderen hier die Erschließungskosten bei der Planung im Vordergrund stehen. MFH mit 2-4 Wohnungen pro Etage legen als Standardlösung mittige Treppenhäuser an der straßenzugewandten Längsseite nahe, die bei den MFH im Untersuchungsgebiet stets die Ost- oder Nordostseite ist. Nur bei einem MFH des Baugebiets wurde bewußt eine rückseitige bzw. gartenseitige Erschließung gewählt, bei zwei anderen eine sehr aufwendige und dabei nicht einmal unbedingt vorteilhafte Erschließung über mittige Längsflure und Haustüren an den Stirnseiten.

Küchen sind bei beiden Gebäudetypen jeweils etwa zur Hälfte nördlich bzw. südlich ausgerichtet, wobei es in keinem EFH, jedoch in 5 % der MFH-Wohnungen fensterlose innenliegende Küchen gibt.

Die Analyse der solaren Ausrichtungen der einzelnen Räume zeigt vor allem zweierlei: zum einen eine deutlicher **ausgeprägte Solarorientierung der EFH gegenüber den MFH**. Zum anderen in beiden Gebäudetypen **hohe Anteile von Räumen mit für ihre Nutzung nachteiliger Solarorientierung**. Besonders befremdend war dabei ein Gebäudeentwurf, der seitens des Architekten für ein ganz anders orientiertes Grundstück erstellt, dann aber für das jetzige Grundstück ohne Änderungen verwertet wurden und dadurch bei vielen Räumen solare Fehlorientierungen aufweist, wie sie im linken Haus auf untenstehendem (Bild 2.2-8) bestehen. Ebenfalls eher nachteilig sind MFH-Grundrisse, bei denen mit dem Ziel, möglichst viel vermietbare Wohnflächen im Baukörper herzustellen, in Kauf genommen wird, daß ein Großteil der Aufenthaltsräume solar nachteilige Ausrichtungen und dadurch nur geminderte Wohnqualität hat. Die Vielfalt der untersuchten Grundrisse zeigt allerdings, daß trotz deutlich suboptimaler Randbedingungen im Bebauungsplan auch **gute Lösungen möglich** sind. Das rechte Objekt in (Bild 2.2-8) zeigt beispielsweise einen passiv-solar gut gelungenen EFH-Grundriß.



Passiv-solar mißratener EFH Grundriß:

EG-Wohnzimmer: NW - NO
 OG-(Oma)-Wohnzimmer: NO
 Ein Kinderzimmer: NO
 Ein Kinderzimmer: SW
 EG-Flur und OG-Bad: SW
 Schlafzimmer: NW
 Küche, EG-Bad, Treppenhaus: SO
 Straßenseite ist SW, Gartenseite ist NO

Passiv-solar besser gelungener EFH-Grundriß:

Wohn-Eßzimmer: SO- S - SW- W- NW
 Beide Kinderzimmer: SW
 Schlafzimmer, Bad, Treppenhaus: NO
 Küche, WC, Windfang: SO
 Straßenseiten sind SW und NW,
 Gartenseite ist NO

Bild 2.2- 8: Ein passiv-solar mißratener und ein passiv-solar besser gelungener Grundriß zweier benachbarter Niedrigenergie-Einfamilienhäuser in Werther.

Objekt NR	Typ	k _F -Wert W/m ² K	k _V -Wert Wm ² K
1	MFH	0,9	1,1
2	MFH	1,3	1,4
3	MFH		
4	MFH	0,9	1,0
5	MFH	1,3	1,5
6	MFH	1,3	1,5
8	EFH	1,1	1,3
9	EFH	1,3	1,4
10	EFH	1,3	1,5
11	EFH	?	1,5
12	EFH	1,1	1,5
13	EFH	1,1	1,2
14	EFH	1,3	1,5
15	EFH	1,3	1,5
16	EFH	1,1	1,2
17	ZFH	1,1	1,2
18	EFH	1,4	1,5
19	EFH	1,4	
20	EFH	1,1	1,3
21	ZFH	1,3	1,4
22	EFH	1,3	1,5
23	ZFH	1,3	1,5
24	EFH	1,3	1,5
25	ZFH	1,1	1,2
26	ZFH	1,2	1,3
27	MFH		
29	MFH	1,1	1,3
30	MFH	1,1	1,3
31	MFH	1,1	1,2
32	MFH	1,1	1,2
33	MFH	1,1	1,4

Bild 2.2- 9: Glasqualitäten der untersuchten NEH

Die **Glasqualitäten von Fenstern** beeinflussen die Höhe der durch sie in das Gebäude hineingelagerten Sonnenenergie (angegeben als g-Werte) wie auch die Höhe der Transmissionswärmeverluste von Verglasungen (k_V-Werte). Eine hohe solare Energienutzung erreichen Gläser, die einen niedrigen k-Wert aufweisen, also wenig Wärme aus dem Innenraum nach außen lassen, zugleich aber einen hohen g-Wert, der den energetisch relevanten Strahlungsdurchlaß von außen nach innen angibt.

Vorgabe des im gesamten Baugebiet geltenden Detmolder NEH-Standards war, daß der **k_F-Wert ≤ 1,5 W/m²K** sein mußte. Da die solaren Wärmegewinne im DT-NEH-Standard nicht ermittelt werden, gab es keine g-Wert-Vorgaben.

Die k_F-Werte wurden dabei leicht abweichend von den DIN-Regeln aus den k_V-Werten durch einheitlichen Zuschlag von 0,2 W/m²K bei Fenstern üblicher Größen oder von 0,1 W/m²K bei überwiegend großformatigen Fenstern mit Holzrahmen bestimmt. Bei Dachflächenfenstern wurde, sofern kein herstellereitiger k_F-Wert ermittelbar war, ebenfalls 0,2 W/m²K zugeschlagen, obwohl hier real ein höherer Zuschlag erforderlich wäre. Aus dieser vereinfachten Umrechnung von k_V- in k_F-Werten folgte, daß bei senkrechten Fenstern mit normalen Fenstergrößen und bei Dachflächenfenstern Gläser mit k_V-Werten ≤ 1,3 W/m²K und bei überwiegend großformatigen Fenstern mit Holzrahmen Gläser mit k_V-Werten ≤ 1,4 W/m²K verwendet werden mußten. Die k_V-Werte und k_F-Werte der in den untersuchten NEH eingebauten Gläser zeigt (Bild 2.2-9).

In den geprüften Planunterlagen waren die k- und g-Werte der Gläser **nur selten angegeben**. Meist wurde ein Fenster-k-Wert ohne nähere Angabe zur Glasqualität in den Energiebilanzen eingesetzt. G-Werte der Gläser wurden von den Planern in der Regel überhaupt nicht angegeben, da sie für die Energiebilanz nach dem Detmolder NEH-Standards nicht notwendig waren. Für die Bilanz nach Wärmeschutzverordnung oder

dem Hessischen "Rechenverfahren für den Wärmeschutznachweis auf der Basis von Energiekennzahlen" waren diese Daten jedoch notwendig. Sofern nicht beim späteren Einbau anhand von Produktaufklebern bestimmbar, wurden die g-Werte dabei den Fenstern unter Standardannahmen von k / g-Wert-Paaren zugeordnet.

Die **Auswertung der eingebauten Fenster** zeigt, daß in der Mehrzahl Gläser mit g-Werten von 62 Prozent und in bei einem kleineren Teil der NEH Gläser mit g-Werten von 53-55 Prozent verwendet wurden. Noch besser isolierende Glasqualitäten wie Dreischeiben-Wärmeschutzglas mit einem k_V-Wert von 0,5 W/m²K und g-Wert von 42 % wurden im Untersuchungsgebiet nicht eingesetzt. Der g-Wert der eingesetzten Gläser ist somit etwa 14-24 Prozent niedriger als bei Gläsern, die gerade die Mindestanforderungen nach WSVO 1995 einhalten. Entsprechend niedriger ist der theoretische solare Wärmegewinn. Die tatsächliche Verringerung des solaren Wärmegewinns ist allerdings weniger groß. Zum einen sind nur über einen Teil der Fensterflächen überhaupt nennenswerte Gewinne erzielbar, zum anderen sind die Fensterflächen vieler gebauter NEH so großzügig dimensioniert, daß die Obergrenze der nutzbaren solaren Energiemenge bereits erreicht wird. In solchen Fällen werden durch Gläser mit niedrigeren k- und g-Werten sowohl die winterlichen Wärmeverluste als auch die sommerliche Überhitzung reduziert. Dieser positive Effekt dürfte den theoretischen Nachteil geringerer solarer Wärmegewinne überkompensieren.

2.3. Innere thermische Zonierung und äußere Abgrenzung der thermischen Hüllfläche

Die innere thermische Zonierung und die energetisch sinnvolle äußere Abgrenzung der thermischen Hüllfläche sind neben der passiv-solaren Ausrichtung zwei weitere Instrumente, um schon mit dem Gebäudeentwurf den späteren Heizenergiebedarf und den Bauaufwand gering zu halten. Grundidee der inneren thermischen Zonierung ist, daß unterschiedlich temperierte Räume beim Gebäudeentwurf so nebeneinander gelegt werden, daß möglichst wenig innere Trennflächen mit hohen Temperaturdifferenzen auftreten. Dadurch können unerwünschte innere Wärmeströme zwischen verschiedenen temperierten Räumen bzw. zusätzlicher Wärmedämmaufwand an Innenwänden vermieden werden. Neben der absoluten Höhe der gewünschten Innentemperaturen während der Raumnutzung ist auch deren zeitliche Periodik zu beachten. Bei der äußeren Abgrenzung der thermischen Hüllfläche kommt es vor allem darauf an, einen möglichst kompakten, wärmebrückenarmen und im Detail kostengünstig herstellbaren beheizten Gebäudekern zu entwickeln.

Die **Anforderung der inneren thermischen Zonierung** deckt sich in mancher Hinsicht mit derjenigen der passiv-solaren Ausrichtung, z.B. bei Wohn- und Kinderzimmern, die aus Licht- und Besonnungswie auch aus Wärmegründen gemeinsam auf der sonnenzugewandten Seite liegen sollten. Bei anderen Räumen können die Anforderungen der passiv-solaren Ausrichtung und der thermischen Zonierung jedoch in krassem Gegensatz stehen, z.B. bei Schlafzimmern und Bädern. Bei beiden sind die Kriterien Belichtung und Besonnung nachrangig. Sie gehören insofern nach passiv-solaren Kriterien auf die sonnenabgewandte Gebäudeseite. Andererseits haben sie oft sehr unterschiedliche Innentemperaturen. In Schlafzimmern werden eher niedrige, in Bädern dagegen mit die höchsten Raumtemperaturen gewünscht. An Trennwänden zwischen Schlafzimmern und Bädern oder noch extremer zwischen Bädern und nur teil- oder unbeheizten Treppenhäusern können damit starke unerwünschte Wärmeströme auftreten, sofern sie nicht konstruktiv verhindert werden. Am Beispiel der Bäder ist auch erkennbar, daß die zeitliche Periodik der Raumnutzung großen Einfluß hat, die nicht ein baukonstruktiver, sondern ein verhaltensbedingter Faktor ist. Die für die thermische Zonierung relevanten Wärmeströme treten beispielsweise in einem Berufstätigen-Haushalt mit nur kurzer Nutzung und Aufheizung des Bades am Morgen und Abend oder in einem Familien-Haushalt mit ganztägiger Beheizung jeweils unterschiedlich lange auf.

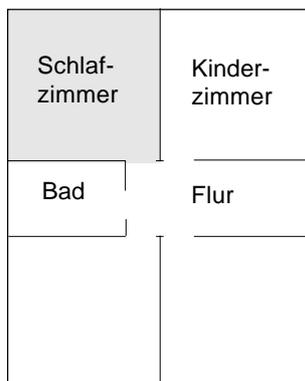


Bild 2.3- 1: OG-Grundriß mit Schlafzimmer

Die oft unterschätzte **Relevanz** solcher **innerer Wärmeströme** sei am Beispiel des Schlafzimmers eines massiv gebauten EFH erläutert, dessen OG-Grundriß nebenstehendes (Bild 2.3-1) zeigt. Im OG liegt in der nordwestlichen Gebäudeecke ein Schlafzimmer, welches an ein Kinderzimmer, ein Bad und einen Flur grenzt. Unter ihm liegt ein beheiztes Wohnzimmer, über ihm unbeheizter Dachraum. Nach Westen hat es eine einen Meter hohe Drempele-Leichtbauwand und ein 45° geneigtes Schrägdach bis zur Kehl balkendecke, nach Norden eine massive Außenwand. Insgesamt hat es 16 m² Grundfläche und 35,5 m³ Luftvolumen. In der Heizperiode werden Raumtemperaturen im Schlafzimmer von etwa 14°C gewünscht.

Für die Energiebilanz dieses Schlafzimmers maßgeblich sind die Größe, die Wärmeleitfähigkeit und die Temperaturdifferenz aller seiner Trennflächen zu den Nachbarräumen oder nach außen sowie die Luftwechselrate und die inneren Wärmequellen der in ihm schlafenden Personen. Die Trennwände zu dem im Mittel 21°C warmen Bad und dem im Mittel 19°C warmen Flur und Kinderzimmer sind im Beispielhaus aus 11,5 cm starkem verputzten Kalksandstein hergestellt. Die Decke zum darunterliegenden Wohnzimmer ist aus 16 cm Ortbeton, 4 cm Trittschalldämmung und 5 cm Zementestrich. Die Zimmertür ist eine normale ungedämmte Innentüre. Die Außenwände, Fenster und Dachflächen einschließlich des Dremfels erfüllen die Anforderungen des Detmolder NEH-Standards. Die Luftwechselrate ist mit 1 /h angesetzt, was absolut 35,5 m³/h bzw je 17,75 m³/h pro schlafendem Erwachsenen entspricht. Einzige innere Wärmequelle ist die nächtliche Abwärme zweier schlafender Personen mit zusammen 150 Watt. (Bild 2.3-2) auf der folgenden Seite zeigt die Energieströme bei -8°C Außentemperatur.

Die Bilanz zeigt, daß dies Schlafzimmer bei -8°C Außentemperatur und trotz 35 m³/h Luftaustausch ohne eigene Beheizung allein durch die Wärmeströme der benachbarten Räume und die inneren Wär-

Energiebilanz unbeheiztes Schlafzimmer						
Außentemperatur = -8 °C						
Innentemperatur = 14,2 °C						
Luftwechselrate = 1,0 1/h = 35,5 cbm/h						
Energiegehalt Luft = 0,34 Wh/m³K						
Wärmegewinne	Temp	Fläche	Temp-Diff	k-Wert	WLB	
	°C	m²	Kelvin	W/m²K	Watt	
von Bad	21	6,38	6,8	2,00		86,7
von Flur	19	0,50	4,8	2,00		4,8
von Flurtür	19	2,00	4,8	2,50		24,0
von Kinderzimmer	19	10,00	4,8	2,00		96,0
von Wohnzimmer	19	16,00	4,8	0,69		53,1
Personen						150,0
Summe						414,6
Wärmeverluste	Temp	Fläche	Temp-Diff	k-Wert	WLB	
	°C	m²	Kelvin	W/m²K	Watt	
über Drempel	-8	4,00	-22,2	0,15		-13,3
über Schrägdach	-8	8,48	-22,2	0,15		-28,2
über Kehl-Decke	-8	10,00	-22,2	0,15		-33,3
über Giebelwand	-8	8,63	-22,2	0,20		-38,3
über Fenster	-8	1,00	-22,2	1,50		-33,3
Lüftung						-268,0
Summe						-414,4
Wärmebilanz						0,2

Bild 2.3-2: Energiebilanz eines unbeheizten Schlafzimmers in einem NEH mit ungenügender thermischer Zonierung

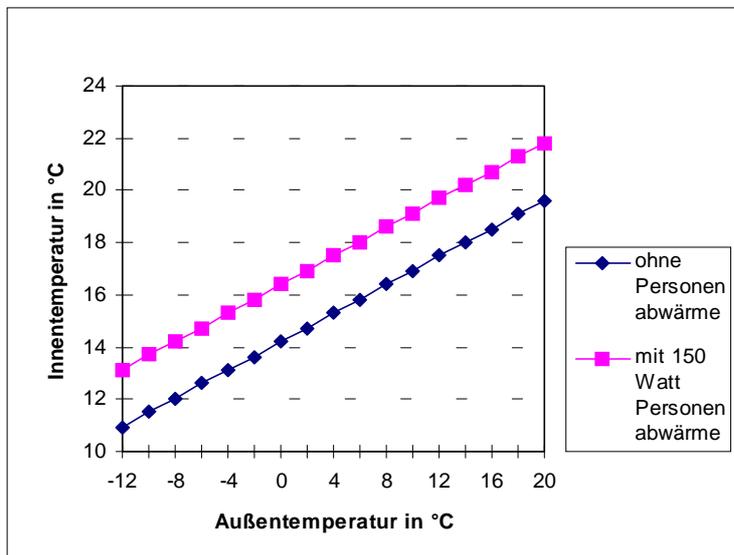


Bild 2.3-3: Innentemperaturen im unbeheizten Schlafzimmer eines NEH mit ungenügender thermischer Zonierung bei -12 bis +20°C Außentemperatur mit und ohne Einberechnung von Personenabwärme.

mequellen eine Innentemperatur von über 14°C erreicht. Ohne Personenabwärme werden bei gleicher Luftwechselrate etwa 2°C weniger erreicht, bei nur einer Person und entsprechend reduzierter Luftwechselrate 15,5°C.

(Bild 2.3-3) zeigt die Innentemperaturen, die sich bei Außentemperaturen von -12°C bis +20°C ohne Beheizung bei Luftwechselraten von 1/h mit oder ohne Einbeziehung der inneren Wärmequellen ergeben. Es zeigt überraschend deutlich, daß selbst bei sehr niedrigen Außentemperaturen allein die Wärmezufüsse aus den benachbarten und darunterliegenden Räumen zu Innentemperaturen oberhalb von 12-14 °C führen. Bei einer mittleren Außentemperatur in der Heizperiode von etwa +5°C werden durch diese Wärmezufüsse mit 15 bis 18°C bereits höhere Innentemperaturen erreicht als erwünscht. Bei +12°C Außentemperatur werden im Schlafzimmer bei Einbeziehung der Personenabwärme oft unangenehm hoch empfundene Innentemperaturen von über 20°C erreicht.

Die starke indirekte Erwärmung des Schlafzimmers wäre alleine noch nicht unbedingt ein Nachteil. Großflächige Zufuhr von Strahlungswärme über "warme" Wände und Fußböden könnte sogar als angenehm angesehen werden. Tatsächlich entstehen jedoch folgende Nachteile:

- die dem Schlafzimmer zuströmende Frischluft findet keine Warmluftzirkulation eines betriebenen Heizkörpers vor und strömt deshalb wesentlich länger kalt durch den Raum, was besonders bei kalten Außentemperaturen störend sein kann;
- mangels heizungsbedingter Raumluftwalze verschlechtert sich die Abtrocknung lokaler Feuchteniederschläge, z.B. am Fenster;
- die dem Schlafzimmer zugewandten Wände des Bades und des Kinderzimmers werden stark ausgekühlt; dies verschlechtert die Strahlungswärmebilanz in diesen Zimmern, im Bad entsteht z.B. deutlich höherer Feuchteniederschlag an den Fliesen;

- nicht zuletzt ist die Regelbarkeit dieser Schlafzimmer-"Beheizung" gering; eine Verringerung der Innentemperatur unter diejenige, die sich infolge der Wärmezufüsse von selbst einstellt, ist nur durch eine überhöhte Luftwechselrate möglich, die hygienisch nicht erforderlich ist und unnötigen Energieverlust bedeutet.

Dieses Beispiel zeigt mehrere Aspekte der thermischen Zonierung und kann verdeutlichen, warum schon beim Gebäudeentwurf darauf Wert gelegt werden sollte, daß möglichst wenig innere Trennwände und Decken mit großen Temperaturdifferenzen zustandekommen. Ist dies nicht vermeidbar, sollten solche Innenwände und Trenndecken wärmegeklämt ausgeführt werden. Schon 5 cm Dämmung auf den 11,5 cm starken KS-Innenwänden des als Beispiel gewählten Schlafzimmers würden dessen unerwünschten Wärmezufluß um mehr als zwei Drittel verringern. Bei Ziegel- und Gasbetonwänden ist der prozentuale Effekt geringer, da dieses Steinmaterial selbst bereits besser dämmt.

Für die untersuchten NEH im Baugebiet Speckfeld/Schlingweg in Werther gab es **für die thermische Zonierung** zwischen unterschiedlich warm beheizten Räumen innerhalb des beheizten Gebäudevolumens **keine Entwurfs- oder Konstruktionsvorgaben**. Sie wurden auch von keinem Planer selbst thematisiert. In den Grundrissen finden sich deshalb fast als Regelfall direkt benachbarte Bäder und Schlafzimmer mit nur 11,5 cm starken Trennwänden, die nicht anders als andere Raumtrennwände konstruiert oder gedämmt wurden. In der vom NEI erbrachten Bauberatung wurde auf diese Problematik hingewiesen. In einigen Fällen konnte dadurch auf eine stärkere Dämmung dieser Trennwände und in Einzelfällen sogar auf eine andere Grundrißgestaltung hingewirkt werden. In den meisten Fällen blieb die am vorigen Beispiel geschilderte Problematik aber unbefriedigend gelöst.

Die **richtige Abgrenzung der thermischen Hüllfläche**, die in Energiebilanzen einzuberechnen und nachher real auch wärmezudämmen und luftdicht herzustellen war, warf bei vielen Objekten Fragen auf. Die Systematik der im Detmolder NEH-Standard für verschiedene Teile der Hüllfläche vorgegebenen k-Werte und die Abgrenzung, welche Teilvolumina eines Gebäudes beheizt oder unbeheizt sind, ist zwar relativ unmißverständlich. Dennoch wurden häufig Teile der thermischen Hüllflächen in Energiebilanzen "vergessen", hinsichtlich der einzuhaltenden k-Werte falsch zugeordnet oder in der Bauausführung nicht als Problempunkt erkannt und mit wärmetechnischen Mängeln ausgeführt. Die Vielfalt der in den ersten Planungen richtig oder falsch einbezogenen oder auch ganz vergessenen Teile der thermischen Hüllflächen der untersuchten Gebäude wird in Kapitel 3.3 ausführlich erörtert und in (Bild 3.3-1 und 3.3-2) gezeigt. Etwa 20 Prozent der an den jeweiligen Gebäuden tatsächlich vorkommenden Teilflächenarten wurden nicht oder falsch erkannt. Dabei handelt es sich zwar überwiegend um kleinere Flächen, die jeweils alleine für die gesamte Energiebilanz keine großen Effekte haben. Bei mangelhafter Wärmedämmung oder Bauausführung können aber auch solche Flächen durchaus zu großen Problemen führen. Da viele der untersuchten NEH die Vorgabe des Detmolder NEH-Standards nur sehr knapp erreichen, war die richtige Einbeziehung auch solcher Teile der Hüllfläche für die Erfüllung der Zielwerte wesentlich. Die Anteile aller separat erfaßten Teilflächen an der Hüllfläche und den Transmissionswärmeverlusten sind auch in Kapitel 4 dargestellt.

Die Art und Weise der **Einbeziehung von kleineren Teilflächen** wie Gaubenseitenwänden, Gaubenvorderwänden, Dachflächenfenstern, Abseitenwänden, Bodenluken, Kellertüren bei beheizten Treppenhäusern, Wohnungsabschlußtüren bei unbeheizten Treppenhäusern, Erkerbodenplatten und Erkerdecken, einseitig luftumspülten auskragenden Decken über Terrassen oder unter Balkonen etc. war in der Sache meist unstrittig. Teilweise schwer vermittelbar war dagegen die **Art der Einbeziehung von Treppenhäusern in das beheizte Gebäudevolumen** in Ein- und Mehrfamilienhäusern als "beheizt" oder "unbeheizt", (vgl. Bild 2.3-4).

Im Einfamilienhaus konzentrierte sich die Diskussion auf die Frage, wo die **thermische Trennebene zwischen "warmem" EG und "kaltem" Keller** nach Kriterien der Kostengünstigkeit, Funktionalität und Ästhetik am besten verlaufen soll. Gestalterisch waren anfangs meist offene Kellertreppenabgänge gewünscht, die am Unterende der Kellertreppe ohne Türe offen in mehr oder weniger große und verzweigte Kellerflure übergehen. Diese Variante bedeutet jedoch wärmetechnisch, daß der gesamte zum EG offene Luftraum von Kellertreppenhaus und Kellerfluren als beheizt gilt und all seine Hüllflächen zu Erdreich, zu unbeheizten Kellerräumen und zu Außenluft entsprechend wärmezudämmen und wärmebrückenfrei zu konstruieren sind. Damit sind sowohl Kosten als auch eine Verschlechterung des A/V-Verhältnisses verbunden.

Energetisch am vorteilhaftesten und zugleich am preiswertesten ist demgegenüber die thermische Abgrenzung des beheizten EG bereits an der Oberseite der Kellertreppe, so daß der Kellertreppenabgang und die Kellerflure komplett "unbeheizt" bleiben. Hierzu müssen die im EG liegenden Seitenwände des Kellertreppenabgangs, die oberseitige Türe und die Unterseite der meist direkt über dem Kellertreppenabgang liegenden EG-OG-Treppe wärmegeklämt werden und es muß eine wärmegeklämte obere Kellertreppentüre eingebaut werden. Diese Variante verringert allerdings die Größe und das Luftvolumen im EG-Flur- bzw. Treppenhausbereich, was teils als gestalterischer Nachteil empfunden wurde.

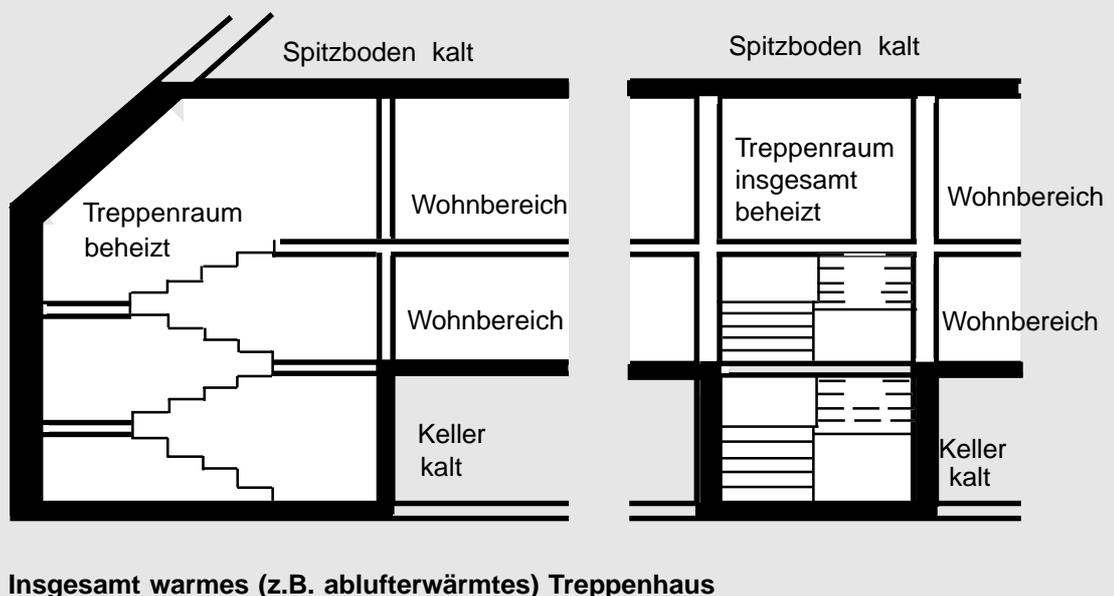
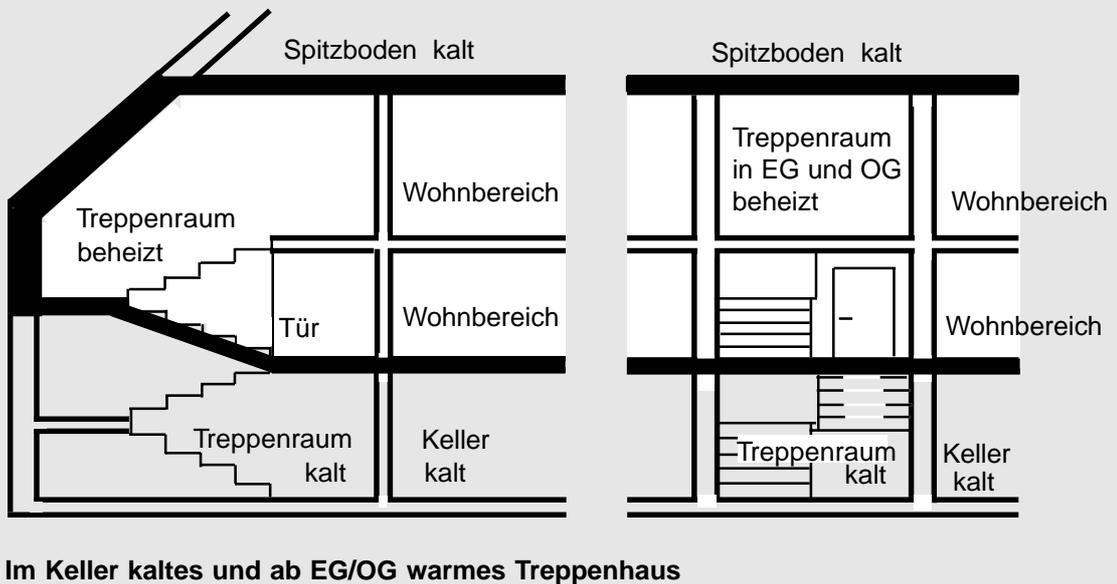
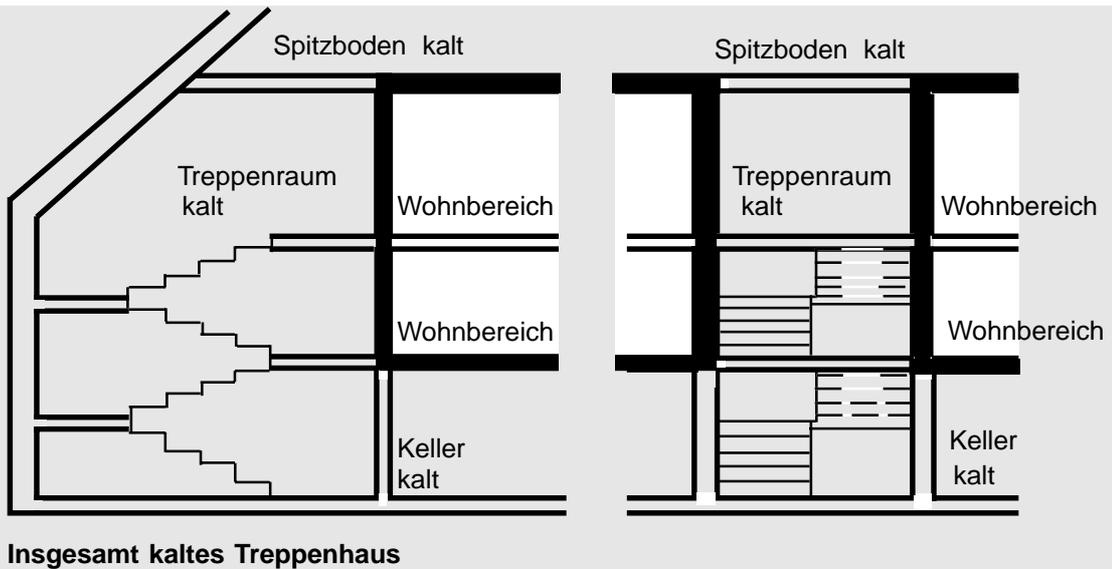


Bild 2.3- 4: Zonierungsvarianten von Treppenhäusern mit jeweiligen thermische Trennflächen.

Als Kompromiß wurde in vielen EFH eine Lösung gewählt, in der der Kellertreppenabgang zwar selbst noch zum EG offener Luftraum war, jedoch die thermische Trennung zum kalten Keller direkt am unteren Podest der Kellertreppe vorgenommen wurde. Hierbei konnte sowohl die "großzügigere" Treppenhausgestaltung im EG als auch eine deutliche Begrenzung der im Keller zu dämmenden Trennflächen erreicht werden. In diesen Fällen mußten die Trennwände des Kellertreppenabgangs zu benachbarten kalten Kellerräumen oder -fluren, zu Erdreich und zu Außenluft, die Unterseite des Kellertreppenlaufes, das Sohlplattenstück unter der untersten Stufe sowie die untere Kellertür wärmegeklämt ausgeführt werden. Diese Lösung war relativ preiswert. Bei der Planung der für die Einbringung der Dämmung erforderlichen lichten Rohbaumaße und Höhen der Kellertreppenabgänge sowie der an den Anschlüssen zu vermeidenden Wärmebrücken traten allerdings oft Probleme auf. Um den für Trennflächen gegen unbeheizte Räume oder Erdreich verlangten k -Wert von $\leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen, sind z.B. bei Beton- oder schweren KS-Kellerwänden oder unter Beton-Treppenläufen Dämmstoffstärken von 12 cm erforderlich, was oft nicht rechtzeitig bedacht wurde.

Die Anforderung einer eindeutigen thermischen Trennung zwischen beheiztem EG und kaltem Keller stieß anfangs oft auf Unverständnis, da Anforderungen an die Wärmedämmung von Wänden und Decken im Kellerbereich sonst kaum gestellt werden und sich die Bauleute und Planer über die hier auftretenden Wärmeströme nicht bewußt waren. Thermographieaufnahmen von inneren und äußeren Kellerabgängen in allen Ausführungen zeigen jedoch, daß bei der starken Dämmung der EG-Decke in NEH (k -Wert von $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$) und bei korrekter Ausführung der thermischen Trennung zum Keller tatsächlich eine wesentlich ausgeprägtere Temperaturabstufung am Übergang zwischen "warmem" EG und Kellertreppenhaus und "kaltem" Keller sowie auch deutlich niedrigere Kellertemperaturen erreicht werden als bei Objekten mit offenen oder ungedämmten Übergängen. Das energetische Ziel, die per se gar nicht erwünschte Erwärmung des Kellers durch nach unten abfließende EG-Wärme zu verringern, wird also durch eine konsequente Trennung tatsächlich erreicht und die häufig geäußerte Vermutung, daß "nach dort unten" ohnehin kaum Wärme abfließe, kann wiederlegt werden.

Andere Abgrenzungsprobleme zwischen beheiztem EG und unbeheiztem Keller gab es bei mehreren EFH, deren Kellerräume vermutlich bewußt zur Schönung der Energiebilanz und zur Vermeidung von Kosten als unbeheizt oder als nur **gelegentlich beheizte Hobbyräume** deklariert und an Außenwänden, Innenwänden und Böden nicht gedämmt wurden, obwohl eine regelmäßige Beheizung beabsichtigt war und später faktisch auch stattfand. Dies gilt vor allem für Souterrainräume, die zwar mit ihren Boden- und Außenwandkonstruktionen wärmetechnisch nur als Kellerbauteile ausgeführt sind, zugleich jedoch mit großen Fenstern, guter Belichtung und Aussicht durch aufwendige und dekorative Erdabgrabungen und in Einzelfällen sogar mit eigener Erschließung durch Außentüren und Außentreppe und eigenen Sanitäräume ausgestattet sind. Mit der **Fehldeklarierung** sollte die Vorgabe umgangen werden, alle Außen- und Innenwand- sowie Bodenflächen dieser Räume mit angemessen hohem Wärmeschutz auszustatten und die Räume an die mechanische Lüftungsanlage anzuschließen, um dadurch Baukosten zu sparen.

Hier zeigen sich vor allem **Mängel der Bauaufsicht**, die solche Fehldeklarationen, die aus den Bauplänen bereits vermutbar sind, nicht prüft oder beanstandet und auch die juristisch gesehen illegale spätere Umnutzung des Kellerraums zu einem regelmäßig beheizten Aufenthaltsraum weder ermittelt noch sanktioniert oder von einer wärmetechnischen Nachrüstung der Hüllflächen abhängig macht. Dies ist neben den energetischen Effekten besonders deshalb bedauerlich, weil auf diese Weise baukonstruktiv zum dauernden Aufenthalt ungeeignete Räume einer Wohnnutzung zugeführt und die damit verbundenen **Gesundheitsrisiken** hingenommen werden. Daß regelmäßig beheizte, aber völlig unzureichend gedämmten Souterrain-Räume auch bewirken, daß der NEH-Standard faktisch deutlich verfehlt wird, sei nur am Rande erwähnt.

(Bild 2.3-5) zeigt den erhöhten Wärmeabfluß über die Außenwände eines derartigen umgenutzten Kellers. Verhindern lassen sich diese Betrügereien in der Energiebilanz bzw. solche baurechtlich unzulässige (Um-) Nutzungen nur, wenn der Einbau größerer als für Kellerzwecke erforderlicher Fenster in Souterrainräumen grundsätzlich von der wärmetechnischer Ausführung dieser Räume entsprechend den Anforderungen an Aufenthaltsräume abhängig gemacht wird. Bei Bauvorhaben, bei denen eine Nutzung von Souterrain-Räumen als Aufenthaltsraum anfangs nicht beabsichtigt ist, aber eine entsprechende Umnutzung später möglich bleiben soll, sollten die dafür erforderlichen Fensterflächen anfangs ebenfalls noch nicht zugelassen werden, sondern nur Vorkehrungen für deren spätere Herstellung (z.B. überbreite Vorsorge-Fensterstürze in der Kelleraußenwand, ausreichend Raum- und Türsturzhöhen für nachträgliche Dämmung des Fußbodens und wärmebrückenarme Anschlüsse der Hüllflächen an benachbarte kalte Räume bzw. Bauteile), und die Genehmigung der tatsächlichen Umnutzung sollte

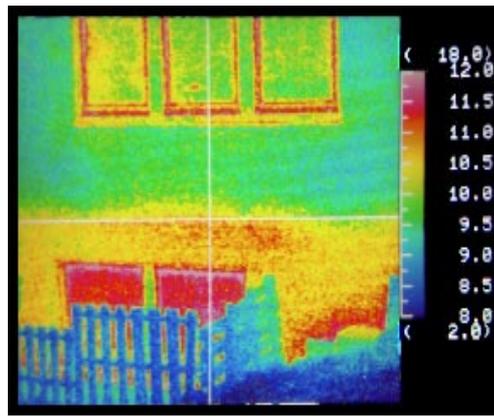


Bild 2.3- 5: Unzureichend gedämmter "illegal beheizter" Kellerraum eines Niedrigenergie-Hauses in foto- und thermographischer Abbildung.

von einer Bauabnahme der erfolgten wärmetechnischen Nachrüstung abhängig sein. Eine generelle Dämmpflicht für Keller wäre ebenfalls eine pragmatische und einfach handhabbare Lösung.

Bei **Mehrfamilienhäusern** stellten sich die Abgrenzungsfragen zwischen beheizten und unbeheizten Gebäudeteilen anders als bei Einfamilienhäusern. Hier gab es im Untersuchungsgebiet sowohl klare Vorgaben als auch eine gegen teils erhebliche Widerstände durchgesetzte Baupraxis.

In Mehrfamilienhäusern ab 3 WE wurde **generell** verlangt, daß **Treppenhäuser als unbeheizte Räume** mit einer Standard-Innentemperatur von +7°C zum Auslegungszeitpunkt bei -12°C Außentemperatur anzusehen sind. Diese Vorgabe hat zur Folge, daß alle Wohnungstrennwände zu Treppenhäusern auf k-Werte von $\leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu dämmen oder aus vergleichbar dämmendem Mauerwerk herzustellen sind. Die Umsetzung dieser Anforderung bedeutet bei üblichen, aus Schallschutzgründen mit schwerem Mauerwerk hergestellten Treppenhauswänden zusätzliche Dämmschichten von 10-12 cm Stärke bei Dämmstoffen der WLG 035 oder 040, vgl. (Bild 4.5-1) in Kapitel 4.5. Dies erfordert höhere Investitionen als der Einbau von Heizkörpern und die Einbeziehung von Treppenhäusern in das beheizte Volumen.

An dieser Frage zeigten sich **deutliche Interessenkonflikte** zwischen Investoren, Nutzern und Gemeinwohl. Investoren sind legitimerweise daran interessiert, vermietbaren oder verkäuflichen Wohnraum im rechtlich zulässigen Rahmen möglichst preiswert herzustellen. Da die Dämmung der Treppenhäuser höhere Baukosten verursacht als das Nicht-Dämmen mit oder ohne zusätzliche direkte Beheizung der Treppenhäuser, neigen Investoren eher zu "warmen" Treppenhäusern und kaschieren ihren Wunsch nach Baukostenvermeidung mit Komfortargumenten. Die energetischen Konsequenzen der Entscheidung, ob Treppenhäuser direkt durch Heizkörper oder indirekt durch Wärmeabflüsse über ungedämmte Wohnungstrennwände aus den Wohnungen beheizt werden und dadurch höhere Heizkosten als bei gedämmter Ausführung entstehen, sind für Investoren dagegen nachrangig, da die Heizkosten in jedem Falle in voller Höhe auf die Nutzer umlegbar sind. Aus Sicht der Gebäudenutzer ist dagegen der in höheren Heizkosten zu bezahlende Wert warmer Treppenhäuser zumindest fraglich, aus Gemeinwohlsicht existiert er für (Spar-)Treppenhäuser ohne Spiel- und Kommunikationszonen nicht.

Baurechtlich und in den gängigen Energiebilanz-Berechnungsmethoden ist die thermische Abgrenzung von Treppenhäusern **nicht eindeutig geregelt**. In Wärmeschutznachweisen von MFH-Bauanträgen wird die thermische Hüllfläche teils über das gesamte Gebäude, also auch über die Treppenhäuser gestülpt, teils werden die Treppenhäuser ausgeschnitten. Sowohl bei der Erstellung der Energiebilanz nach WSV0 1995 als auch beim Hessischen Energiekennzahl-Rechengang (vgl. Kapitel 3) ist auch beides zulässig und es gibt keinen Malus bei Einbeziehung der Treppenhäuser; vielmehr wird mit der jeweiligen Volumenabgrenzung auch die für die Zielwerte relevante beheizte Nutzfläche bzw. Energiebezugsfläche vergrößert oder verkleinert. Werte des Heizwärmeverbrauchs bzw. Energiekennzahlen in kWh pro Quadratmeter und Jahr beziehen sich also je nach Einbeziehung des Treppenhauses auf unterschiedlich große Gesamtflächen und sagen insofern über den zu erwartenden Verbrauch pro m² reale beheizte Wohnfläche innerhalb der Wohnungen nichts aus. Bei korrekter Bezugnahme der Energiekennwerte auf die real beheizte Wohnfläche innerhalb der Wohnungen in MFH ergeben sich deshalb alleine durch die unterschiedliche Einbeziehung von mitbeheizten Treppenhäusern im Untersuchungsgebiet um bis zu 15 % abweichende Werte. Die Höhe des Mehrverbrauchs bzw. der Bilanz-Verzerrung durch die Einbeziehung eines Treppenhauses hängt von der Gebäudegeometrie ab. Insgesamt kleine oder tief eingeschnittene Treppenhäuser mit geringen Außenoberflächen führen nur zu geringen, solche mit großen oder stark verglasten Außenoberflächen dagegen zu höheren zusätzlichen Transmissions-Wärmeverlusten. Sind sie luftdicht ausgeführt und zusätzlich an die kontrollierte mechanische Be- und

Entlüftung angeschlossen und ist dadurch die Luftwechselrate in ihnen reguliert, schlagen auch ihre zusätzlichen Lüftungswärmeverluste nicht übermäßig zu Buche. Um angemessene Lösungen zu ermöglichen, wenn bei derartigen individuellen Randbedingungen eine komplette Dämmung der Wohnungstrennwände unverhältnismäßig oder energetisch fragwürdig wäre, wurden im Untersuchungsgebiet **für MFH neben der Standardvariante** ohne Beheizung und mit Innendämmung auf $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ **zwei zusätzliche Ausführungsvarianten** zugelassen:

- a) Für das MFH-Treppenhaus wird eine **separate Energiebilanz** erstellt. Darin wird ermittelt, wie hoch der absolute Wärmeabfluß von den Wohnungen in das Treppenhaus bei Standard-Werten wäre, also bei einem k-Wert der Trennwände von $\leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, einem k-Wert der Wohnungsabschlüßtüren von $\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, 20°C Wohnungs- und 7°C Treppenhaustemperatur. Als zweites wird ermittelt, wie hoch der tatsächliche Standard-Wärmeabfluß des Treppenhauses nach außen bei seiner tatsächlichen Baukonstruktion, 7°C Innen-, -12°C Außentemperatur und einer Luftwechselrate wie in den angrenzende Wohnungen wäre. Aus dem Verhältnis dieser beiden Werte kann dann berechnet werden, wie stark die Innendämmung im konkreten Falle verringert werden kann, ohne einen absolut höheren Wärmeabfluß als bei Standardannahmen zu bewirken. Diese verringerte Innendämmung wird dann akzeptiert, da sie keine energetischen Nachteile gegenüber Standardvorgaben mit sich bringt. In derart gestalteten Treppenhäusern stellt sich nachher faktisch eine höhere Innentemperatur bei trotzdem gleich niedrigem Wärmeabfluß der Wohnungen ein und die Investitionskosten der Innendämmung können ohne energetischen Nachteil verringert werden.
- b) Das MFH-Treppenhaus darf als "beheizt" eingestuft werden und auf seine Innendämmung darf ganz oder teilweise verzichtet werden, wenn es seine **Wärme ohne Einsatz von Heizenergie** erlangt. Eine Möglichkeit hierfür ist, das Treppenhaus ausschließlich mit rückgewonnener Wärme der Wohnungsabluftanlagen zu beheizen. Diese Lösung ist in mehreren Mehrfamilienhäusern realisiert, in denen die Abluftstränge mehrerer Wohnungen ohnehin im Spitzboden zusammenkommen und dort in einen gemeinsamen Fortluftkanal münden. Aus diesem Fortluftkanal wird ein für die Treppenhauserwärmung ausreichender Teilstrom abgezweigt, über einen Wärmetauscher geführt und entwärmt, wobei zugleich die Zuluft des Treppenhauses erwärmt wird. Die erwärmte Zuluft für das Treppenhaus wird in diesem möglichst ganz unten eingeblasen. Die Investitionskosten für die Installation der WRG-Anlage und die zusätzlichen Luftkanäle sind bei den realisierten Beispielen deutlich niedriger als die alternativ erforderlichen Kosten der Treppenhaus-Innendämmung. In der Energiebilanz können die Trennflächen zwischen Wohnungen und Treppenhaus bei dieser Version als verlustfrei angesehen werden. Der Stromverbrauch der eingesetzten Ventilatoren der Abluft-WRG-Anlage zur Treppenhauserwärmung liegt z.B. bei einem 9-Familienhaus unter 90 Watt elektrische Dauerleistung und kann gegenüber dem vielfachen Wärmegewinn vernachlässigt werden.

Innentemperaturmessungen und Innen- sowie Außenthermographien von derart energetisch verschiedenen optimierten Treppenhäusern, die im ersten oder zweiten Benutzungsmonat nach Bezug Ende Februar 1996 bei $+8^\circ\text{C}$ Außentemperatur gemacht wurden, zeigen, daß sich in allen Fällen etwa die erwarteten Innentemperaturen einstellen, auch wenn teils noch Änderungen bei der freien Belüftung in unbeheizten Treppenhäusern und Umbauten sowie Einregulierungen der Lüftungsanlage in WRG-beheizten Treppenhäusern vorgenommen werden mußten. Insofern kann die für Treppenhäuser in MFH zum Teil als sehr hart angesehene Vorgehensweise bei den Detailvorgaben bis auf weiteres als gelungen und **im Ergebnis als befriedigend** angesehen werden. Die bei den verschiedenen Objekten realisierten konstruktiven Detaillösungen sind in Kapitel 4 bei Trennwänden und im Kapitel 8 bei Lüftungsanlagen in MFH noch näher beschrieben.

2.4. Sanitär- und Lüftungstechnische Aspekte

Gebäudeentwürfe haben direkte Auswirkungen auf die **Funktionalität und Kostengünstigkeit der Haustechnik**. Bei Niedrigenergie-Häusern denkt man dabei zunächst sicher an die Heizung und an deren andere Dimensionierung; dies ist jedoch mehr ein technischer als ein Entwurfsaspekt und wird deshalb nicht hier, sondern in Kapitel 7 behandelt. Die Sanitär- und Lüftungstechnik stellt dagegen deutliche Anforderungen an NEH-Gebäudeentwurf.

An die Sanitärinstallation stellt der im Untersuchungsgebiet angewandte Detmolder NEH-Standard die **Anforderung**, daß **Warmwassernetze kurze Leitungswege** haben sollen. Diese Anforderung ist im Entwurf nur dann gut gelöst, wenn im Einfamilienhaus alle warmwasserversorgten Räume, also Küche, Bad und ggf. Gäste-WC oder zusätzliche Dusche direkt neben- oder übereinander liegen und über einen einzigen Steigestrang versorgt sowie über ein einziges Abwasser-Fallrohr und Fallrohrentlüfter entsorgt werden. Eine sehr gute Lösung ist dann gegeben, wenn nicht nur die Ver- und Entsorgung über einen einzigen Steigestrang und ein Fallrohr erfolgt, sondern auch die Objekte in den Küchen, Bädern und WCs so angeordnet sind, daß alle Zapf- und Ablaufstellen in direkter Nähe des Steigestrangs liegen und keine lange Abzweigungen an Böden oder Wänden erforderlich sind. Dadurch verringern sich sowohl die Leitungsverluste bei der Warmwasserverteilung wie auch die Investitionskosten der Sanitär- und Abwasserinstallation. Ist die Bad- und Küchengestaltung zugleich funktional und ansprechend, ist ein Gebäudeentwurf sanitärtechnisch gelungen.

Neben den Verbrauchsstellen sollte auch der Warmwasserbereiter oder gleich die gesamte Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser **möglichst unmittelbar an einem Strang** liegen. Traditionell wurden Heizkessel wegen des leichteren Brennstoff-Antransports und der sich dort anbietenden Brennstoff-Lagerung im Keller sowie aus schornsteintechnischen Gründen (größtmöglichen Länge = guter Zug) nahe der Gebäudemitte unter dem First gebaut. Für die im Untersuchungsgebiet ausschließlich eingesetzten Gasheizungen haben diese Argumente sämtlich keine Bedeutung mehr. Gas strömt durch den Leitungsdruck freiwillig auch bis unter das Dach und je kürzer Kamin oder Abgasrohr sind, desto preiswerter ist die Installation. Moderne Gasthermen sind oft kleiner als ein Reisekoffer und so leise, daß man sie problemlos in eine Badnische, einen Küchenschrank oder in ein Gäste-WC über den Spülkasten hängen kann. Insofern gibt es keine Gründe mehr, Heizanlagen in kalte Keller oder anderweitig fern der Wärmeverbrauchsstellen einzubauen.

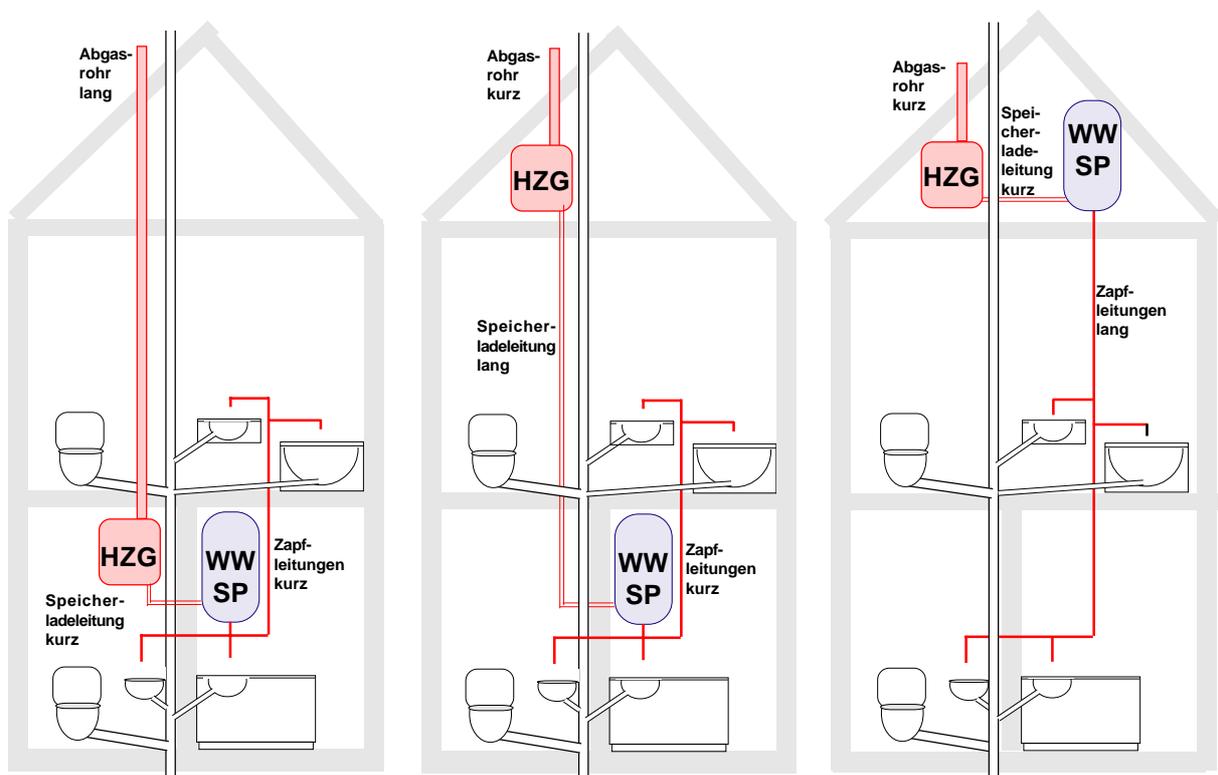


Bild 2.4- 1: Drei rationelle Varianten der Platzierung von Heizung und Warmwasserspeicher.

Auch die weitere beobachtbare (Entwurfs-)Tradition, daß bei Heizanlagen mit reinen Heizkesseln und indirekt beheizten **Warmwasserspeichern** letztere **direkt neben dem Kessel** aufgestellt werden, **entbehrt jeder sachlichen Begründung** außer vielleicht jener, daß der Installateur bei der Montage sich nur in einem Raum aufhalten muß. Die wesentlichen Leitungsverluste der Warmwasserversorgung treten nicht in der nur gelegentlich durchströmten Speicherladeleitung zwischen Kessel und Speicher, sondern in den häufig durchströmten Zapfleitungen zwischen Speicher und Warmwasserhähnen auf. Der ideale Standort für den Warmwasserspeicher ist deshalb nicht im Keller, sondern direkt neben oder zwischen den meistbenutzten Zapfstellen. Damit sind nicht jene mit der größtem absoluten Wassermenge pro Zapfvorgang (Badewanne), sondern jene mit den häufigsten Zapfungen (meist Küche) gemeint. Sofern es in der Entwurfsplanung beispielsweise gelungen ist, Küche und Bad im EFH übereinander zu legen und aus einem Steigestrang zu versorgen, liegt ein guter Platz für den Speicher z.B. in einem Küchenunter- oder Kücheneckschrank unter dem Bad.

(Bild 2.4-1) zeigt **rationelle Anordnungen von Sanitärräumen und Zapfstellen** mit drei Platzierungsvarianten für Gastherme und Warmwasserbereiter. In der linken und mittleren Version werden die kürzesten Leitungswege für Warmwasser erreicht. Die linke hat auch eine sehr kurze Speicherladeleitung, jedoch ein langes Abgasrohr, die mittlere dagegen eine längere Speicherladeleitung und ein kurzes Abgasrohr. Rechts ist eine klassische Dachheizzentrale skizziert, die etwas längere Zapfleitungen, eine sehr kurze Speicherladeleitung und ein kurzes Abgasrohr aufweist. Weitere Varianten mit Platzierung von Heizung und Speicher im Bad oder einem Badnebenraum sind möglich.

Bei den untersuchten NEH-Entwürfen waren die **Sanitärkonzepte selten gut gelöst**. Während bei sanitär-optimierten EFH-Grundrissen Leitungslängen von insgesamt nur 4 m für die Warmwasserversorgung von Küche, Bad und Gäste-WC möglich sind, wurden tatsächlich oft 25-35 m verlegt. Auch die untersuchten MFH haben nach haustechnischen Kriterien überwiegend mäßige und teils extrem suboptimale Grundrisse, so z.B. die MFH 29 und 31/32, die in jeder Etage abweichende Grundrisse aufweisen. In einem Achtfamilienhaus wurden beispielsweise pro Wohnung 30 m Warmwasserleitung und 31 m Lüftungsleitungen, insgesamt also jeweils rund 250 m Leitungen verlegt. Diese Mängel sind vor allem der Tatsache zuzuschreiben, daß viele Entwurfsplaner von sich aus derartige Entwurfskriterien geringschätzen und unsere Beratung in vielen Fällen erst begann, nachdem die Grundrisse bereits festgelegt waren. Es darf auch vermutet werden, daß haustechnischer Mehraufwand wegen der damit verbundenen höheren Investitions- und Honorarsummen sowohl von den Planern als auch von den Handwerkern, die bei kleineren Bauten oft ohne Planer selbständig die Ausführung bestimmen, nur selten gezielt vermieden wird.

Die **Lüftungsplanung** stellt noch komplexere Anforderungen an den Gebäudeentwurf als die Sanitärplanung. Ein Teil davon gilt gleichermaßen für konventionelle wie für NEH und gleichermaßen für Gebäude mit oder ohne mechanische Lüftungsanlage; ein anderer Teil ist NEH-spezifisch.

Der Detmolder NEH-Standard verlangt eine kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung aller beheizten Räume. Im folgenden seien hiervon nur einige entwurfsrelevante Aspekte angesprochen. Technische Details und Ausführungsvarianten der gebauten Lüftungsanlagen sind in Kapitel 8 beschrieben.

Nicht NEH-spezifisch, aber entwurfsrelevant ist die Berücksichtigung der am Baustandort gegebenen **Hauptwindrichtung** einschließlich der sich aus dem direkten baulichen Umfeld ergebenden Stömeinflüsse bei der Platzierung frischluftbedürftiger "Zuluft"-Räume und entsorgungsbedürftiger "Abluft"-Räume im Grundriß. Werden Zuluft Räume wie Wohn-, Kinder- und Schlafzimmer auf überwiegend winddruckbelastete Gebäudeseiten platziert, bewirkt der Winddruck eine natürliche Frischluftzufuhr in diese Räume durch die Fenster oder Zuluftventile. Sind sie dagegen auf der windsogbelasteten Gebäudeseite platziert, strömt aus diesen Räumen bei geöffnetem Fenster oder durch Außenwandventile ohne Rückschlagklappe meist warme Luft nur nach außen ab, statt frischer Außenluft strömt verbrauchte Luft aus anderen Teilen der Wohnung nach. Noch direkter fühlbar ist die Wirkung unterschiedlicher Windorientierung bei Abluft Räumen. Sind Toiletten, Bäder oder Küchen auf überwiegend winddruckbelasteten Gebäudeseiten platziert, wird ihre Abluft nebst Gerüchen und Feuchte in die Wohnungen hineingedrückt, sind sie auf der windsogbelasteten Gebäudeseite platziert, unterstützt der Wind die direkte Geruchsabfuhr.

Bei Anwendung dieser Überlegungen müssen die am konkreten Baustandort manchmal stark wechselnden Windrichtungen bedacht werden. Die für die Lüfthygiene vorrangige Abführung der Abluftströme kann dann nahelegen, Abluft aus Küchen, Bädern und Toiletten nicht über Fenster oder Außenwände, sondern über Luftkanäle und windrichtungsunabhängige Dachentlüfter abzuführen.

Bei den im Untersuchungsgebiet gebauten Ein- und Zweifamilienhäusern waren die Grundrisse selten bewusst nach Lüftungskriterien gestaltet. Es ließen sich aber trotzdem meist gute oder befriedigende technische Lösungen für die Lüftung finden. Bis auf wenige Ausnahmefälle wurden zentrale Abluftanlagen mit dezentraler Zuluftnachströmung installiert, die die Abluft aus Küchen, Bädern und WCs über Rohrleitungen absaugen und über Dach abblasen. Die Entlüftung war dadurch meist windrichtungsunabhängig und problemlos. Zuluftseitig wurden überwiegend Außenwandventile an winddruckbegünstigten Fassaden eingesetzt, zu windbenachteiligten Räumen wurden teilweise Zuluftleitungen verlegt.

Größere Probleme gab es mit den Grundrissen von Mehrfamilienhäusern mit mehreren Wohnungen pro Etage. (Bild 2.4-2) zeigt als Beispiel den OG-Grundriß eines 14-Familienhauses, der an der im Bild rechten (Nord-) und linken (Süd-) Seite jeweils eine 2-Zimmer-Wohnung mit außenliegenden Feuchträumen und Fenstern in drei Himmelsrichtungen hat. An der im Bild unten liegenden Ostseite sind zwei 2-Zimmer-Wohnungen mit mit innenliegenden Feuchträumen und Fensterausrichtungen nur nach Osten enthalten. Oben in der Mitte sind die rein westorientierten unteren Teiletagen zweier 4-Zimmer-Wohnungen zu sehen, die im darüberliegenden DG noch Bäder, Kinder- und Schlafzimmer haben. In diesem Grundriß gibt es außer in den seitlichen Wohnungen keine sommerliche Querlüftungsmöglichkeit; die westlichen Mittelwohnungen sind bei dem am Baustandort überwiegenden Westwind nur winddruckdie östlichen nur windsogbelastet. Bei Westwind in der Heizperiode können in den Seitenwohnungen auch die Schlafzimmer bei überwiegend geschlossenen Zimmertüren unterversorgt sein, da dann die gesamte von den Abluftanlagen nachgesaugte Frischluft dann nur über die westseitigen Außenwandöffnungen der Wohnzimmer nachströmt, sofern diese nachts nicht bewußt verschlossen werden.

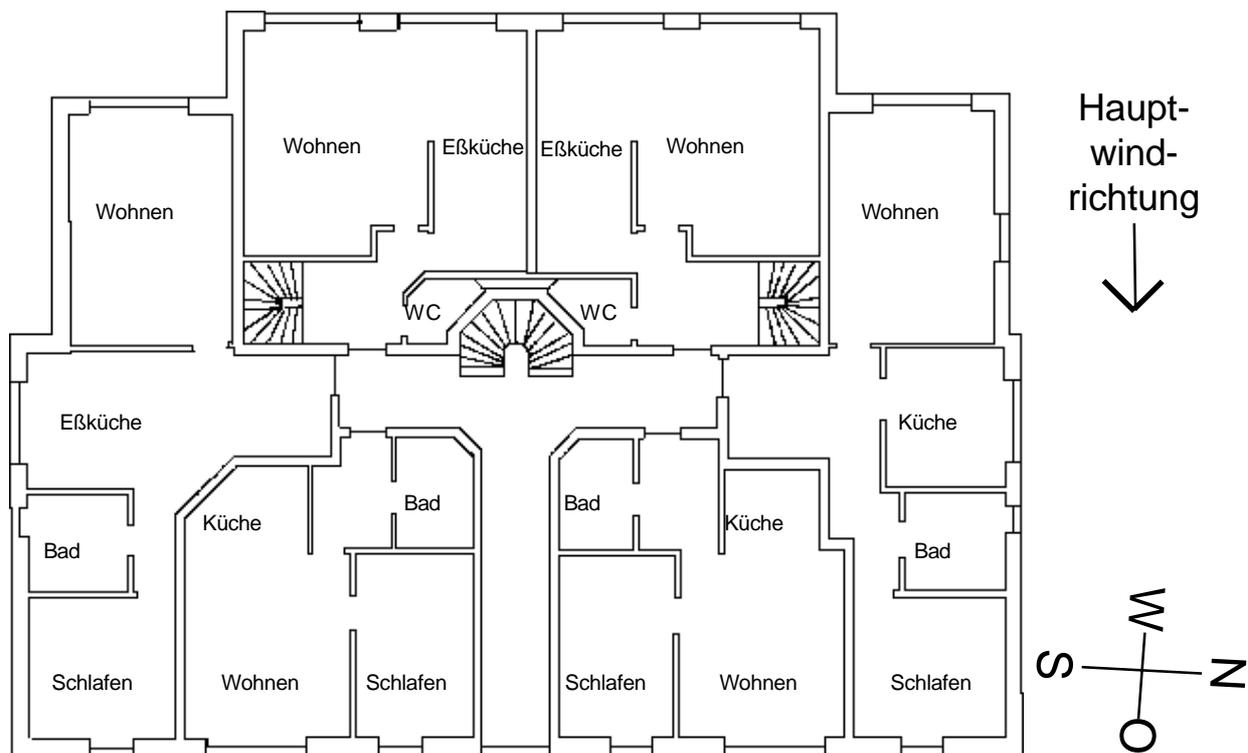


Bild 2.4- 2: MFH-Grundriß mit lüftungstechnisch unterschiedlich bevorzugten und benachteiligten Wohnungen.

Die frühe Einplanung der für Zu- und Abluftleitungen erforderlichen Schächte gehört ebenfalls zu den haustechnischen Anforderungen an einen guten Gebäudeentwurf. Je kürzer Zu- und Abluftleitungen sind, desto geringer sind ihre Herstellungskosten, ihre Strömungswiderstände und die Probleme ihrer dauerhaften Reinhaltung. Zu- und Abluftleitungen sind im Wohnhaus meist 100-150 mm dick, also dicker als Abwasserleitungen, an Stellen mit Schalldämpfern werden auch 220-270 mm Durchmesser erreicht. Als am wenigsten störend hat sich die Unterbringung in Vorwandinstallationen erwiesen, die gleichzeitig für Heizungs-, Wasser- und Abwasserstränge genutzt werden. Die Verlegung in Außenwandschlitz, Unterestrichkanälen oder separaten, nachträglich geplanten Abkastungen wie auch über extra deshalb montierten abgehängten Decken hat sich in vielen Fällen dagegen als konstruktiv, schall-, wärme- und abdichtungstechnisch schwierig, teuer oder gestalterisch unbefriedigend erwiesen.

3. Energiebilanzen

Inhaltsübersicht

In diesem Kapitel wird zunächst verglichen, inwieweit die untersuchten Gebäude den Vorgaben dreier verschiedenener "NEH-Standards" mit unterschiedlichen Berechnungsverfahren entsprechen. Diese Berechnungsverfahren sind der Detmolder Niedrigenergiehaus-Standard, das Energiebilanzverfahren der neuen Wärmeschutzverordnung und das hessische Rechenverfahren für den Wärmeschutznachweis auf der Basis von Energiekennzahlen in der Version von 1993. Die drei Rechenverfahren werden methodisch verglichen und es werden die Auswirkungen einzelner Bilanzfaktoren bewertet. Im dritten Teil werden die bei den untersuchten NEH aufgetretenen praktischen Probleme bei der Nachweisführung und die Auslegungsspielräume bei der Anwendung des Detmolder Nachweisverfahrens diskutiert.

- 3.1. Ergebnisse bei Anwendung dreier verschiedener NEH-Standards
- 3.2. Methodenfragen verschiedener Rechenverfahren
- 3.3. Praktische Probleme der Nachweisführung

3.1 Ergebnisse bei Anwendung dreier verschiedener NEH-Standards

Energiebilanzen sind rechnerische Hilfsmittel, um energetische Eigenschaften von Gebäuden vereinfacht zu beurteilen. Je nach Komplexität machen sie mehr oder weniger genaue Angaben, welchen Bedarf an Wärmezufuhr ein Gebäude für die Aufrechterhaltung bestimmter Innentemperaturen und Luftqualitäten bei definierten Nutzungsbedingungen und Umgebungsbedingungen hat. Je nach Verfahren werden dabei unterschiedlich viele Einflußfaktoren einbezogen.

Für die im Rahmen dieses Projektes untersuchten Niedrigenergie-Häuser war es vertragliche Vorgabe, den sogenannten "Detmolder Niedrigenergie-Haus-Standard"⁽¹⁾ (DT) einzuhalten. Dieser 1989 entwickelte NEH-Standard enthält neben Vorgaben für die Wärmedämmung verschiedener Teile der Gebäudehülle, die Vermeidung von Wärmebrücken, die Luftdichtheit und die Haustechnik auch eine Vorgabe für den Wärmeleistungsbedarf der Gebäude. Dieser ist in einer Energiebilanz nach Hüllflächenverfahren in Anlehnung an die DIN 4701 zu ermitteln und darf 40 Watt/m² beheizter Wohn- und Nutzfläche nicht überschreiten. Dieser Wärmeleistungsbedarf stellt die Heizleistung dar, die notwendig ist, um in einem Gebäude zum Auslegungszeitpunkt (Winternacht mit -12°C Außentemperatur) eine Innentemperatur von 20° Celsius bei vorgegebener Luftwechselrate aufrecht zu erhalten.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird weiterhin ermittelt, welche Werte die zu untersuchenden Niedrigenergie-Häuser nach zwei anderen eingeführten Energiebilanzverfahren und darauf basierenden NEH-Standards erreichen. Dies sind das Energiebilanzverfahren der neuen Wärmeschutzverordnung⁽²⁾ (WSVO) und das Hessische "Rechenverfahren für den Wärmeschutznachweis auf der Basis von Energiekennzahlen" (HES) in seiner Ausgabe von 1993⁽³⁾. Dabei wird zugleich ermittelt, mit welchen methodischen Problemen die numerischen Ergebnisse der drei Rechenverfahren behaftet sind. Hierzu seien zunächst einige Erläuterungen vorangestellt.

Wesentlicher Unterschied der drei Rechenverfahren (DT / WSVO / HES) ist zunächst die jeweilige Meßgröße. DT ermittelt den Wärmeleistungsbedarf eines Gebäudes zum Auslegungszeitpunkt in Watt (Heizleistung) pro Quadratmeter beheizter Wohn- und Nutzfläche (W/m²). WSVO und HES berechnen dagegen den Jahres-Heizwärmebedarf eines Gebäudes in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m²a). Der grundsätzliche Unterschied hierzwischen ist geringer, als man zunächst vermuten kann: WSVO und HES rechnen im wesentlichen den (situativen) Wärmeleistungsbedarf nur mittels zusätzlicher pauschaler Festwerte für die jährliche Heizdauer und die täglichen Temperaturabsenkungszeiten auf den jeweiligen Jahresbedarf hoch. Ein weiterer wichtiger Unterschied ist, daß DT keine solaren und inneren Wärmegewinne einbezieht, wohingegen WSVO und HES solche Energiegewinne mit jeweils unterschiedlichen pauschalen Rechenfaktoren in die Bilanz einfließen lassen. Die vielfältigen Argumente über Vor- und Nachteile sowie Unsicherheiten der Einbeziehungen dieser Gewinnfaktoren können hier nicht ausgeführt werden.

Ein weiterer wichtiger Unterschied liegt in den Zielvorgaben, die nach den jeweiligen Bilanzverfahren von Niedrigenergie-Häusern erreicht werden sollen. DT gibt für den Wärmeleistungsbedarf einen Zielwert von ≤ 40 W/m² vor. Im WSVO-Rechengang wird von einem NEH eine Unterschreitung des vom A/V-Verhältnis des Gebäudes abhängenden maximal zulässigen Heizwärmebedarfs um 25 bis 40 Prozent verlangt. Beim HES-Rechengang müssen Ein- und Zweifamilienhäuser Energiekennzahlen von ≤ 70 kWh/m²a, Mehrfamilienhäuser sogar Energiekennzahlen von ≤ 55 kWh/m²a erreichen. (Bilder 3.1-1 bis 3.1-4) zeigen, inwieweit die untersuchten Gebäude die Zielvorgaben dieser drei unterschiedlichen NEH-Standards erreichen.

(Bild 3.1-1) zeigt, inwieweit die untersuchten NEH in ihrer geplanten Ausführung die DT-Vorgabe für den spezifischen Wärmeleistungsbedarf (WLB) von maximal 40 W/m² erreichen. Alle Gebäude unterschreiten diesen Maximalwert, nur für Objekte 3, 19 und 27 lagen bis zum Abschluß des Forschungsprojektes noch keine verwertbaren Angaben vor. Einige Ein- und Zweifamilienhäuser unterschreiten die Vorgabe

(1) Die einzelnen Anforderungen des DT-NEH-Standards sind in Bild 1.2-2 auf Seite 1.2-2 dargestellt.

(2) Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz (Wärmeschutzverordnung) vom 16.08.1994 in: BGBl 1994, Teil I, Nr.55 vom 24.08.94, S.2121-2132.

(3) Vgl.: Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt und Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (Hrsg.): Energie im Hochbau. Energiebewußte Gebäudeplanung, 3.Auflage, Wiesbaden Mai 1992.

sogar um bis zu 25 Prozent. Dies kommt daher, daß der Detmolder NEH-Standard zusätzlich zum maximalen spezifischen Wärmeleistungsbedarf auch für einzelne Bauteile maximale k-Werte vorgibt, die einzuhalten wa-ren, selbst wenn der geforderte WLB auch mit höheren (schlechteren) k-Werten erreichbar gewesen wäre. Die hohe Unterschreitung der 40 W/m²-Zielvorgabe für den WLB zeigt jedoch auch, daß trotz häufigem Lamento über Kosten eine wirkliche Kosten-Optimierung in vielen Fällen gar nicht erfolgte. Diese hätte darin bestehen können, daß die bei Einhaltung der WLB-Vorgabe zulässigen Überschreitungen der Bauteil-Einzel-k-Werte von maximal 10 % stärker ausgenutzt worden wäre.

Die hohe Übererfüllung der WLB-Vorgabe einzelner EFH ist allerdings auch durch die im DT-Standard enthaltenen Vorgaben zur Lüftung bedingt. Bei der Berechnung des Lüftungswärmeverlusts durfte in Gebäuden mit mehr als 40 m² beheizter Wohn- und Nutzfläche pro Bewohner eine Luftwechselrate (LWR) von 0,3 1/h in der Energiebilanz einbezogen werden, in Gebäuden mit 30-40 m²/Kopf mußte dagegen eine LWR von 0,5 1/h und bei Gebäuden mit unter 30 m²/Kopf eine von 0,8 1/h einbezogen werden. Die Objekte 13, 14 17 und 23 haben beispielsweise alle über 40 m² Wohnfläche pro Nutzer, damit geringere anrechenbare Lüftungswärmeverluste und unterschreiten die geforderten 40 W/m² deutlich. EFH-Objekt 18 hat dagegen unter 30 m² beheizter Wohn- und Nutzfläche pro Kopf, deshalb eine LWR von 0,8 1/h und erreicht die 40 W/m² nur knapp.

Bei den Mehrfamilienhäusern (1-6 und 27-33) fand dagegen in allen Fällen eine energetische Optimierung statt, da die Anforderungen des DT-Standards hier schwerer zu erfüllen sind. Dies ist Folge der bei MFH fast immer anzusetzenden hohen Luftwechselrate von 0,8 1/h und der häufig großen thermischen Trennflächen zum unbeheizten Treppenhaus. Objekte 1, 4, und 31-33 halten z.B. trotz sehr niedriger Bauteil-k-Werte die WLB-Vorgabe nur knapp ein. Objekte 2, 5, 29, und 30 wurden nach der ersten Energiebilanz nochmals umgeplant, indem eine Beheizung der Treppenhäuser mit über WRG gewonnener Abluftwärme aus den Wohnungen realisiert wurde. Sie weisen zudem teils in Einzelwohnungen mehr als 30 m² Wohnfläche pro Nutzer auf und können daher geringere Luftwechselraten einbeziehen.

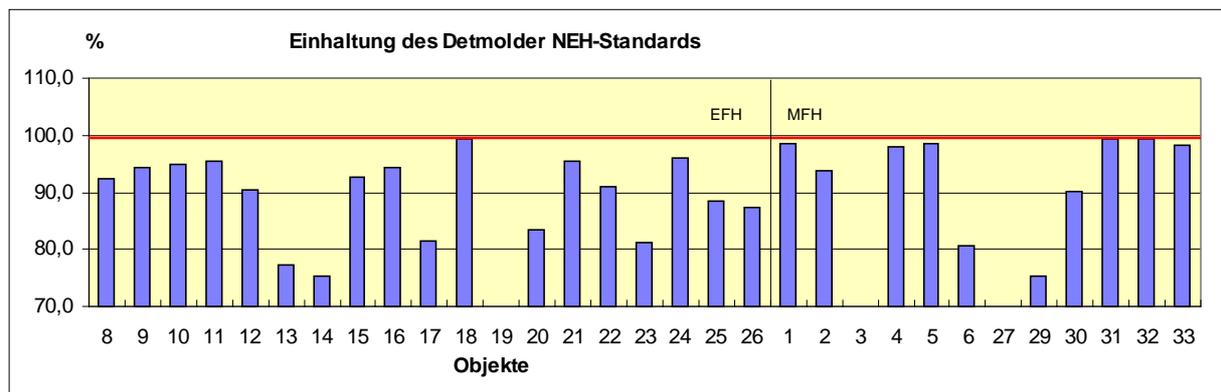


Bild 3.1- 1: Einhaltung des Detmolder NEH-Standards im Untersuchungsgebiet.

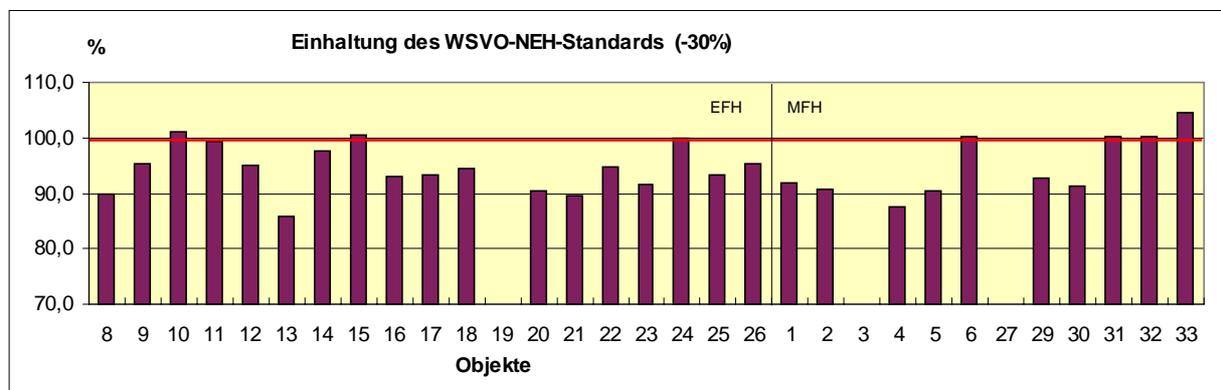


Bild 3.1- 2: Einhaltung des "30% unter WSV0"-Standards im Untersuchungsgebiet.

(Bild 3.1-2) zeigt die Einhaltung des NEH-Standards "30 % unter WSV0", den bis auf sechs Objekte alle einhalten. Sehr niedrige Werte erreichen das EFH 13, das eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung hat und das MFH 4 mit sehr gutem A/V-Verhältnis, niedrigen k-Werten und den am besten wärmedämmenden Fenstern im ganzen Baugebiet. Nicht erreicht wird der "30% unter WSV0"-Standard von

den EFH 10, 15 und 24 und den MFH 31, 32 und 33. Bei den MFH wirken sich hier teils sehr große thermischen Trenn-flächen zu unbeheizten Treppenhäusern und überhohe Lufträume in Dachgeschossen verschlechternd aus. Insgesamt wird die "30% unter WSVO"-Vorgabe gut eingehalten, obwohl die Objekte nicht auf die Einhaltung dieses Standards hin optimiert wurden.

(Bild 3.1-3) zeigt die Einhaltung des Hessischen NEH-Standards, den nur zehn Objekte 8, 13, 15, 18, 20, 23, 25, 2, 5 und 30 einhalten. Dies sind sämtlich besonders kompakte Gebäude, davon eines (13) mit Lüftungsanlage mit WRG. Im Vergleich mit den vorigen Bildern ist erkennbar, daß der Hessische NEH-Standard die strengsten Anforderungen der drei NEH-Standards stellt. Die EFH überschreiten die hessische Vorgabe im Durchschnitt um acht Prozent, die MFH durchschnittlich um 14 Prozent. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß beim hessischen Standard der Vorgabewert für MFH um 21 Prozent höher liegt als für EFH und insofern auch schwieriger einzuhalten ist.

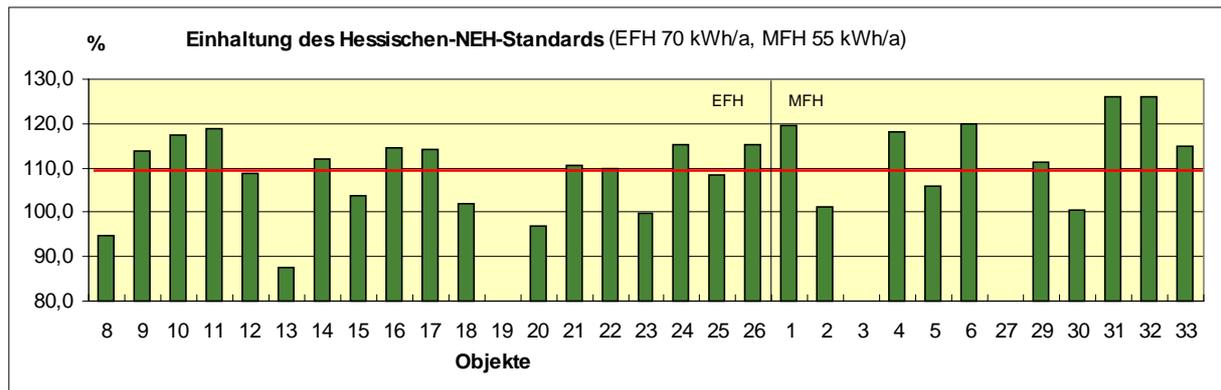


Bild 3.1- 3: Einhaltung des HES-NEH-Standards im Untersuchungsgebiet.

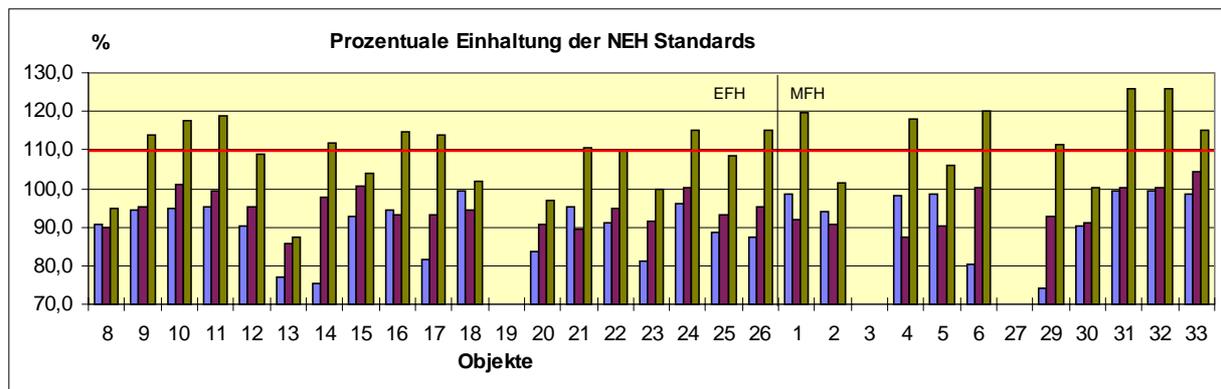


Bild 3.1- 4: Einhaltung der drei NEH-Standards DT (blaue Balken), "30 % unter WSVO" (rote Balken) und HES (grüne Balken) im Vergleich.

(Bild 3.1- 4) zeigt die Einhaltung der drei NEH-Standards durch die untersuchten NEH im Vergleich. Es ist erkennbar, daß die einzelnen NEH durch individuelle Besonderheiten in unterschiedlicher Weise von den jeweiligen 100%-Werten der Standards abweichen. Während im Regelfall trotz gutem Erreichen des Detmolder NEH-Standards und des "30% unter WSVO"-Standards die NEH-Zielwerte des Hessischen Energiekennzahlverfahrens noch verfehlt werden, gibt es auch Objekte, bei denen die Abweichungen zwischen den Standards nur gering sind, so etwa die EFH 8 und 18 und die MFH 2 und 5. Auf die Gebäudeeigenschaften und inneren Verzerrungen der jeweiligen Rechenverfahren, die diese zunächst irritierenden Effekte hervorbringen, wird in Abschnitt 3.2 detailliert eingegangen.

3.2. Methodenfragen verschiedener Rechenverfahren

Zwischen den drei Nachweisverfahren für den NEH-Standard DT, HES und WSVO (vgl. Kap.3.1) bestehen eine Vielzahl methodischer Unterschiede, deren Effekte bekannt sein sollten, wenn man ihre jeweiligen numerischen Ergebnisse bewerten oder miteinander vergleichen will. Im folgenden sind die wichtigsten methodischen Unterschiede dargestellt und ihre Auswirkungen anhand der untersuchten NEH erläutert.

Ein erster Unterschied liegt in der Abgrenzung und Ermittlung der Fläche, auf die die Energiebedarfs- oder Verbrauchswerte bezogen werden. DT und HES verwenden als Bezugsfläche die tatsächliche beheizte Wohn- und Nutzfläche innerhalb der beheizten Gebäudehülle. Im WSVO-Rechengang beziehen sich dagegen die Energiewerte auf eine fiktive "Gebäudenutzfläche", die als das 0,32-fache des Außenvolumens definiert ist. Sie weicht bei den untersuchten NEH teils erheblich von der tatsächlichen beheizten Wohn- und Nutzflächen ab. (Bild 3.2-1) und (Bild 3.2-2) zeigen die bei den untersuchten NEH aufgetretenen Abweichungen der fiktiven WSVO-Gebäudenutzfläche von der realen beheizten Wohn- und Nutzfläche in absoluten Höhen und in Prozent.

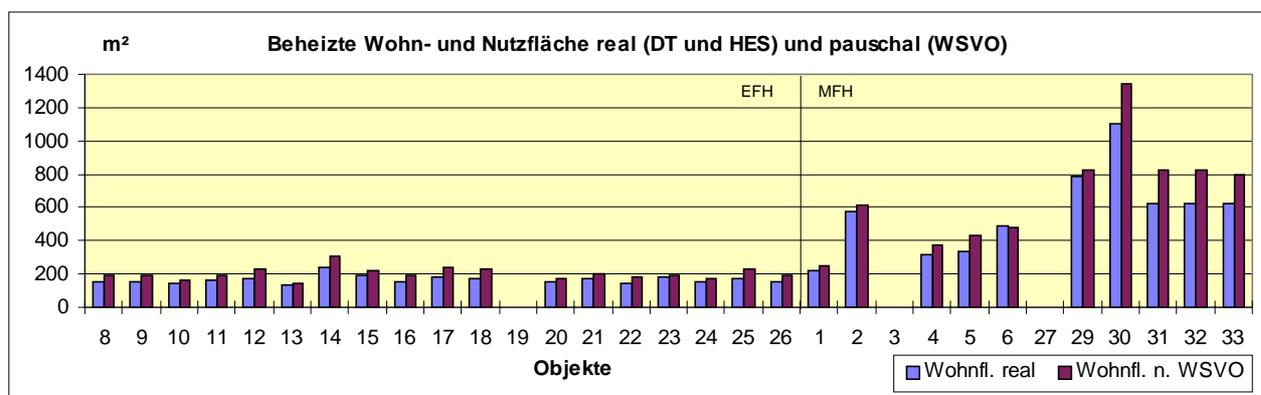


Bild 3.2- 1: Reale Wohn- und Energiebezugsfläche nach DT und HES Rechengang (blaue Balken) und pauschal ermittelte Wohnfläche nach WSVO (rote Balken) in Quadratmetern.

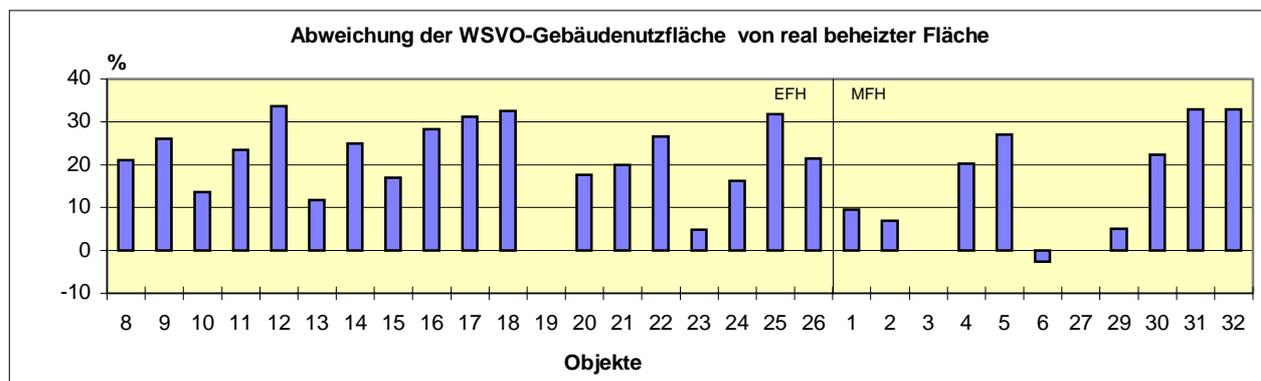


Bild 3.2- 2: Überhöhung der Wohn- und Energiebezugsfläche im WSVO-Rechengang in Prozent.

Die Überhöhung der Wohn und Energiebezugsfläche durch den WSVO-Rechengang beträgt bei den untersuchten EFH zwischen +4,8 und +33,6 %, bei den MFH zwischen -2,16 und +32,9 %, im Mittel aller Gebäude +20,9 Prozent. Sie bewirkt rechnerisch vor allem drei Effekte: erstens wird die absolute Höhe des WSVO-Heizwärmebedarfs (Watt) auf zuviel Fläche (m²) umgelegt, der flächenbezogene Zielwert (Watt/m²) wird dadurch nach unten verfälscht; zweitens werden anhand der zu hohen fiktiven Fläche die pro m² Gebäudenutzfläche ermittelten inneren Wärmegewinne nach oben verfälscht; drittens ist der berechnete Wert nicht mit den für Gebäudekauf, Miete und Heizkostenabrechnung wichtigen Flächen kompatibel, die nach 2.Berechnungsverordnung ähnlich DT und HES errechnet werden und erschwert dadurch die spätere Erfolgskontrolle des Energieverbrauchs. Bei einer Novellierung der WSVO sollte daher künftig auch auf die realen beheizten Flächen Bezug genommen werden.

Ein zweiter Unterscheid besteht in der **Berechnung der inneren Luftvolumina**, die für den Lüftungswärmebedarf erheblich sind. DT ermittelt das innere Luftvolumen anhand der realen Grundflächen und Raumhöhen der einzelnen beheizten Räume, HES anhand der weitgehend damit identischen Energiebezugsflächen und deren realen Raumhöhen. WSVO bezieht dagegen in die Energiebilanz ein aus dem 0,8-fachen des Gebäudeaußenvolumens abgeleitetes fiktives Innenvolumen ein. (Bilder 3.2-3 und 3.2-4) zeigen die Unterschiede zwischen den realen Gebäudevolumina von DT und HES und dem fiktiven "anrechenbaren Luftvolumen" der WSVO der untersuchten NEH in absoluter und prozentualer Höhe.

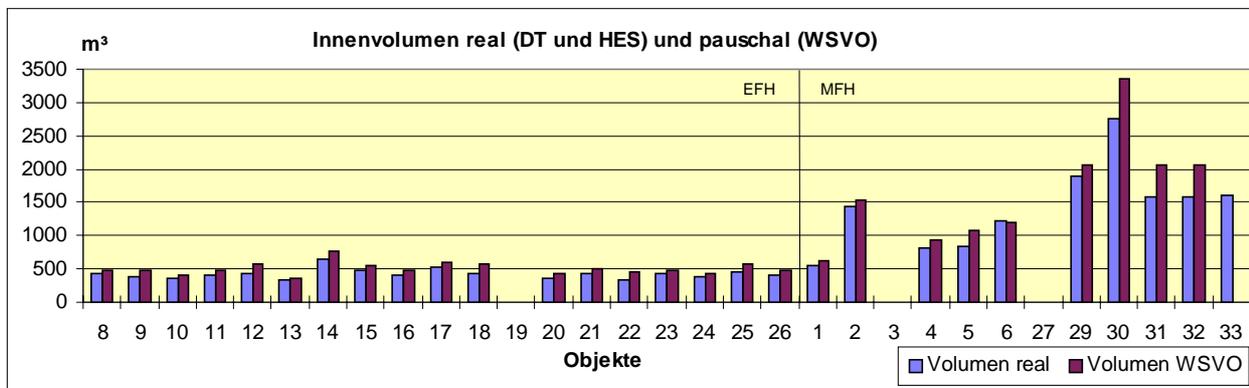


Bild 3.2- 3: Absolute Unterschiede zwischen realen Gebäudeinnenvolumina nach DT und HES-Rechengang und pauschal ermittelten Gebäudeinnenvolumina nach WSVO in Kubikmetern.

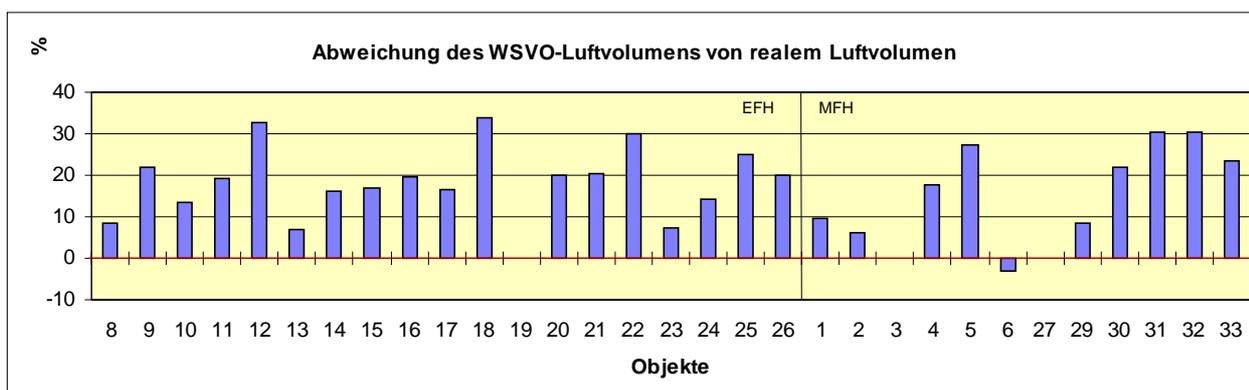


Bild 3.2- 4: Überhöhung des pauschal ermittelten Gebäudeinnenvolumens laut WSVO in Prozent.

Die Überhöhung des anrechenbaren Luftvolumens im WSVO-Rechengang beträgt bei den untersuchten EFH zwischen +6 und +33 Prozent, bei den MFH zwischen -3 und +30,2, im Durchschnitt aller NEH +18,4 Prozent. Dies zeigt deutlich, daß der Faktor 0,8, mit dem WSVO vom realen Außen- auf anrechenbares Innenvolumen zurückrechnet, die bei NEH größeren Differenzvolumina der thermisch trennenden Gebäudehülle nicht angemessen berücksichtigt; inwieweit er bei normal stark gedämmten Häusern zutrifft, sei dahingestellt. Dieser Fehlfaktor wirkt sich besonders bei nach DT-Standard gebauten NEH stark aus, da hier infolge der bindenden k-Wert-Vorgaben für die gesamte Hüllfläche nicht nur die großen Flächen wie Außenwand, Dach oder Kellerdecke, sondern auch die kleineren Hüllflächen-Teile wie Gaubenseitenwände, Erkerdecken und thermische Trennwände im Keller relativ dick isoliert werden müssen. In der WSVO-Energiebilanz wirkt sich das überhöhte Luftvolumen direkt und linear auf die Höhe der Lüftungswärmeverluste und infolgedessen auf die Überhöhung des Heizwärmebedarfs aus.

Ein dritter Unterschied zwischen den drei NEH-Rechenverfahren liegt in der **Luftwechselrate (LWR)**, die neben dem Luftvolumen in die Berechnung des Lüftungswärmebedarfs einfließt. Bei DT ist die LWR an die Bewohnerdichte angepaßt. Stehen über 40 m² beheizte Wohn- und Nutzfläche pro Kopf zur Verfügung, ist eine LWR von nur 0,3 1/h in die Energiebilanz einzurechnen, bei 30-40 m²/Kopf sind es 0,5 1/h und unter 30 m²/Kopf 0,8 1/h. Das hessische Energiekennzahlverfahren unterscheidet nach Gebäudetyp. Bei EFH ist eine LWR von 0,5 1/h und bei MFH eine von 0,6 1/h anzurechnen. Im WSVO-Rechengang sind es ungeachtet der Bewohnerdichte und der Gebäudeart stets 0,8 1/h. (Bild 3.2-5) zeigt die nach den drei NEH-Standards jeweils anzusetzenden Luftwechselraten der untersuchten NEH. Es ist erkennbar, daß starke Abweichungen vor allem bei kleinen Gebäuden vorkommen, da in diesen häufig mehr qm Wohnfläche/Kopf verfügbar ist als beim Mietwohnungsbau. Während insofern die Unangemessenheit der einheitlichen

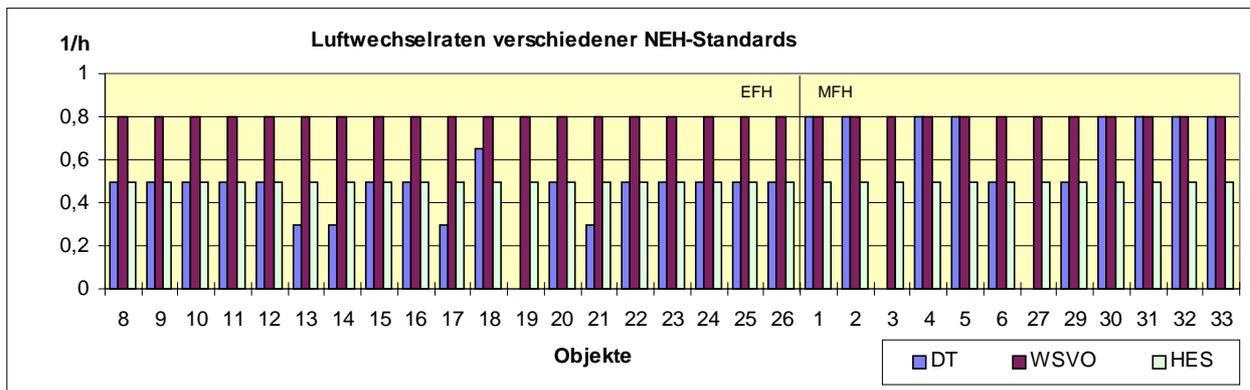


Bild 3.2- 5: Unterschiedliche individuelle Luftwechselraten bei verschiedenen NEH-Standards.

WSVO-Vorgabe einer LWR von stets 0,8 1/h offensichtlich ist, ist zugleich die Frage der individuell angemessenen LWR schwierig, da sie streng gesehen keine Gebäudeeigenschaft, sondern ein Merkmal seiner Nutzung, also der Anzahl seiner aktuellen Bewohner ist.

Ein vierter Unterschied liegt in der Würdigung der energetischen **Effekte kontrollierter mechanischer Wohnungslüftungsanlagen** mit oder ohne Wärmerückgewinnung. Der DT-NEH-Standard verlangt in der hier angewandten Fassung generell eine mechanische Be- und Entlüftung aller Aufenthaltsräume. Er gewährt aber zugleich keinen energetischen Bonus hierfür in der Energiebilanz. Im Hessischen Energiekennzahlverfahren und beim WSVO-Rechengang werden dagegen keine mechanischen Lüftungsanlagen verlangt, im Falle ihres Einbaus werden aber in der Energiebilanz je nach Ausführung mit oder ohne WRG unterschiedliche Boni gewährt. Insgesamt wirken sich die unterschiedlichen anzusetzenden Luftwechselraten und anlagentechnischen Boni stark auf die absolute Höhe und auf den Anteil der Lüftungswärmeverluste an den gesamten Wärmeverlusten aus. Die sich bei den drei Standards ergebenden Anteile der Lüftungswärmeverluste an den gesamten Wärmeverlusten zeigt (Bild 3.2-6).

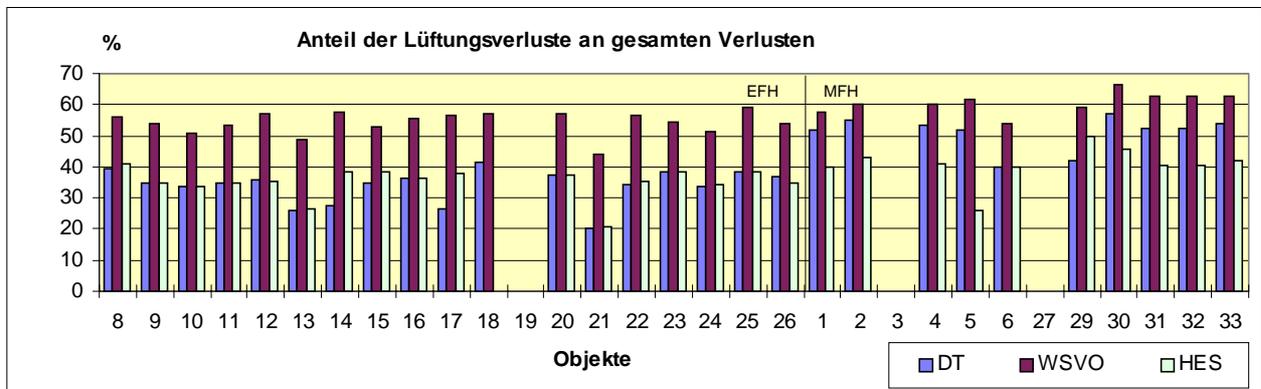


Bild 3.2- 6: Anteile der Lüftungswärmeverluste an den gesamten Wärmeverlusten von NEH bei drei verschiedenen NEH-Standards.

(Bild 3.2-6) zeigt, daß die Anteile des Lüftungswärmebedarfes an den gesamten Verlusten stark differieren. Bei den Ein- und Zweifamilienhäusern (Objekte 8-26) wirken sich die unterschiedlichen Luftwechselraten und das überhöhte WSVO-Lüftungsvolumen aus. Bei Objekten die sowohl in DT als auch HES mit 0,5-facher LWR berechnet werden (Nr. 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 6 und 29) sind die Werte annähernd gleich. Insgesamt machten die Lüftungswärmeverluste bei DT-EFH zwischen 20 und 41, im Mittel 33 Prozent der gesamten Wärmeverluste aus, bei HES-EFH waren es im Mittel 35 %, bei WSVO-EFH dagegen zwischen 44 und 57, im Mittel 54,3 Prozent. Der Anteil der Lüftungswärmeverluste an den gesamten Verlusten liegt bei WSVO-EFH damit im Vergleich über 15 Prozent höher als bei EFH, die nach den anderen Rechenverfahren berechnet wurden. Bei MFH ist der Unterschied geringer, da hier auch bei DT oft eine LWR von 0,8 1/h anzusetzen war und sich lediglich das überhöhte WSVO-Volumen auswirkt. Die HES-MFH haben hier wegen der nur mit 0,6 1/h angesetzten LWR die niedrigsten Werte.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Würdigung von WRG-Anlagen bei Objekten 13 und 21 fallen demgegenüber weniger auf. Der HES-WRG-Bonus kompensiert hier gerade die etwas höhere HES-LWR und führt zu vergleichbaren Werten wie DT. Die WSVO-Werte bleiben trotz Bonus am höchsten.

Ein fünfter Unterschied zwischen den NEH-Rechenverfahren liegt in der Einbeziehung und Bemessung der **solaren und inneren Wärmegewinne**. DT berücksichtigt diese Faktoren gar nicht, da der DT-Zielwert "Wärmeleistungsbedarf" in Anlehnung an DIN 4701 nicht den statischen Jahresverbrauch, sondern den Momentverbrauch zum Auslegungszeitpunkt (Winternacht mit -12°C) ermittelt. In HES und WSVO werden diese Gewinne dagegen mit stark voneinander abweichenden Faktoren einbezogen. Die Ursachen der Abweichungen zwischen WSVO und HES können hier nicht in einzelnen erläutert werden; sie haben nur teilweise eine naturwissenschaftliche Begründung. Die unterschiedliche Höhe der bei WSVO und HES anrechenbaren solaren und inneren Wärmegewinne der untersuchten NEH zeigt Bild (3.2-7).

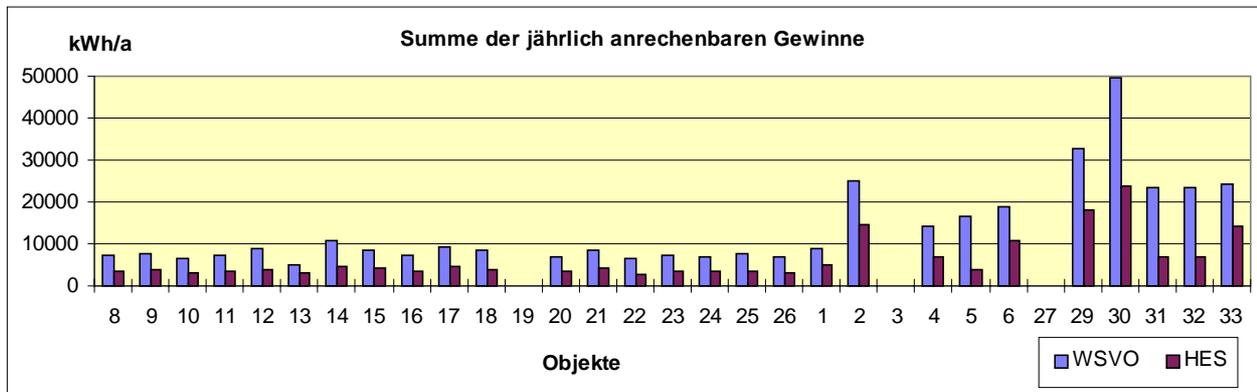


Bild 3.2- 7: Summe der inneren und solaren Wärmegewinne nach WSVO und HES in kWh/a.

Aus (Bild 3.2-7) ist erkennbar, daß die anrechenbaren solaren und inneren Wärmegewinne im WSVO-Rechengang etwa doppelt so hoch angesetzt sind wie im Hessischen Energiekennzahlverfahren. Dies bewirkt vor allem der deutlich höheren Faktor für innere Wärmequellen der WSVO ($25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) gegenüber HES ($8\text{-}10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) in Verbindung mit der bei WSVO überhöhten Energiebezugsfläche, anhand der dieser Gewinn berechnet wird, sowie die höheren Annahmen bei den solaren Strahlungswerten.

Diese Unterschiede zwischen WSVO und HES bei der Berechnung der Wärmegewinne spielten für die Planung und energetische Optimierung der untersuchten NEH keine Rolle, da im Untersuchungsgebiet ausschließlich der DT-NEH-Standard maßgeblich war, der derartige Gewinne gar nicht einbezieht. Die Nicht-Einbeziehung solarer Gewinne bewirkt jedoch, daß für die (rechnerische) solare oder energetische Optimierung eines NEH in der Energiebilanz Fenster eine andere Bedeutung haben als bei NEH, die nach WSVO oder HES-Verfahren optimiert werden. Wegen ihres relativ hohen k-Werts bewirken Fenster bei DT unabhängig von ihrer Ausrichtung stets nur hohe Wärmeverluste. Der DT-Zielwert für den WLB von 40 W/m^2 läßt sich daher oft nur mit sehr guten Verglasungen und Beschränkung auf "normale" Fenstergrößen erreichen. Passiv-solar orientierte übergroße Südverglasungen bringen dagegen rechnerische Nachteile. Den Einfluß der Einbeziehung solarer Wärmegewinne auf den Transmissionswärmeverlust bei verschiedenen Fenstertypen und Rechengängen zeigt (Bild 3.2-8). Auf der x-Achse sind sechs verschiedene Fen-

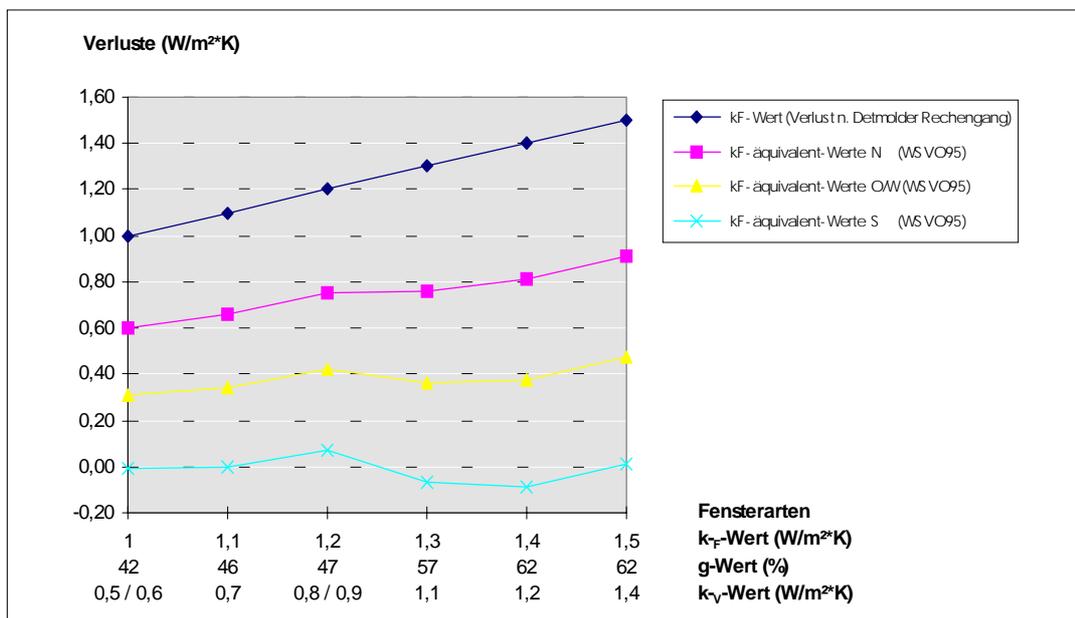


Bild 3.2- 8:

Verluste unterschiedlicher Fenster nach Detmolder NEH-Standard und WSVO 95 Rechengang

sterqualitäten mit ihren k_F , k_V - und g -Werten dargestellt, auf der y-Achse die DT-Fenster-k-Werte (dunkelblaue Linie) sowie die WSWO- $k_{\text{äquivalent}}$ -Werte bei verschiedenen Fensterausrichtungen (pinkfarbene, gelbe und türkise Linien). Während nach Detmolder Rechengang Gläser mit höheren k-Werten stets proportional höhere Verluste mit sich bringen, also wärmetechnische Verbesserungen von Fenstern nur durch möglichst kleine k-Werte erreichbar sind, ergeben sich Optima nach WSWO-Rechengang teils bei andern Gläsern. Bei Südfenstern hat z.B. das Glas mit dem Wertepaar von $k_V=1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $g=62 \%$ den niedrigsten $k_{\text{äquivalent}}$ -Wert. Bei Ost- und Westfenstern liegt das preiswerte Zweischeiben-Glas mit $k_V=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $g=57 \%$ immerhin fast so gut wie die extrem teuren Dreifachverglasungen mit k_V -Werten von 0,5 bis 0,7 $\text{W/m}^2\text{K}$. Das WSWO-Optimum jeder anderen Himmelsrichtung als Nord ist also nur unter Einbeziehung sowohl der k- als auch der g-Werte ermittelbar, was sorgfältige Lektüre der Glashersteller-Kataloge erfordert.

(Bild 3.2-8) zeigt allerdings auch, daß auch bei WSWO-Rechengang alle nicht südorientierten Fenster trotz solarer Wärmegevinne $k_{\text{äquivalent}}$ -Werte deutlich oberhalb 0,2 $\text{W/m}^2\text{K}$ aufweisen, also zu höheren Wärmeverlusten führen als Außenwände, die nach Detmolder NEH-Standard gebaut sind (vgl. Kapitel 4.4). Der vom DT-Rechengang ausgehende Optimierungsdrang "Sowenig Fenster wie möglich" ist bei Nord-, West- und Ostfenstern also auch bei einer WSWO-Optimierung grundsätzlich richtig, selbst wenn der energetische Nachteil der Fenster gegenüber sehr gut gedämmten Außenwänden hier kleiner als beim Detmolder Rechengang ist.

Insgesamt wenden die beiden Rechenverfahren **WSVO** und **HES** zwar eine vergleichbare Rechenmethodik an, indem sie die gleiche Arten von Wärmeverlusten und Wärmegevinnen einbilanzieren und ihre Kenngrößen in gleicher Einheit ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) deklarieren. Infolge des Einflusses unterschiedlicher innerer Rechenparameter führen sie aber insgesamt zu quantitativ stark abweichenden und nicht miteinander vergleichbaren Ergebnissen, wie (Bild 3.2-9) zeigt. Der **WSVO-Rechengang** berechnet bei den untersuchten NEH den Heizwärmebedarf im Durchschnitt um **25 Prozent niedriger** als das hessische Energiekennzahlverfahren.

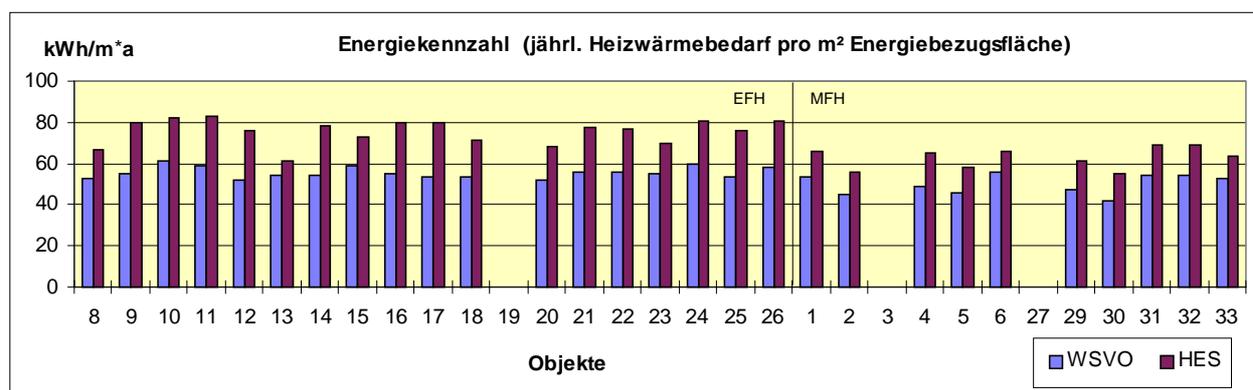


Bild 3.2- 9: Vergleich von Heizwärmebedarf nach WSWO und Energiekennzahl nach HES.

Die gezeigten Unterschiede der numerischen Ergebnisse verschiedener NEH-Rechenverfahren sind dabei aber nur ein methodischer Teilaspekt. Für Vergleiche bautechnisch-energetischer Qualitäten kommt es weniger auf absolute Zahlenergebnisse bestimmter Rechengänge an als vielmehr darauf, ob eine bestimmte prozentuale Unterschreitung eines SOLL-Werts eine gleichhohe Energieeinsparung erwarten läßt. Insofern sei hier abschließend dargestellt, inwieweit die untersuchten Objekte die jeweiligen Standards der drei NEH-Rechenverfahren gleichartig oder unterschiedlich erreichen oder aber verfehlen. (Bild 3.2-10) zeigt diese Werte anhand einer 100%-Linie. Diese bedeutet beim DT-NEH-Standard die Höhe des Wärmeleistungsbedarfs von 40 W/m^2 , beim WSWO-Rechengang die Unterschreitung der Grenzwerte für den jeweiligen spezifischen Heizwärmebedarf Q''_H um 30 % und beim HES-Standard das Erreichen einer Energiekennzahl Heizwärme von 70 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ bei Einfamilienhäusern und Doppelhaushälften bzw. von 55 $\text{kWh/m}^2\text{a}$ bei Mehrfamilienhäusern. Der Vergleich der NEH-Zielerreichung zeigt, daß der im Untersuchungsgebiet vorgegebene DT-Zielwert von den untersuchten NEH nicht nur stets erreicht, sondern teils sogar deutlich unterboten wurde (z.B. Objekte 13, 14, 20, 23, 6 und 29). Der WSWO-Zielwert (-30%) wurde in mehreren Fällen nicht erreicht, aber mehrfach um teilweise mehr als 10 Prozent unterboten. Der HES-Zielwert wurde dagegen nur von vier EF-NEH erreicht oder unterboten (und von einem MFH fast erreicht), jedoch von 22 Objekten um 10-20 Prozent, in zwei Fällen sogar noch stärker verfehlt. Diese unterschiedlichen Gesamtergebnisse verdeutlichen besonders anschaulich, daß die Vorgabe bzw. Wahl der energeti-

schen Berechnungsmethode erheblichen Einfluß darauf hat, ob NEH mit bestimmten baulichen Eigenschaften und Nutzungen die Ziele der jeweiligen "NEH-Standards" eher leicht oder nur schwer erfüllen können.

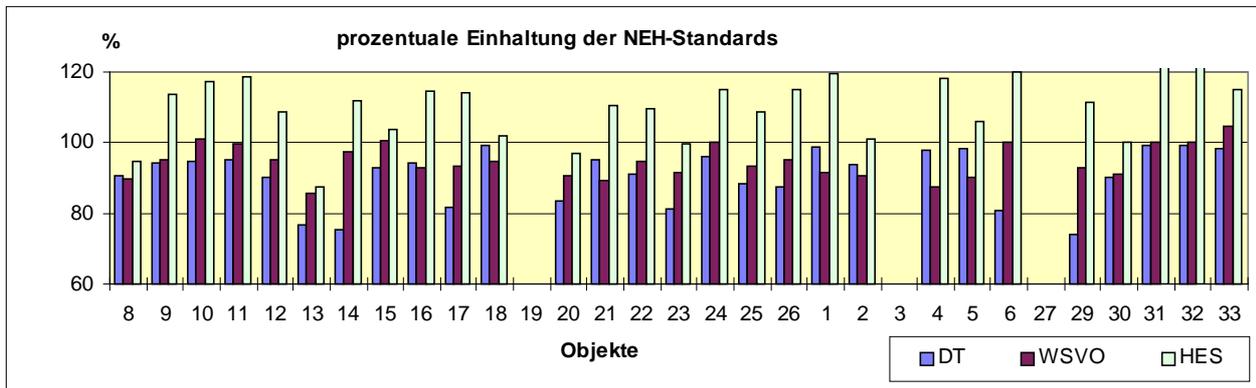


Bild 3.2- 10: Einhaltung verschiedener NEH-Standards im Vergleich.

3.3. Praktische Probleme der Nachweisführung

Im Untersuchungsgebiet war für alle Bauvorhaben die Einhaltung des Detmolder NEH-Standards vertraglich vorgegeben. Inhalte, Art und Fristen der Nachweisführung waren in Anlage 4 zum den Grundstückskaufverträgen detailliert beschrieben (vgl. Kap.1.2). Der dem NEI zugleich mit der Vorlage des Bauantrags zu erbringende Nachweis sollte vereinfacht folgendes umfassen:

- einen Lageplan mit Nordpfeil,
- bemaßte Grundrißpläne und Schitte mit eingezeichnetem Verlauf der thermisch trennenden Gebäudehülle und der luftdichtenden Ebenen,
- nachvollziehbare Flächen-, Volumen-, und k-Wert-Berechnungen mit Materialbeschreibungen,
- eine Energiebilanz nach vereinfachtem Hüllflächenverfahren, welches die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste zum Auslegungszeitpunkt (-12°C) ermittelt und deren Summe auf die beheizte Wohn- und Nutzfläche umlegt; hierbei war die Einhaltung des Zielwertes für den WLB von $\leq 40 \text{ W/m}^2$ nachzuweisen,
- Detailzeichnungen betreffend Wärmebrückenvermeidung,
- ein Lüftungsgrobkonzept sowie
- Anlagen zur geplanten Heizungs- und Sanitärinstallation.

Die Prüfung der Nachweise oblag dem NEI. Das NEI konnte dabei schon im Vorfeld von Bauleuten und ihren Planern kostenlos zu Beratungszwecken in Anspruch genommen werden. Damit bestand die Möglichkeit, sich schon im Vorfeld planerischer Einzelentscheidungen über deren Zulässigkeit im Sinne der NEH-Vorgaben zu informieren und gegebenenfalls Alternativen zu diskutieren.

Für den Fall der Nichteinhaltung der Auflagen war jeweils eine pauschale zivilrechtliche Vertragsstrafe vorgesehen. Nicht geregelt war jedoch, was bei unvollständiger oder verspäteter Vorlage der Nachweise oder bei geringfügiger Verfehlung einzelner Zielwerte (z.B. k-Werte) passieren sollte. Das potentiell wirksamste Mittel für die rechtzeitige Fertigstellung und Vorlage der Planung, nämlich die Zurückstellung der Baugenehmigung, war ausdrücklich von der Stadt Werther nicht gewünscht worden. Das öffentlich-rechtliche Baugenehmigungsverfahren sollte vielmehr ausdrücklich vom zivilrechtlichen Prüfverfahren der Vertragserfüllung getrennt bleiben. Der Mangel an Sanktionsmöglichkeiten für unvollständige oder verspätete Planungen erwies sich im Nachhinein als wesentliches Hemmnis für die Qualitätssicherung.

Grundsätzliche und beispielhafte Probleme bei der Nachweisführung und **Prüfung der numerischen Zielwerte** (k-Werte und Energiebilanz) und bei der Prüfung der qualitativen Zielvorgaben (Wärmebrücken, Luftdichtheit, Heizung und Lüftung etc.) sind nachfolgend dargelegt:

- Bei einer Vielzahl von Objekten wurde die energetische **Planung nicht vor Baubeginn abgeschlossen** und vorgelegt; dadurch konnten deren Mängel erst anhand der mangelhaften Ausführung erkannt und nur noch mit überhöhtem Aufwand oder gar nicht mehr nachgebessert werden. Der vermeintliche Vorteil, sich Planungsaufwand sparen zu können, erwies sich dann meist als Nachteil.
- Eine **Energiebilanz** wurde für zwanzig der 30 Bauten (66 %) im Untersuchungsgebiet **erst in der Bauphase vorgelegt**. Für zehn Objekte wurde statt des vorgegebenen Nachweisverfahrens nur die Berechnung nach Bauteilverfahren der WSV0 82 oder 95 vorgelegt. In einigen Fällen wurde nach mehrmaligem Anmahnen bei bereits fortgeschrittenem Bauzustand die vom NEI zur Prüfung erstellten Bilanzen nachträglich zur bauseitigen Planungsgrundlage umdefiniert und auf eine bauseitige Energiebilanzierung völlig verzichtet.
- In vielen Fällen wurden Baupläne, Ausschreibungen, Detailzeichnungen und **Energiebilanzen von verschiedenen Büros** oder teils vom Bauherrn selbst erstellt und die in den jeweiligen Unterlagen enthaltenen Angaben wiesen erhebliche Unterschiede auf. Die Verfasser der Energiebilanz planten z.B. möglichst leichte warme Ziegel mit Leichtmauermörtel ein, der Statiker korrigierte später diese Annahme wegen zu geringer Tragfähigkeit auf Steine höherer Rohdichte und der Rohbauunternehmer bemühte sich schließlich, die preiswertesten Steine zu verwenden, die mit der meist ungenauen Auftragsformulierung gerade noch gemeint sein konnten ("Uniporoton oder vergleichbar") und verwendete Zement- statt Leichtmauermörtel. Trotz häufiger Rückfragen wurde kein exakter Planungszustand gegenüber dem baubegleitenden Büro festgesetzt und die Baubeteiligten waren sich über solche Abweichungen vermutlich selbst nicht im Klaren.

- In den Flächenberechnungen und Energiebilanzen war die **Größe der thermisch trennenden Hüllflächen häufig fehlerhaft** berechnet und zwar unabhängig davon, ob ihr Verfasser Architekt, Fachplaner, Statiker oder Laie war. So wurden mehrfach die Innen- statt der Außenmaße der thermischen Trennflächen zugrundegelegt und verschiedene Hüllflächen überhaupt nicht in die Bilanz einbezogen, obwohl diese Faktoren entsprechend aller gängiger Energiebilanzverfahren unstrittig Teil der thermischen Hüllfläche sind. (Bild 3.3-1) zeigt die Häufigkeit, mit der bestimmte Teile der Gebäudehülle in der Flächenberechnung der Energiebilanz "vergessen" wurden, (Bild 3.3-2) zeigt die Art der Fehler, die bei den einzelnen untersuchten NEH und deren Teilflächen vorkamen.

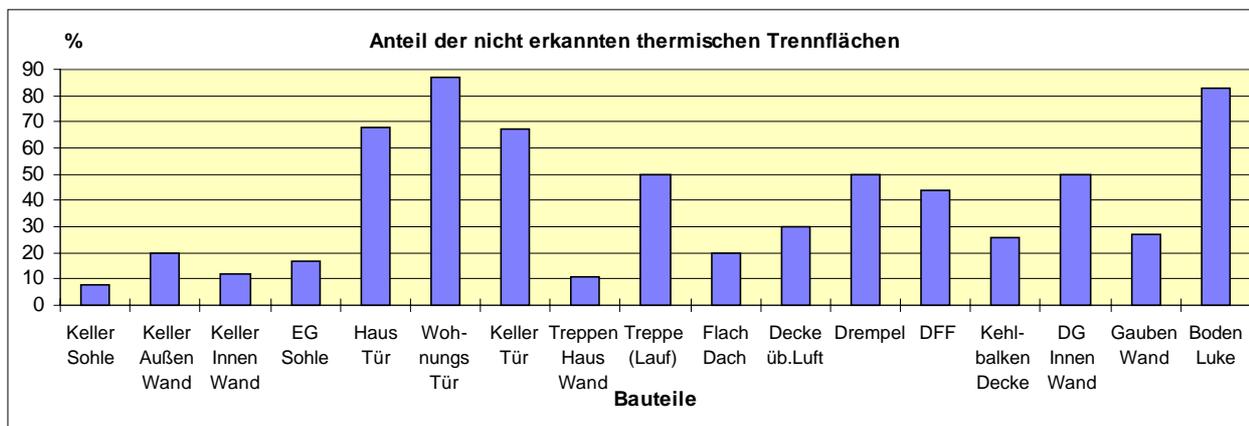


Bild 3.3- 1: Häufigkeit nicht erkannter thermischer Trennflächen.

Auffällig an (Bild 3.3-1) ist, daß Bauteile, bei denen die k-Werte des DT-NEH-Standards schwer einzuhalten sind, wie z.B. Haustüren, Dachflächenfenster (DFF) und Bodenluken in den Energiebilanzen prozentual häufiger fehlten. Weiterhin fehlten häufig solche, bei denen man vielleicht übersieht, daß sie thermisch trennen, wie Kellertüren, Wohnungstüren, Drempelwände oder DG-Innenwände. Sehr kleine Bauteile wie EG-Sohlplatten, Treppenläufe, Flachdächer oder Gaubenwände wurden ebenfalls häufiger vergessen.

- Bei mehreren Gebäuden war die **Abgrenzung der thermischen Hüllfläche nicht durchdacht** oder wurde während der Bauvorbereitung oder sogar während des Baus verändert. So wurden ehemals beheizte Keller, Treppenabgänge oder Dachräume zu unbeheizten oder unbeheizte zu beheizten und verschoben sich Türen längs der Flure. Auch die Zahl und Größe der Fenster änderte sich bei mehreren NEH mehrfach bis kurz vor Fertigstellung, was sich in den DT-Energiebilanzen stark bemerkbar macht.
- Vielfältig waren die **Fehler bei den k-Wert-Berechnungen**. Deren Berechnungsweise gehört seit Jahrzehnten zur Grundausbildung von Architekten, Heizungsplanern und Statikern. Sie ist unabhängig von den einzelnen Energiebilanzverfahren. Dennoch wurde häufig mit nicht lieferbaren Materialien gerechnet, unzutreffende Wärmeübergangswiderstände angenommen, für Misch-Bauteile aus Holz und Dämmstoffen unzutreffende Durchschnittswerte angewendet und bestanden Unsicherheiten bei den an den einzelnen Bauteilen wirkenden Temperaturdifferenzen, z.B. zur Garage. Diese Fehler fallen normalerweise nicht auf, da die Berechnungen im Rahmen der Baugenehmigung kaum geprüft werden. Beispiele bauteilspezifische Fehler der k-Wert-Berechnung sind in Kapitel 4 ausgeführt.
- Die deklarierten **Gebäude-Luftvolumina** entsprachen zumeist korrekt dem von den thermischen Trennflächen tatsächlich umschlossenen Innenvolumen. Nur in wenigen Fällen wurde z.B. bei beheizten Treppenhäusern deren Grundfläche zwar als Wohnfläche, ihr Volumen jedoch nicht als Lüftungsvolumen angerechnet. Mehrfach wurde das größere Volumen **überhoher Lufträume im Dachgeschoß** nicht erfaßt, da bei der Volumenberechnung die Wohnfläche mit der üblichen Raumhöhe von 2,5 Meter statt mit der tatsächlichen Raumhöhe multipliziert wurde.
- Bei mehreren Objekten ergaben sich **aufgrund solcher "Irrtümer" Vorteile** für die Energiebilanz. In einem Fall wurde die gesamte Kellerfläche eines EFH, in einem anderen der nicht ausgebaute Spitzboden als Wohnfläche deklariert, was im Detmolder NEH-Standard doppelte Vorteile bringt. Zum einen kann der gesamte Wärmebedarf auf mehr qm umgelegt werden, was für einen niedrigen in Watt/m² angegebenen Zielwert hilfreich ist. Zum anderen kann durch die Überschreitung des Grenzwertes von dreißig bzw. vierzig Quadratmetern Wohnfläche pro Nutzer die Luftwechselrate von 0,8 auf 0,5 bzw. auf

Bild 3.3-2:

Richtige Einbeziehung einzelner Bauteile in den Energiebilanzen von NEH.

3.3 - 3

Objekt	KG	KG	KG	EG	Haus	Wohns.-	Keller	Trhs.	Treppen-	Decke	Flach.	Decke	Drempel	DFF	Kehlb-	DG	Gauben	Boden	AW z.
	Sohle	AW	IW	Sohle	Tür	Tür	Tür	IW	lauf	ü.Luft	Dach	ü.Luft			decke	IW	Wand	Luke	Garage
	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein	ja/nein
1	?	?	ja	-	nein	?	?	?	-	-	-	-	-	nein	nein	-	-	-	-
2	Fehler	Fehler	ja/ Fehler	-	Fehler	Fehler	Fehler	-	-	-	-	-	-	nein	ja	ja	-	-	-
3	?	?	?	ja	?	?	?	-	-	-	-	ja	ja	nein	?	?	-	-	-
4	-	-	-	-	-	ja	-	ja	-	-	-	-	-	ja	ja	-	ja	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	nein	-	ja	?	-	-	-	-
6	ja	ja	ja	-	nein	-	nein	-	-	-	-	ja	-	nein	ja	-	nein	nein	-
8	ja	ja	ja	-	ja	-	ja	-	-	-	ja	-	-	nein	-	-	ja	-	nein
9	ja	ja	ja	-	ja	-	ja	-	-	-	-	-	-	-	ja	-	ja	nein	nein
10	ja	ja	ja	-	ja	-	ja	-	-	ja	-	-	-	ja	ja	-	ja	nein	-
11	?	?	?	-	= Fenst.	-	?	-	ja	-	-	-	-	ja	?	-	nein	nein	ja
12	-	-	-	-	ja	-	ja	ja	ja	-	-	-	-	ja	ja	-	-	ja	nein
13	-	-	-	ja (Erk)	= Fenst.	-	nein	ja	nein	-	nein	-	-	ja	ja	-	-	nein	-
14	?	nein	ja	ja (Erk)	ja	-	ja	-	-	-	ja	-	-	-	ja	-	ja	nein	nein
15	ja	ja	ja	-	= Fenst.	-	nein	-	-	ja	-	-	-	nein	ja	-	-	nein	-
16	ja	ja	ja	-	= Fenst.	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	nein	nein	ja	-	-
17	ja	ja	ja	-	= Fenst.	-	nein	-	-	-	-	-	-	ja	nein	nein	ja	-	-
18	x	x	x	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	nein
19	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
20	nein	nein	nein	-	= Fenst.	-	nein	-	-	-	-	-	-	nein	ja	-	nein	nein	nein
21	-	-	-	ja	= Fenst.	nein	nein	nein	nein	-	-	-	-	-	ja	ja	ja	nein	-
22	ja	ja	ja	ja (Erk)	= Fenst.	-	nein	-	-	-	ja	-	-	ja	ja	-	-	ja	-
23	ja	ja	ja	-	= Fenst.	-	ja	-	-	-	-	-	-	ja	?	-	-	?	-
24	ja	ja	ja	nein(Erk)	= Fenst.	-	ja	-	-	ja	ja	-	-	nein	-	-	-	-	-
25	ja	ja	ja	-	= Fenst.	-	nein	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Fehler	Fehler	Fehler	-	= Fenst.	nein	nein	ja	-	-	-	-	-	nein	ja	-	-	nein	nein
27	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
29	ja	ja	nein	-	= Fenst.	nein	nein	ja	-	nein	-	ja	-	nein	-	-	-	-	-
30	ja	nein	ja	-	ja	nein	-	-	-	-	-	nein	-	ja	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	nein	-	ja	-	ja	-	ja	nein	ja	nein	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	nein	-	ja	-	ja	-	ja	nein	ja	nein	-	-	-	-
33	-	-	-	-	Fehler	nein	-	ja	-	-	-	-	ja	ja	ja	-	-	-	-

0,3 1/h gesenkt werden, was den Lüftungswärmebedarf deutlich verringert. Bei geringerem Lüftungswärmebedarf kann als Ausgleich der Transmissionswärmeanteil etwas höher ausfallen und damit das Objekt mit geringerer Dämmung realisiert werden.

- Detaillierte Lösungen für die qualitativen Anforderungen (Wärmebrücken, Luftdichtheit) wurden in sehr unterschiedlicher Qualität vorgelegt. Es gab Planer, die mit Akribie Detaillösungen entwickelten und diese auch den ausführenden Firmen nahebrachten. In anderen Fällen wurden zwar dem NEI ausführliche Detailzeichnungen zur Prüfung eingereicht, dem Bauunternehmen jedoch keine oder abweichende konventionelle Ausführungspläne übergeben, nach denen auch gebaut wurde. Viele Details wurden auch erst im Bauablauf entwickelt oder waren von Anfang an der ausführenden Firma zur Gestaltung in eigener Verantwortung übertragen; dies betraf vor allem Holzbaudetails der allgemeinen Dachkonstruktion und der Gestaltung von Dachgauben. Luftdichte-Konzepte im Sinne einer konkreten Beschreibung der Art der angestrebten luftdichtenden Schichten und von deren Verbindungen wurden in keinem Falle vollständig vorgelegt. Die praktische Erfolgskontrolle der Luftdichtung erfolgte bei etwa der Hälfte der Objekte durch spätere Messungen (vgl. Kap.6).
- Installationspläne, aufgrund derer die Einhaltung der qualitativen Anforderung "kurze Leitungswege und geringe Verteilverluste" hätte geprüft werden können oder mit denen zu erwartende Probleme mit der Luftdichtung hätten frühzeitig erkannt werden können, wurden bei den kleineren EFH und ZFH fast nie vorgelegt und waren auch bei größeren Gebäuden eher schematisch. Konflikte mit Verlegetechniken und Anschlußproblemen der Luftdichtung wurden nur selten vorher problematisiert. Es gab allerdings auch hier einzelne sehr positive Beispiele (vgl. Kap.7).
- Lüftungstechnische Detailplanungen, mit denen die Einhaltung der Anforderung nachvollziehbar dargestellt worden wäre, daß die Anlagen in der Lage seien, eine 0,3 bis 0,8-fache Luftwechselrate in den Aufenthaltsräumen zu bewerkstelligen, wurden in keinem Falle vorgelegt; es ist zwar zu vermuten, daß solche Berechnungen in einzelnen Fällen, besonders bei den sehr großen Objekten, erstellt wurden, doch waren diese Daten nicht verifizierbar. Eine sichere Prüfung, ob die Leistung der geplanten oder installierten Lüftungsanlagen den Mindestanforderungen genügt, war daher nicht möglich. Die Prüfung beschränkte sich insofern auf die Abschätzung plausibler Dimensionierung und Regelung (vgl. Kap.8). Es ist jedoch geplant, die installierten Anlagen nachträglich noch einer Evaluierung zu unterziehen.

4. Baukonstruktionen

Inhaltsübersicht

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Konstruktionsvarianten der einzelnen Bauteile der wärmeübertragenden Gebäudehülle der 31 untersuchten NEH dargestellt. Dabei werden die vom Detmolder NEH-Standard jeweils geforderten und die realisierten k-Werte der Bauteile und die Anteile dieser Bauteile an der Hüllfläche und am Transmissionswärmeverlust aufgezeigt. Die den verschiedenen Konstruktionen zugrundeliegenden Planungsüberlegungen und ihre Ausführungsprobleme werden diskutiert. Die an ihren Anschlüssen auftretenden Wärmebrücken werden zunächst nur schematisch gezeigt und bauteilspezifischen Winddichtungsaspekte nur kurz angesprochen. Die detaillierte Behandlung von Wärmebrücken und Winddichtungsproblematik erfolgt in Kapiteln 5 und 6. Der Aufbau dieses Kapitels entspricht dem Aufbau eines Hauses. Es beginnt mit der Sohlplatte und endet am Dach.

- 4.1. Sohlplatten unter beheizten Räumen
- 4.2. Decken zwischen Keller und Erdgeschoß
- 4.3. Außenwände beheizter Räume gegen Erde
- 4.4. Außenwände beheizter Räume gegen Luft
- 4.5. Innenwände beheizter zu unbeheizten Räumen
- 4.6. Treppen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen
- 4.7. Haus-, Wohnungs- und Kellertüren
- 4.8. Fenster und Fenstertüren
- 4.9. Schrägdächer
- 4.10. Kehlbalkendecken unter unbeheizten Dachräumen
- 4.11. Flachdächer und sonstige thermisch trennende Decken
- 4.12. Dachgauben
- 4.13. Dachflächenfenster
- 4.14. Bodenluken

4.1. Sohlplatten unter beheizten Räumen

Sohlplatten kommen als thermische Trennflächen zwischen beheizten Räumen und Erdreich bei nicht unterkellerten Gebäuden unter dem beheizten EG und bei unterkellerten Gebäuden unter beheizten Kellerräumen sowie unter auskragenden EG-Räumen (z.B. Erkern) vor. Im Untersuchungsgebiet gibt es keine nicht-unterkellerten Gebäude. Sohlplatten unter beheizten Kellerräumen kommen unter den Souterrain-Wohnungen zweier Mehrfamilienhäusern sowie unter einzelnen beheizten Kellerräumen vieler EFH und eines MFH vor, meist als unterer Abschluß beheizter Kellertreppenhäuser. Auskragende erdberührende Erkerbodenplatten kommen ebenfalls mehrfach vor. Weiterhin gibt es mehrere Ein- und Zweifamilienhäuser mit Kellerräumen, die in Bauantrag und Energiebilanz zwar als unbeheizt deklariert und ohne besonders gedämmte Sohlplatten errichtet wurden, aber tatsächlich als Aufenthaltsräume genutzt und regelmäßig beheizt werden. Die Problematik dieser "illegal beheizten" Kellerräume wird im folgenden jedoch nur am Rande behandelt; die Auswertung konzentriert sich ansonsten auf die planmäßige Gebäudenutzung.

Der Detmolder **NEH-Standard** stellt an gegen Erdreich grenzende Sohlplatten unter beheizten Räumen die **Anforderung**, daß ihr **k-Wert $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$** sein muß. Dies erfordert eine 10-12 cm starke Dämmschicht, je nachdem, ob teurere Dämmstoffe der WLG 030 oder preiswertere der WLG 035 oder 040 eingesetzt werden. Die Dicke der Betondecken und Estriche wirkt sich wegen deren hoher Wärmeleitfähigkeit kaum dämmend aus. (Bild 4.1-1) zeigt die k-Werte, die mit 7-13 cm Dämmstoff unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit bei einer 20 cm starken Normalbeton-Sohlplatte und 5 cm Zementestrich erreichbar sind:

Dämmstoff	Schichtdicke der Dämmstoffe						
	13 cm	12 cm	11 cm	10 cm	9 cm	8 cm	7 cm
WLG 040	0,282	(0,303)	(0,328)	(0,357)	(0,393)	(0,436)	(0,490)
WLG 035	0,248	0,268	0,290	(0,317)	(0,348)	(0,387)	(0,436)
WLG 030 (teuer)	0,215	0,232	0,251	0,275	(0,303)	(0,337)	(0,380)

Bild 4.1- 1: k-Werte von 20 cm starken Ortbeton-Sohlplatten mit unterschiedlichen Dämmstoffaufbauten und 5 cm Zementestrich; Werte in Klammern erfüllen nicht den NEH-Standard von $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

(Bild 4.1-2) zeigt die **k-Werte der geplanten und der gebauten Sohlplatten** der untersuchten NEH. Die gebauten Ausführungen sind unterschieden in die in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekte.

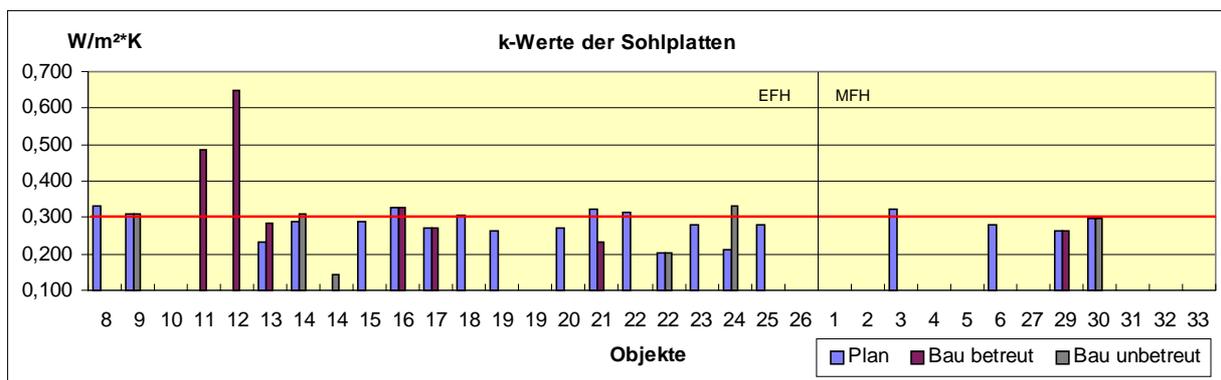


Bild 4.1- 2: k-Werte der geplanten und der gebauten thermisch trennenden Sohlplatten von NEH

Die k-Werte der thermisch trennenden Sohlplatten liegen bei den untersuchten Niedrigenergie-Häusern in den geplanten Ausführungen zwischen $0,20$ und $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ und damit zwischen 70 und 110 % des Vorgabewerts von $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bis zu 10 % Überschreitung dieses k-Werts war bei anderweitiger energetischer Kompensation zulässig. Die k-Werte der tatsächlich gebauten Ausführungen lagen zwischen $0,145$ und $0,649 \text{ W/m}^2\text{K}$. In zwei Fällen wurden die Vorgabewerte durch Planungs- und Ausführungsfehler um über 100 % überschritten. Die Gründe sind weiter unten erläutert. In neun Fällen war der k-Wert der Sohlplatte nach Fertigstellung nicht mehr exakt zu ermitteln.

(Bild 4.1-3) zeigt die **Anteile der Sohlplatten an der gesamten Hüllfläche** und an den Transmissionswärmeverlusten der untersuchten NEH in den geplanten Ausführungen:

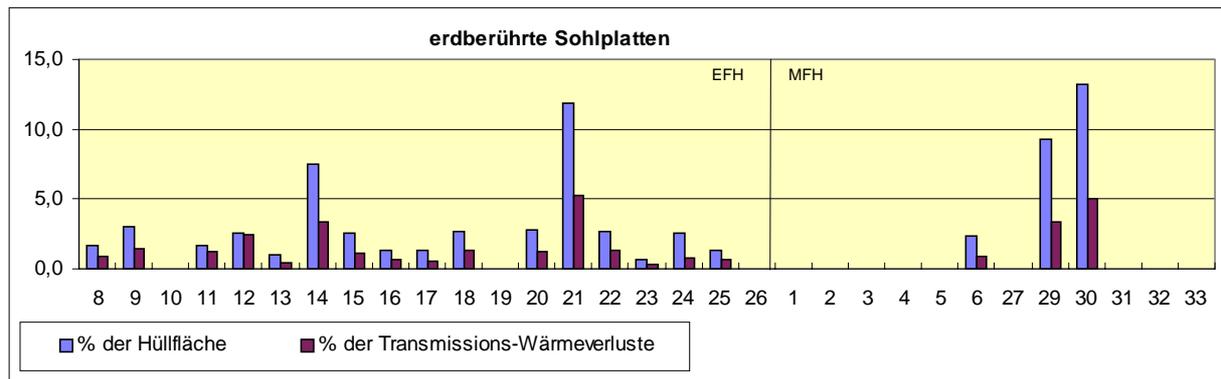


Bild 4.1- 3: Anteile thermisch trennender Sohlplatten an Hüllflächen und Transmissions-Wärmeverlusten von NEH in der geplanten Ausführung.

Die Hüllflächenanteile der thermisch trennenden Sohlplatten betragen bei fast allen untersuchten Gebäuden unter fünf Prozent; lediglich bei zwei größeren Mehrfamilienhäusern mit Souterrainwohnungen erreichen sie neun bis dreizehn Prozent. Die Anteile der über Sohlplatten abfließenden Wärme an den gesamten Transmissionswärmeverlusten liegen bei den korrekt gebauten EFH und MFH um ein Prozent, bei den beiden EFH mit stark überhöhten k-Werten erreichen sie trotz nur kleinen Flächen zwei bis drei Prozent, bei den MFH-NEH mit Souterrain-Wohnungen dreieinhalb bis fünf Prozent.

Richtig **als Teil der thermischen Hüllfläche erkannt** wurden die Sohlplatten in über 90 % der Objekte in denen sie vorkamen, wie (Bild 4.1-5 zeigt). In zwei Fällen wurden sie fehlerhaft zugeordnet, in zweien nicht erkannt.

(Bild 4.1.5) zeigt **die geplanten und tatsächlich errichteten Aufbauten**, die bei vielen Objekten Unterschiede aufweisen, die auf Ausführungsfehler oder auf Umplanungen während der Bauzeit zurückgehen. Als geplante Sohlplatten wurden, bis auf die angegebenen Ausnahmen, die letzten vorgelegten und geprüften Aufbauvarianten angenommen, die auch in der Energiebilanz einbezogen wurden. Als Konstruktionsvarianten thermisch trennender Sohlplatten kommen im Untersuchungsgebiet ganz überwiegend Ort betonplatten mit nur-oberseitiger Dämmung aus PS-Hartschaum und Zementestrich vor. Unterseitige Dämmungen aus Schaumglas oder druckfestem PU-Hartschaum wurden aus Kostengründen nicht eingesetzt. Lediglich bei einem nicht unterkellerten Anbau, drei auskragenden erdberührenden Erkerbodenplatten und unter der Sohlplatte eines MFH-Treppenhauses wurde zusätzlich zur oberseitigen auch unterseitige Dämmung eingesetzt, meist um im oberen Bodenaufbau keine Höhenstufe zwischen normalem Etagenboden und Erkerboden zu erhalten.

Wärmebrückenprobleme traten an thermisch trennenden Sohlplatten je nach Lage der Dämmung in vielen der NEH im Untersuchungsgebiet auf, da hier massive und schwere, also gut wärmeleitende Bauteile zwischen Erdreich und beheiztem Innenraum trennen. (Bild 4.1.4) zeigt die häufigsten Wärmebrücken an Anschlüssen an die Sohlplatte wie den Anschluß der Innenschale der ein- bzw. zweischaligen Außenwand (a bzw. h),

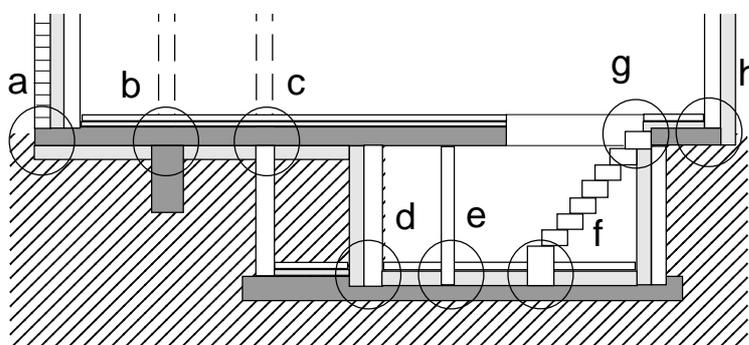


Bild 4.1- 4: Wärmebrücken an thermisch trennenden Sohlplatten

den Anschluß der Innenschale der ein- bzw. zweischaligen Außenwand (a bzw. h), den Anschluß der Innenwand (d) evtl. mit darunterstehendem Streifenfundament (b) oder Kellerwand (c), den Anschluß einer thermisch trennenden Innwand (e) und des Treppenlaufes (f und g). Die empfohlenen, geplanten bzw. realisierten Lösungen für die einzelnen Problempunkte sind in Kapitel 5.2 dargestellt.

Hinsichtlich **Luftdichtheit** werfen aus Ort beton gegossene Sohlplatten in ihrer Fläche keine Probleme auf, da Beton luftdicht ist. Luftdichtheitsprobleme können an vertikalen Durchdringungen von Abwas-

Bild 4-1-5: Schlupfplatten, geplanter und tatsächlicher Aufbau

Objekt	Lage des Bauteils	Geplant										Gebaut												
		Bauteil selbst erkannt? ja / nein	unters. Dämmung				Beton decke	obers. Dämmung				k-Wert W/m²K	k-Wert W/m²K	unters. Dämmung				Beton decke	obers. Dämmung					
			WLG O25	WLG O30	WLG O35	WLG O40		WLG O25	WLG O30	WLG O35	WLG O40			WLG O25	WLG O30	WLG O35	WLG O40		WLG O25	WLG O30	WLG O35	WLG O40		
8	KG	ja	-	-	-	-	16	-	-	7	3	0,330	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
9	KG	ja	-	-	-	-	25	-	9	-	-	0,308	0,308	-	-	-	-	25	-	-	-	-	12	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	KG	nein	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,485	-	-	-	-	25	-	-	-	-	5	-
12	KG	nein	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,649	-	-	-	-	18	-	-	-	-	5	-
13	KG	ja	-	-	-	8	16	-	-	-	8	0,233	0,283	-	-	-	8	16	-	-	-	-	5	-
14	KG	nein	-	-	-	-	25	-	-	11	-	0,288	0,312	-	-	-	-	25	-	-	-	-	11	-
14	Erker	ja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000	0,145	-	-	-	12	18	-	-	-	-	11	-
15	KG	ja	-	-	-	-	15	8	-	-	-	0,288	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
16	KG	ja	-	-	-	-	25	-	-	3	10	0,327	0,327	-	-	-	-	25	-	-	-	3	10	-
17	KG	ja	-	-	-	-	25	-	-	3	10	0,271	0,271	-	-	-	-	25	-	-	-	3	10	-
18	KG	?	-	-	-	12	16	-	-	-	-	0,305	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
19	EG	ja	-	-	-	-	20	-	-	-	14	0,263	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
19	KG	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
20	KG	nein	-	-	-	-	25	-	10	-	-	0,273	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
21	KG	ja	-	-	-	-	16	-	-	-	11,2	0,325	0,234	-	-	6	-	16	-	-	-	8	-	-
22	KG	ja	-	-	-	-	20	-	-	10	-	0,314	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
22	Erker	ja	-	-	6	-	20	-	-	10	-	0,204	0,204	-	-	6	-	20	-	-	-	10	-	-
23	KG	ja	-	-	-	-	13	-	-	-	13	0,279	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
24	KG	ja	-	-	-	-	16	11	-	-	-	0,212	0,332	-	-	-	-	16	-	-	-	9	-	-
25	KG	ja	-	-	-	-	25	-	-	-	13	0,280	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
26	TRHS	Fehler	-	-	6	-	16	-	-	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	EG	ja	-	-	6	-	18	-	-	-	4	0,325	?	-	10	-	-	24	-	-	-	-	?	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	KG	ja	-	-	-	-	12	-	10	-	-	0,278	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	KG	ja	-	-	-	-	30	-	-	-	12	0,265	0,265	-	-	-	-	30	-	-	-	12	-	-
30	KG	ja	-	-	-	-	30	-	-	-	12	0,298	0,298	-	-	-	-	30	-	-	-	-	12	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Bauteil-Planwert bei für das Objekt nicht aufgehender Energiebilanz

ser- und anderen Leitungen, Kabel- und Rohrkanälen und an Dehnungsfugen entstehen, wurden aber im Untersuchungsgebiet nicht beobachtet, da diese Durchdringungen meist in den unbeheizten Kellerräumen außerhalb des winddichten beheizten Gebäudevolumens lagen. Beobachtet wurden jedoch Luftundichtigkeiten am Anschluß von Sohlplatten an aufstehende Mauerwerkswände, Kellertüren und Terrassentüren von Souterrain-Wohnungen. Diese sind systematisch nicht Problemstellen der Sohlplatte, sondern solche der jeweiligen Anschlußbauteile und werden deshalb dort behandelt.

Ein generellen Unterschied zwischen **in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten** Bauvorhaben war bei den Sohlplatten nicht feststellbar. Begründet ist dies einerseits darin, daß die exakte Feststellung des realisierten Aufbaus bei beiden Objektarten wegen der sehr kurzen Montagezeit der danach nicht mehr einsehbaren Dämmlage dieses Bauteils schwer möglich war. Andererseits ist auch bei den betreuten Objekten die Nachbesserung einer unzureichend gedämmten erdberührten Sohlplatte in der Regel nicht möglich, so daß selbst bei den betreuten Objekten starke Überschreitungen des maximalen Bauteil-k-Wertes vorkamen.

Planungs- und Ausführungsprobleme an thermisch trennenden Sohlplatten im Keller und EG gab es bei den untersuchten NEH mehrere, obwohl deren konstruktive Aufbauten grundsätzlich unkompliziert und üblich sind, wenn man von der höheren Schichtdicke der Dämmstoffe absieht. Beispiele vorgekommener Komplikationen sind nachfolgend aufgelistet und auch bei Kellerdecken beschrieben:

- Es bestanden vielfach Unsicherheiten und Informationsdefizite der Planer bei der Wahl der Dämmstoffe und über deren Eigenschaften. So wurden zur Vermeidung ungewohnt hoher Dämmstoffaufbauten in mehreren Fällen Hartschaum-Dämmstoffe der WLG 025 als Unterestrichdämmung eingeplant, bei denen der geforderte k-Wert bereits mit 7-8 cm Schichtdicke erreichbar gewesen wäre. Diese Dämmstoffe sind aber seit Verbot des FCKW-Einsatzes in Bau-Dämmstoffen bereits seit einiger Zeit nur noch als sehr teure Spezialware mit beidseitiger Aluminiumkaschierung lieferbar und werden in der Baupraxis fast nur noch als Aufsparrendämmung eingesetzt. Als unkaschierte Plattenware für Unterestrichdämmung kommen sie nur noch in veralteten Planungshilfen oder Katalogen vor. Tatsächlich eingebaut wurden sie in keinem Falle.
- Es gab Verwechslungen zwischen der Produktbezeichnung PS15, PS20 oder PS30, die bei Polystyrol-Hartschäumen die Rohdichte und Druckfestigkeit kennzeichnet, aber als Wärmeleitfähigkeitsgruppe entsprechend WLG 015, WLG 020 oder WLG 030 angesehen wurde. Diese Angaben wurden mehrfach in Energiebilanzen, Ausschreibungen und Lieferaufträgen vertauscht. Die geplanten und/oder eingebauten Dämmstoffe erreichten dann nicht die geforderte Dämmwirkung.
- Es wurden in einigen Fällen relativ teure Materialien verwendet, um geringfügig niedrigere Aufbauhöhen zu realisieren. (siehe auch in Kapitel 4.2) In anderen Objekten waren die besser isolierenden teureren Dämmstoffe im Plan zwar vorgesehen, tatsächlich wurden dann aber preiswertere WLG-040-Dämmstoffe in höherer Stärke mit insgesamt gleicher Dämmwirkung eingebaut.
- Es bestanden Unsicherheiten und Informationsdefizite über die Konsequenzen höherer Schichtdicken der Unterestrich-Dämmung auf die zu erwartende höhere Elastizität des Dämmaufbaus und auf die erforderliche Dicke, Armierung oder Stoffwahl des darüber zu verlegenden Zementestrichs (siehe auch Kapitel 4.2).
- In mehreren Fällen wurde die größere Aufbauhöhe auf den Sohlplatten von z.B. 17 cm (12 cm Dämmung + 5 cm Estrich) statt nach alter Wärmeschutzverordnung 1982 bisher üblichen 9 cm (4 cm Dämmung + 5 cm Estrich) bei der Planung der Treppen, Türstürze und Fensterbrüstungen nicht einbezogen, so daß nachträglich auf Treppen erhebliche Ausgleichsestriche montiert und Türstürze erhöht werden mußten.
- Bei der Montage unterseitiger Hartschaum-Dämmplatten an auskragende bodenberührende Erkerbodenplatten traten Probleme auf, wenn z.B. der Kleber bei naßkaltem Bauwetter nicht ausreichend haftete oder beim Verfüllen der Baugrube unter dem Erker die Platten wieder abgerissen wurden.
- Über viele der in (Bild 4.1-4) gezeigten Wärmebrücken an Sohlplatten waren sich die meisten Planer der untersuchten NEH ausweislich ihrer ersten Detailplanungen nicht im Klaren. Detaillösungen zur Vermeidung oder Verringerung dieser Wärmebrücken wurden oft erst nach Mängelhinweisen und individueller Beratung erarbeitet. In mehreren Fällen wurden wärmebrückenarme Lösungen zwar geplant und zur Prüfung vorgelegt, aber tatsächlich nicht realisiert oder falsch ausgeführt, da die ausführenden Firmen über die geplanten Detaillösungen nicht, nicht rechtzeitig oder nicht ausreichend in Kenntnis gesetzt wurden. Besonders viele Probleme, Mängel oder teure Nachbesserungen

entstanden an Bauten, mit deren Rohbau schon begonnen wurde, bevor die Detailplanung der Kellerbauteile und Anschlüsse entwickelt und geprüft war. Beispiele hierzu sind in Kapitel 5.2 angeführt.

- Luftundichtigkeiten waren in vielen Fällen an Innen- und Außentürschwellen sowie Anschlüssen von aufstehenden Wänden feststellbar (näheres bei diesen Bauteilen und in Kapitel 6).

(Bild 4.1-6) bis (Bild 4.1-9) zeigen Details aus der Baupraxis thermisch trennender Sohlplatten:



Bild 4.1-6: Holzrahmen auf Sohlplattenarmierung als Begrenzung des abgesenkten Sohlplattenbereichs unter künftigem beheiztem Treppenhaus. In dem abgesenkten Bereich kann die verstärkte Unterestrichdämmung eingelegt werden.



Bild 4.1-7: Abgesenkte Sohlplatte (z.Zt. Eisbahn) unter künftigem beheiztem Treppenhaus zur Aufnahme einer höheren Wärmedämmschicht bei gleicher oberer Aufbauhöhe in beheizten und unbeheizten Kellerräumen.



Bild 4.1-8: Höhere Bodenaufbauten auf Sohlplatten müssen bei Treppen- und Türstürzen beachtet werden. Werden falsche Höhenlinien zu spät bemerkt, können auf Treppen enorme Ausgleichsestriche nötig werden.



Bild 4.1-9: Wegen mangelnder Haftung und Beschädigung wieder abgerissene unterseitige Dämmung einer auskragenden, später erdberührenden Erkerbodenplatte.

4.2. Decken zwischen Keller und Erdgeschoß

Thermisch trennende Decken zwischen unbeheiztem Keller und beheiztem Erdgeschoß kommen in jedem der untersuchten Gebäude vor. Der Detmolder NEH-Standard stellt an solche Decken die Anforderung, daß ihr k-Wert $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein muß. Um solche k-Werte zu erreichen, sind 9-12 cm Dämmschicht erforderlich, je nachdem ob teurere Dämmstoffe der WLG 030 oder preiswertere der WLG 035 oder 040 eingesetzt werden. (Bild 4.2-1) zeigt k-Werte, die mit 7-13 cm Dämmstoff unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeitsgruppen (WLG) bei einer 16 cm starken Normalbeton-Decke und 5 cm Zementestrich erreicht werden. Andere Dicken der Betondecke und Estriche wirken sich wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit des Betons kaum aus.

Dämmstoff	Schichtdicke der Dämmstoffe						
	13 cm	12 cm	11 cm	10 cm	9 cm	8 cm	7 cm
WLG 040	0,270	0,290	(0,312)	(0,339)	(0,370)	(0,408)	(0,454)
WLG 035	0,240	0,258	0,278	(0,302)	(0,331)	(0,365)	(0,408)
WLG 030 (teuer)	0,209	0,225	0,243	0,264	0,290	(0,321)	(0,359)

Bild 4.2- 1: k-Werte von 16 cm starken Ortbeton-Kellerdecken mit unterschiedlichen Dämmstoffaufbauten und 5 cm Zementestrich; Werte in Klammern erfüllen nicht mehr den DT-NEH-Standard.

Die **k-Werte der geplanten und gebauten thermisch trennenden Kellerdecken** der untersuchten NEH zeigt (Bild 4.2-2). Die gebauten Ausführungen sind unterschieden in die in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekte. Für die Objekte Nr. 3 und Nr. 19 fehlen die Werte, da gültige Energiebilanzen nicht vorliegen, für Objekt Nr. 27, da noch keine Planung vorliegt.

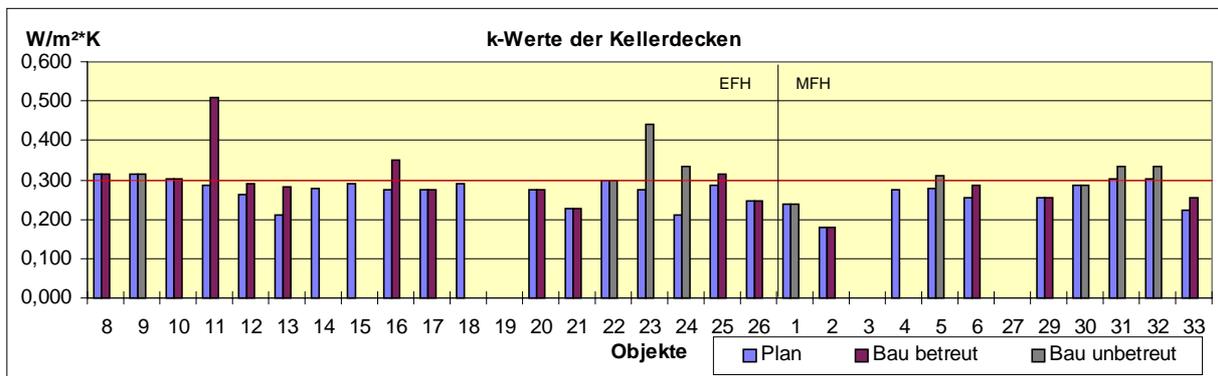


Bild 4.2- 2: k-Werte der geplanten und der gebauten thermisch trennenden Kellerdecken von NEH.

Die **k-Werte der geplanten thermisch trennenden Kellerdecken** liegen alle nahe am Vorgabewert des NEH-Standards von $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Überschreitung des Vorgabewertes um bis zu 10 % war zulässig, wenn der Wärmeleistungsbedarf des Objektes von 40 W/m^2 dadurch nicht überschritten wurde. Nur in wenigen Fällen wurden deutlich niedrigere k-Werte geplant, so bei den Objekten Nr. 13, 21 und 33 desselben Architekten. Bei dem in der Ausführungsphase betreuten Objekt Nr.2 wurde der k-Wert der realisierten Decke als Plan-k-Wert angenommen. Hier wurde als Nachbesserung einer unzureichenden oberseitigen Dämmung von 4 cm nachträglich eine zusätzliche unterseitige Dämmung von 18 cm realisiert. Nur in wenigen Fällen und meist infolge von Irrtümern über die Dämmwirkung der Dämmstoffe (PS 30 / WLG 30) wurde die obere Toleranzgrenze des k-Werts erreicht oder überschritten.

Die Anteile der geplanten thermisch trennenden Kellerdecken **an der thermischen Hüllfläche und den Transmissionswärmeverlusten** zeigt (Bild 4.2-3). Ihre Anteile an der Hüllfläche betragen bei fast allen untersuchten Gebäuden um 20 Prozent; Anteile um nur 10 Prozent erreichen Objekte mit größeren beheizten Kellern, bei denen erdberührte Sohlplatten statt der Kellerdecken thermisch nach unten abgrenzen. Dies sind die EFH 14, 21 und 25, die nur teilunterkellert sind und MFH 29 und 30 mit beheizten Souterrainwohnungen. Die Anteile der über die geplanten Kellerdecken abfließenden Wärme an den gesamten Transmissionswärmeverlusten liegen bei EFH und MFH knapp unter zehn Prozent. Bei je einem EFH (24) und einem MFH (33) mit besonders niedrigen geplanten k-Werten der Kellerdecke und

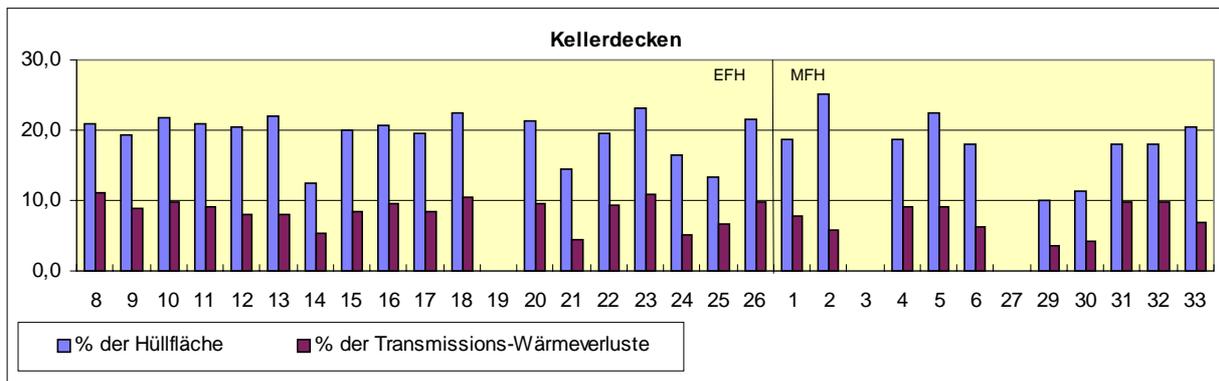


Bild 4.2- 3: Anteile von Kellerdecken an Hüllflächen und Transmissions-Wärmeverlusten von NEH.

bei den MFH mit großen Souterrainwohnungen sind es nur um fünf Prozent. In den beiden Fällen mit besonders niedrigen geplanten k-Werten war die tatsächliche Bauausführung jedoch schlechter, wenn auch noch im zulässigen Rahmen.

Die **Aufbauten der geplanten und der tatsächlich errichteten Kellerdecken** zeigt (Bild 4.2.5). Als "geplant" sind hier, bis auf die gekennzeichneten Ausnahmen, die zuletzt angegebenen und geprüften Aufbauvarianten angenommen, die auch in der Energiebilanz einbezogen sind. Als Konstruktion kommen im Untersuchungsgebiet fast nur Betondecken vor. Lediglich bei Objekt 9 war eine Porenbetondecke geplant. Die Dämmung war in 19 Fällen nur-oberseitig, in neun Fällen teils ober- teils unterseitig geplant. Bei mehreren Gebäuden gab es infolge von Umplanung während der Bauzeit oder infolge von Fehlern bei der Bauausführung Abweichungen zwischen Planung und Bauausführung, insbesondere bei der Qualität und Schichtdicke der Dämmstoffe. So wurden tatsächlich nur sechs statt geplanter neun Objekte nach Umplanungen mit anteiliger unterseitiger Dämmung errichtet. Extreme Dämmstoffe der WLG 020-030 waren in sechs Fällen in der ersten Planungsvariante vorgesehen. Diese Planungen wurden jedoch geändert und diese Dämmstoffe wurden in keinem Falle tatsächlich eingebaut, da Aufbauten mit Dämmstoffen der WLG 035 oder 040 trotz höherer Schichtdicke deutlich kostengünstiger waren. Die meisten Abweichungen in der Bauausführung waren insofern sinnvoll begründet.

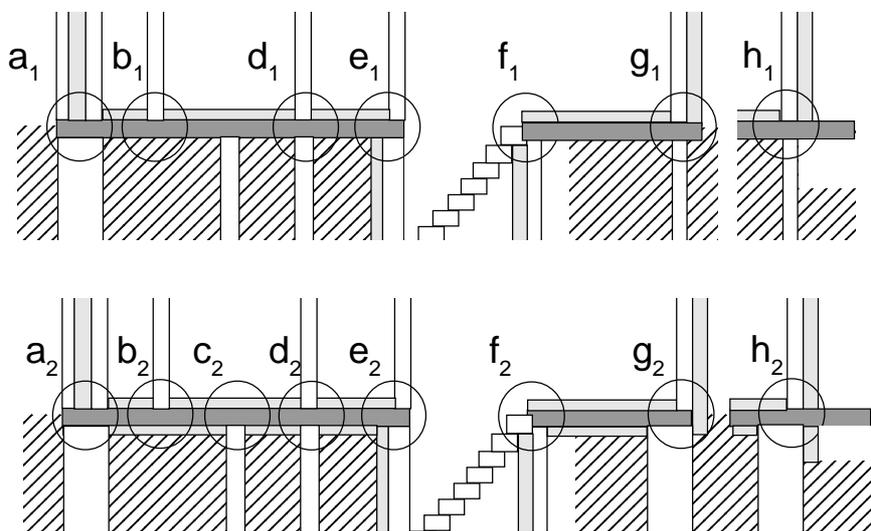


Bild 4.2- 4: Wärmebrücken an thermisch trennenden "kalten", nur oberseitig gedämmten Kellerdecken (oben) und an "lauwarmen", ober- und unterseitig gedämmten Kellerdecken (unten).

Wärmebrücken-Probleme an den Anschlüssen thermisch trennender Kellerdecken gab es im Untersuchungsgebiet in großer Zahl. (Bild 4.2-4) zeigt häufige Wärmebrücken solcher Deckenanschlüsse. Je nach Lage der Dämmung traten diese auf am vertikalen Anschluß der Kellerdecke zur Innenschale der ein- bzw. zweischaligen Außenwände (a₁, a₂ bzw. g₁, g₂), zu Innenwänden des Erdgeschosses (b₁, b₂) evtl. mit darunterstehenden Kellerwänden (d₁, d₂) oder auch nur von Kellerwänden (c₂), ebenso am vertikalen Anschluß thermisch trennender

der Innenwände (e₁, e₂). Auch horizontale Anschlüsse der Treppenläufe (f₁, f₂) oder der Eingangspodestplatten (h₁, h₂) oder von Podestplatten in unbeheizten Treppenhäusern kamen vor. In die Vermeidung bzw. Minimierung dieser Wärmebrücken wurde großer Beratungsaufwand investiert. Dabei wurde zunächst grundsätzlich zwischen nur oberseitig gedämmten = "kalten", ober- und unterseitig gedämmten = "lauwarmen" und nur unterseitig gedämmten = "warmen" Decken und deren Anschlußproblemen unterschieden. Nur unterseitig gedämmte Decken kamen im Baugebiet nicht vor. Die einzelnen Problempunkte und die geplanten bzw. realisierten Lösungen enthält Kapitel 5.2.

Bild 4.2-5: Kellerdecken, geplanter und tatsächlicher Aufbau

Objekt	Geplant									Gebaut									
	Bauteil selbst	Unters.Dämmung			Beton decke	Oberseitige Dämmung				k-Wert	k-Wert	Unters.Dämmung			Beton decke	Oberseitige Dämmung			
	erkannt? ja / nein	WLG O30 cm	WLG O35 cm	WLG O40 cm	cm	WLG O25 cm	WLG O30 cm	WLG O35 cm	WLG O40 cm	W/m²K	W/m²K	WLG O30 cm	WLG O35 cm	WLG O40 cm	cm	WLG O35 cm	WLG O40 cm	WLG O45 cm	WLG 70 cm
8	ja	-	-	-	16	-	-	7	3	0,312	0,312	-	-	-	16	7	3	-	-
9	ja	-	-	-	20	-	-	-	6	0,313	0,313	-	-	-	20	-	6	-	-
10	ja	-	-	-	16	-	-	10	-	0,303	0,303	-	-	-	16	10	-	-	-
11	?	-	-	6	16	-	-	-	6	0,288	0,510	-	-	-	16	-	6	-	-
12	ja	-	-	6	19	-	-	6	-	0,261	0,290	-	-	-	16	-	12	-	-
13	ja	-	-	10	16	-	-	-	7,2	0,211	0,283	-	-	8	16	-	5	-	-
14	ja	-	-	-	?	-	-	11	-	0,278	?	-	?	?	?	?	?	?	?
15	ja	-	-	-	16	-	-	-	12	0,290	?	-	?	?	?	?	?	?	?
16	ja	-	-	-	16	-	-	11	-	0,276	0,351	-	-	-	16	-	7,5	2	-
17	ja	-	-	-	25	-	-	11	-	0,276	0,276	-	-	-	25	11	-	-	-
18	ja	-	-	-	16	-	-	-	12	0,290	?	?	?	?	?	?	?	?	?
19																			
20	ja	-	3,5	-	16	-	-	-	9	0,276	0,276	-	3,5	-	16	-	9	-	-
21	ja	-	-	4	16	-	-	-	11,2	0,228	0,225	-	6	-	16	8	-	-	-
22	ja	-	-	-	18	-	-	10	-	0,297	0,297	-	-	-	18	10	-	-	-
23	ja	-	-	-	16	-	-	11	-	0,276	0,441	-	-	-	16	-	-	-	14
24	ja	-	-	-	16	11	-	-	-	0,212	0,332	-	-	-	16	9	-	-	-
25	ja	-	-	-	25	-	-	8	3	0,287	0,312	-	-	-	16	7	3	-	-
26	ja	-	-	-	16	-	-	-	14	0,248	0,248	-	-	-	16	-	14	-	-
1	ja	-	-	10	16	-	-	-	2	0,240	0,240	-	10	-	16	3	-	-	-
2	ja	-	-	7	16	-	-	-	3	0,178	0,178	-	-	18	16	-	-	3	-
3																			
4	ja	-	-	-	20	-	-	11	-	0,276	?	?	?	?	?	?	?	?	?
5	ja	-	-	-	16	-	-	11	-	0,277	0,311	-	-	-	16	3	7	-	-
6	ja	-	-	6,5	18	3	-	-	2,5	0,255	0,288	-	-	8	18	-	4	-	-
27	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
29	ja	-	-	-	20	-	-	-	12	0,256	0,256	-	-	-	20	-	12	-	-
30	ja	-	-	-	30	-	-	-	12	0,286	0,286	-	-	-	30	-	12	-	-
31	ja	-	-	-	18	-	-	10	-	0,301	0,335	-	-	-	18	-	10	-	-
32	ja	-	-	-	18	-	-	10	-	0,301	0,335	-	-	-	18	-	10	-	-
33	ja	-	10	-	16	-	-	-	4,5	0,223	0,253	-	-	-	16	-	10	4	-

Hinsichtlich **Luftdichtheit** werfen Beton-Kellerdecken in ihrer Fläche keine Probleme auf, da Beton luftdicht ist. Luftdichtheitsprobleme können an vertikalen Durchdringungen von Abwasser- und anderen Leitungen sowie an Durchgängen von Kabel- oder Rohrkanälen oder -schächten entstehen. Beobachtet wurden häufig Luftundichtigkeiten am Anschluß von Kellerdecken an aufstehende Mauerwerkswände, Haustüren sowie Wohnungs- und Terrassentüren von EG-Wohnungen. Diese sind jedoch systematisch nicht Problemstellen der Kellerdecke, sondern solche der jeweiligen Anschlußbauteile und werden deshalb in den Kapiteln über diese Bauteile behandelt.

In der Ausführungsphase **betreute und nicht betreute Bauvorhaben** unterschieden sich bei den Kellerdecken deutlich in der Einhaltung der NEH-Vorgaben. Von fünfzehn betreuten Objekten, bei denen der realisierte Aufbau detailliert bekannt war, verfehlten nur zwei (12 Prozent) den vorgegebenen maximalen k-Wert von max 0,33 W/m²K. Bei den nicht betreuten Objekten, von denen bei acht der detaillierte Aufbau bekannt war, waren dies vier Objekte (50 Prozent) und damit viermal so viele.

Die im Untersuchungsgebiet vorkommenden konstruktiven Aufbauten thermisch trennender Kellerdecken sind grundsätzlich unkompliziert und üblich, wenn man von der höheren Schichtdicke der Dämmstoffe absieht. Dennoch traten viele **Probleme in der Detailplanung und Ausführung** auf:

- **Über Materialeigenschaften** von Dämmstoffen bestanden bei Planern vielfach Unsicherheiten und **Informationsdefizite**. So wurden zur Vermeidung ungewohnt hoher Dämmstoffaufbauten in mehreren Fällen Hartschaum-Dämmstoffe der WLG 025 als Unterestrichdämmung eingeplant, bei denen der geforderte k-Wert statt mit 12 cm bereits mit 7-8 cm Schichtdicke erreichbar wäre. Diese Dämmstoffe sind bereits seit einiger Zeit nur noch als sehr teure Spezialware lieferbar und werden in der Baupraxis fast nur noch als Aufsparrendämmung eingesetzt. Tatsächlich eingebaut wurden sie in keinem Falle.
- Die **Produktbezeichnung** PS15, PS20 oder PS30, die bei Polystyrol-Hartschäumen die Rohdichte und Druckfestigkeit kennzeichnet, wurde mehrfach in Energiebilanzen, Ausschreibungen und Lieferaufträgen **mit der Wärmeleitfähigkeitsgruppe verwechselt, die dann als WLG 015, WLG 020 oder WLG 030 angegeben wurde**. Die tatsächlich eingebauten Dämmstoffe erreichten dann nicht die geforderte Dämmwirkung.
- Teils wurden relativ **teure Materialien** eingeplant, um **geringfügig niedrigere Aufbauhöhen** zu realisieren. So führte in einem Fall z.B. die Wahl von WLG 030-Hartschaumplatten aus extrudiertem Polystyrol mit Materialkosten von 66 DM/m² bei 3 x 30 mm = 90 mm Stärke gegenüber normalen WLG 035-Unterestrichdämmplatten mit Materialkosten von etwa 18 DM/m² bei 3 x 40 mm = 120 mm Stärke zu etwa einer Vervierfachung der Materialkosten bzw. absolut 4.320 DM Mehrkosten bei 90 m² Grundfläche für nur 2 cm Ersparnis an Aufbauhöhe.
- Über die Konsequenzen höherer Schichtdicken der Unterestrich-Dämmung auf die höhere **Elastizität des Dämmaufbaus** und auf die erforderliche Dicke, Armierung oder Stoffwahl des darüber zu verlegenden Zementestrichs bestanden Unsicherheiten und Informationsdefizite. Teils wurden Estrichstärken in normal großen Wohnräumen auf bis zu 8 cm incl. Armierung erhöht, teils wurden normale Estrichhöhen von 4-5 cm trotz größerer Elastizität des Unterbaus für ausreichend gehalten. Um solche Unsicherheiten zu beseitigen, sollten sowohl die Dämmstoff- als auch die Zementindustrie Planungshilfen für NEH-gerechte Bodenaufbauten mit k-Werten um 0,3 W/m²K in ihre Kataloge aufnehmen.
- Die **größere Aufbauhöhe** auf den Kellerdecken von z.B. 17 cm (12 cm Dämmung + 5 cm Estrich) statt bisher nach WSVO 1982 üblichen 9 cm (4 cm Dämmung + 5 cm Estrich) wurde in mehreren Fällen bei der Planung der Treppen, Türstürze und Fensterbrüstungen nicht einbezogen, so daß nachträglich auf Treppen erhebliche Ausgleichsestriche montiert, Türstürze und Fensterbrüstungen erhöht oder kleinere Fenster eingebaut werden mußten. Ursache waren hier Planungsfehler, wenn Höhendaten in Standard-Plänen oder -Ausschreibungstexten nicht modifiziert wurden, Kommunikationsdefizite zwischen Planern und ausführenden Firmen, wenn Besonderheiten nicht mitgeteilt wurden oder Bauleitungsmängel, wenn angezeichnete Höhenlinien nicht geprüft und Baufehler deshalb erst verspätet festgestellt wurden. In drei Fällen wurde die auftragswidrige Ausführung erst nach Verlegen des Estrichs bemerkt und war nicht mehr oder nur mit großem Aufwand nachbesserbar.
- Bei einem in der Bauausführung nicht betreuten Objekt wurde statt des geplanten konventionellen Aufbaus der Kellerdecke mit 12 cm Unterestrichdämmung der WLG 035 ein Trockenestrichaufbau realisiert. Zwischen 6x16 cm Lagerhölzer in ca 40 cm Achsabstand wurde 14 cm Schüttdämmstoff der WLG 070 eingebracht. Trotz dessen erhöhter Schichtdicke von 14 cm verschlechterte sich der

k-Wert des Aufbaus von 0,276 auf 0,441 W/m²K. Der Vorgabewert von 0,3 W/m²K wurde um knapp 50 Prozent überschritten. Der Zimmermann hatte hier im Auftrag des Bauherren ohne Wissen um die Anforderung an die Wärmeleitfähigkeit einen für ihn angenehm zu verarbeitenden Dämmstoff eingekauft. Der Architekt hielt es später für unangemessen, überhaupt eine Nachbesserung zu diskutieren und meinte, der Wärmeleitfähigkeitswert der Produktinformation müsse falsch sein.

- Bei der Montage von Hartschaum-Dämmplatten unter Kellerdecken wurden der Montageaufwand an den Betondecken und Probleme mit der Baufeuchte unterschätzt und es entstanden deutlich höhere Kosten als angenommen. Teils war die Absicht einer unterseitigen Dämmung der Kellerdecke den Installationsgewerken nicht bekannt, so daß Rohre, Kabel und Leuchten direkt unter der noch ungedämmten Decke montiert wurden, was die spätere Dämmung behinderte.
- Bei der Koordinierung der Estrich-, Putz- und Installationsgewerke im Bereich der Kellerdecke gab es sowohl hinsichtlich Wärmebrückenvermeidung als auch hinsichtlich Luftdichtheit oft Probleme. Wenn Installationen wie z.B. Heizungsrohre auf der Rohdecke vor Montage der ersten Dämmstofflage montiert wurden, wurde oft vergessen, daß bei dem hohen Dämmstoffaufbau alle "warmen" Leitungen bereits auf der ersten Dämmstofflage montiert oder mit entsprechenden Abstandsklötzen über der Rohdecke verlegt werden sollen, sodaß diese Dämmung später noch untergeschoben werden kann. Oft wurden Installationen so nahe an unverputzte Außenwänden verlegt, daß die Außenwände nicht mehr bis zur Rohdecke herab geputzt werden konnten. Dadurch entstanden Luftundichtigkeiten an den unverputzten Vertikalfugen der untersten Steinreihen. Der Effekt ist besonders bei Ziegelbauten spürbar. Wurden Estriche vor den Putzarbeiten verlegt, wurde auch oft vergessen, Außenwandputze bis auf die Rohdecke herabzuführen, um die Luftdichtigkeit sicherzustellen.
- Über viele der in Bild 4.2-4 gezeigten Wärmebrücken an Sohlplatten waren sich die Planer der untersuchten NEH ausweislich ihrer ersten Detailplanungen nicht im Klaren. Detaillösungen zur Vermeidung oder Verringerung dieser Wärmebrücken wurden oft erst nach Mängelhinweisen und individueller Beratung erarbeitet. In mehreren Fällen wurden wärmebrückenarme Lösungen zwar geplant und zur Prüfung vorgelegt, aber tatsächlich nicht realisiert oder falsch ausgeführt, da die ausführenden Firmen über die geplanten Detaillösungen nicht, nicht rechtzeitig oder nicht ausreichend in Kenntnis gesetzt wurden. Besonders viele Probleme, Mängel oder teure Nachbesserungen entstanden an Bauten, mit deren Rohbau schon begonnen wurde, bevor die Detailplanung der Kellerbauteile und Anschlüsse entwickelt und geprüft war. Beispiele hierzu sind in Kapitel 5 angeführt.
- Windundichtigkeiten waren in vielen Fällen an Wohnungs- und Außentürschwellen, an Estrichkanten, an Anschlüssen aufstehender Wände sowie an Durchdringungen von Leitungen und Schächten feststellbar (näheres bei diesen Bauteilen und in Kapitel 6).

Untenstehende Bilder (Bild 4.2-6) bis (4.2-8) zeigen Details aus der Baupraxis thermisch trennender Kellerdecken.



Bild 4.2- 6: Ungenügende Dämmung der Kellerdecke von nur 7,5 cm statt geplanter 12 cm.



Bild 4.2- 7: Ausreichende Dämmung der Kellerdecke mit drei Lagen = 11 cm Dämmstoff.



Bild 4.2- 8: Heizungs- und Warmwasserleitungen auf "kalter" EG-Decke richtig auf Dämmung verlegt



Bild 4.2- 9: 18 cm unterseitige Dämmung der Kellerdecke mit eingeschnittenen Rohrkanälen und Zusatzdämmung der oberen 36 cm der Kellermauerkrone.



Bild 4.2- 10: 10 cm unterseitige Dämmung der Kellerdecke zusätzlich zu 7 cm oberseitiger Dämmung.

4.3. Außenwände beheizter Räume gegen Erde

Thermisch trennende Außenwände gegen Erdreich kommen im Untersuchungsgebiet bei vielen EFH als Außenwände einzelner beheizter Kellerräume oder als zum EG offene Kellertreppenabgänge sowie bei zwei MFH in Hanglage als Außenwände von Souterrainwohnungen vor. Der Detmolder NEH-Standard verlangt von Außenwänden beheizter Räume gegen Erdreich einen k-Wert von $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Um diesen k-Wert zu erreichen, sind bei den üblichen 24 bis 36,5 cm starken KS- oder Beton-Kellerwänden 9-12 cm zusätzlicher Dämmung erforderlich, je nachdem ob teurere Dämmstoffe der WLG 030 oder preiswertere der WLG 035 oder 040 eingesetzt werden.

(Bild 4.3-1) zeigt die k-Werte für die vier im Untersuchungsgebiet häufigsten Aufbauten solcher Außenwände bei unterschiedlichen Dämmstoffstärken und Dämmstoffqualitäten.

Wandkonstruktion und Material	Dämmstoff Qualität	k-Wert bei Dämmstoffstärke von				
		12 cm	11 cm	10 cm	9 cm	8 cm
24,0 cm Ortbeton ohne Putz	WLG 040	(0,307)	(0,332)	(0,362)	(0,398)	(0,442)
	WLG 035	0,271	0,294	(0,321)	(0,353)	(0,393)
	WLG 030	0,235	0,255	0,278	(0,307)	(0,342)
30,0 cm Ortbeton ohne Putz	WLG 040	(0,304)	(0,329)	(0,358)	(0,394)	(0,437)
	WLG 035	0,269	0,291	(0,318)	(0,349)	(0,388)
	WLG 030	0,233	0,253	0,276	(0,304)	(0,338)
24,0 cm KS (0,79 W/mK) mit beidseitig 1,5 cm Putz	WLG 040	0,288	(0,311)	(0,337)	(0,368)	(0,405)
	WLG 035	0,257	0,277	(0,301)	(0,329)	(0,363)
	WLG 030	0,224	0,242	0,263	0,288	(0,319)
36,5 cm KS (0,79 W/mK) mit beidseitig 1,5 cm Putz	WLG 040	0,276	0,296	(0,320)	(0,348)	(0,381)
	WLG 035	0,247	0,265	0,287	(0,313)	(0,343)
	WLG 030	0,216	0,233	0,253	0,276	(0,304)

Bild 4.3-1: k-Werte von Wandaufbauten gegen Erdreich bei unterschiedlichen Mauerwerken, Dämmstoffqualitäten und Dämmstoffstärken. Werte in Klammern erfüllen nicht den DT-NEH-Standard.

Im **Vergleich der Mauerwerksausführungen** erkennt man zunächst, daß die dickeren Wandstärken beider Wandbauarten bei jeweils gleicher Dämmung fast keine Verringerungen der k-Werte mit sich bringen. Bei gleicher Dämmung verringert sich der k-Wert einer Beton-Kellerwand mit 30 statt 24 cm Stärke nur um etwa 1 % trotz 25 % höherem Betonvolumen; bei KS bringen 36,5 gegenüber 24 cm Wandstärke trotz 50 % mehr Mauerwerk nur etwa 4 % mehr Wärmedämmung. Ein einziger zusätzlicher Zentimeter Dämmung bringt dagegen bei den hier dargestellten Aufbauvarianten wärmetechnische Verbesserungen von 7 bis 10%; die Verbesserung der Dämmstoffqualität von WLG 040 auf WLG 035 oder von WLG 035 auf WLG 030 bringt bei gleicher Dicke jeweils 12,5 %. Für wirtschaftliches Bauen ist es auf jeden Fall sinnvoll, zunächst die Wandstärken auf das statisch erforderliche Minimum abzumagern (30cm- oder 36,5 cm-Kellerwände beim EFH sind meist völlig überdimensioniert) und dann mit einem preiswerten Dämmstoff zu dämmen, im Regelfall mit WLG 040. Die um 12,5 % wärmeren Dämmstoffe der WLG 035 haben zum Teil nur so geringe Mehrkosten, daß sich ihr Einsatz lohnen kann. Dämmstoffe der WLG 030 waren dagegen bei allen Beispielen, bei denen Preise ermittelt wurden, als zu teuer verworfen worden.

Die **k-Werte der geplanten und gebauten Außenwände gegen Erdreich** zeigt (Bild 4.3-2). Die gebauten Ausführungen sind unterschieden in die in der Ausführungsphase betreuten und die nicht betreuten Objekte. Für die Objekte 3, 19 und 27 fehlen die geplanten k-Werte, da gültige Energiebilanzen oder die gesamte Planung noch nicht vorliegen. Lagen Planungen für das Bauteil vor, so unterschritten sie den SOLL-Wert von $0,300 \text{ W/m}^2\text{K}$, der niedrigste geplante k-Wert lag sogar nur bei $0,221 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hier handelt es sich um eine Souterrainwohnung, bei der die Erdanschüttung an der Seitenwand mit dem Gelände abfällt. Ihrem Planer war es wichtig gewesen, im unteren Wandbereich gegen Erdreich nahezu den gleichen Wärmeschutz wie oberen Wandbereich gegen Außenluft zu erreichen, da in kalten Wintern die obere Erdschicht durchfrieren und sehr kalt sein kann.

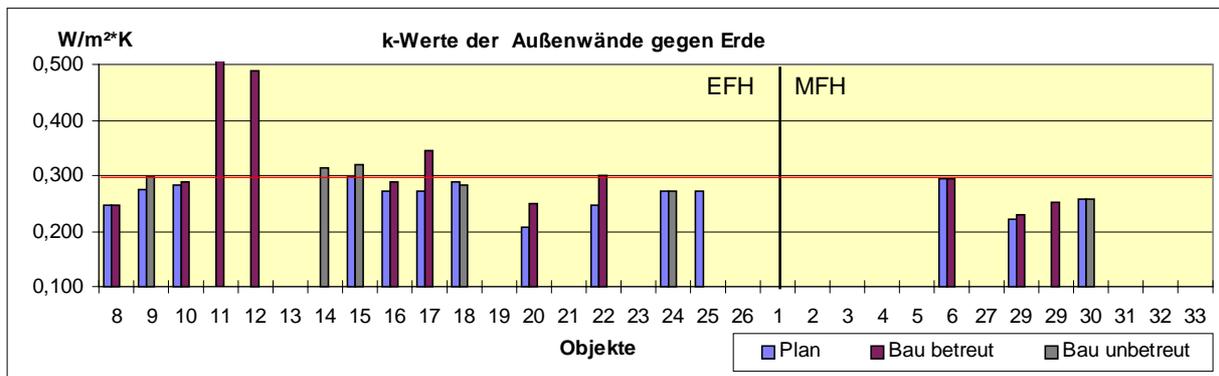


Bild 4.3-2: k-Werte der Außenwände gegen Erde der untersuchten in der geplanten und gebauten Ausführung

Die **Anteile der erdberührenden Außenwände an den thermischen Hüllflächen und den Transmissionswärmeverlusten** der untersuchten NEH sind insgesamt gering. Sie variieren entsprechend der Gebäudegeometrie. Bei EFH mit Außenwänden gegen Erde nur im beheizten Kellertreppenabgang liegt deren Fläche zwischen 5 und 12 m², ihr Hüllflächenanteil bei 1 bis 2 Prozent und ihr Anteil am Transmissionswärmeverlust zwischen 0,5 und 1 Prozent. Bei MFH mit Souterrain-Wohnungen, deren Wände im Mittel etwa halbhoch erdberührt sind, machen die Außenwandflächen gegen Erdreich 4 bis 5 Prozent der thermisch trennenden Hüllfläche aus. Die über sie abfließende Wärme beträgt ein bis zwei Prozent der Transmissionswärmeverluste. Diese niedrigeren Werte sind wesentlich Folge der konsequent hohen Dämmung. Unterbleibt die Dämmung an Außenwänden zwischen beheizten Räumen und Erdreich oder wird sie wesentlich schwächer ausgeführt als vorgegeben, kann der absolute und anteilige Wärmeabfluß deutlich höher (vgl. Bild 2.3-5) und infolgedessen die für die Wohnbehaglichkeit maßgebliche Innenoberflächentemperatur dieser Wände deutlich niedriger sein.

Richtig **als Teil der thermischen Hüllfläche erkannt** wurden die thermisch trennenden Kelleraußenwände nur bei 13 von 15 Objekten (87 %); vgl. (Bild 4.3-3). Bei den beiden anderen Objekten erfolgte eine Detailplanung erst nach entsprechendem Mängelhinweis oder wurden diese Wände ohne vorherige abgeschlossene Planung gebaut und gedämmt. Bei einem Objekt konnte den Plänen nicht entnommen werden, ob die Kelleraußenwand als thermisch trennend anzusehen ist oder nicht. Bei mehreren Objekten wurde die thermische Zonierung des Kellers in der Ausführungsphase so verändert, daß erst dadurch die Kelleraußenwand zum thermisch trennenden Bauteil wurde.

Die **Konstruktionen** der 17 geplanten und gebauten thermisch trennenden Außenwände gegen Erdreich war in allen Fällen konventionell massiv und einschalig. Vier (27%) sind Betonwände, elf (73%) KS-Kellermauerwerk und eine (7%) ist aus Bimsstein. In neun Fällen (60%) wurden sie nur außenseitig, in drei Fällen (20%) außen- und innenseitig und in ebenfalls drei Fällen (20%) nur innenseitig gedämmt. Die Entscheidungen über die innere, äußere oder beidseitige Anbringung der Dämmung wurde meist in Abwägung mit den jeweils entstehenden Wärmebrücken an Decken- und Innenwandanschlüssen, teils nur anhand von Kosten getroffen. Näheres zu solchen Abwägungen ist in Kapitel 5 enthalten. In einem Fall erfolgte die beidseitige Dämmung der Beton-Außenwände mit 20 % innerem und 80% äußerem Dämmanteil bewußt zur Erhöhung der inneren Oberflächentemperaturen und zur Verbesserung der Temperaturempfindung der betroffenen Souterrain-Aufenthaltsräume. Als Dämmstoffe wurden fast ausschließlich Polystyrol-Hartschaumdämmplatten der WLG 035 oder 040 eingeplant. Höherwertige PU- oder Schaumglas-Dämmplatten wurden aus Kostengründen nicht vorgesehen. In einem Falle waren PU-Dämmstoffplatten der WLG 025 eingeplant, wurden tatsächlich aber nicht eingebaut. In drei Fällen wurden innenseitige Dämmungen von Keller-Außenwänden als vorgesetzte Leichtbauwand aus Mineralwolle zwischen Lattung ausgeführt. (Bild 4.3-3) auf der folgenden Seite zeigt die geplanten und die tatsächlich realisierten Aufbauten.

Unterschiede zwischen Planung und Ausführung waren bei den thermisch trennenden Außenwände gegen Erdreich die Regel. Sie wurden nur in vier Fällen (25%) so ausgeführt wie geplant. In acht Fällen (50%), in denen korrekte Planungen vorgelegt worden waren, wies die ausgeführte Version höhere (schlechtere) k-Werte auf, in vier Fällen (25%) war gar keine Planung vorgelegt worden. Bis auf drei Fälle wurde die k-Wert-Vorgabe von $\leq 0,30$ W/m²K (zzgl. max. 10 % Toleranz) in der tatsächlichen Ausführung eingehalten. In zwei der drei Fälle mit überhöhten k-Werten war die nachträglich geänderte thermische Zonierung im Keller verursachend und mußten Nachbesserungen durch nachträgliche Außendämmung eingefordert werden.

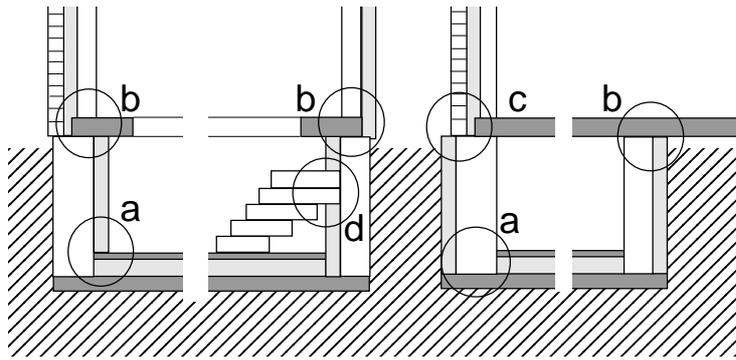


Bild 4.3- 4: Wärmebrücken an Außenwände beheizter Räume gegen Erde.

(Bild 4.3-4) zeigt schematisch die häufigsten **Wärmebrücken** beim Anschluß von Kelleraußenwänden an andere Bauteile. Wärmebrückenprobleme traten an thermisch trennenden Wänden gegen Erdreich je nach Lage der Dämmung sowohl an den Mauerfußpunkten (a), an den Mauerkronen mit Decken- (b) oder Klinkerauflagern (c), an Anschlüssen zu Innenwänden und an Anschlüssen zu Treppenläufen (d) auf. Nur in wenigen Fällen wurden die hier entstehenden Wärmebrücken schon in der Planung zufriedenstellend gelöst, fast immer war ergänzende Beratung erforderlich. Die geplanten und realisierten Detaillösungen sind in Kapitel 5.3 dargestellt.

Luftdichtheitsprobleme gab es an Außenwänden gegen Erdreich, wenn der für die Luftdichtheit bei gemauerten Massivbauten entscheidenden Innenputz nicht vollflächig ausgeführt und nicht allseits an anschließende Böden, Decken und anderen Wände auch hinter Vorwandinstallationen und Einbauten herangeführt wurde, wenn nach außen durchgehende oder etagenübergreifende Schlitze, Schächte oder Einbohrungen von in Außenwänden verlegten Installationen nicht sachgerecht verschlossen oder abgedichtet wurden oder wenn Fenster- oder Außentürrahmen nicht allseits sachgerecht abgedichtet waren. Näheres hierzu ist in Kapitel 6 dargestellt.

Unterschiede zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten konnten bei den thermisch trennenden Außenwänden gegen Erde nicht festgestellt werden, da bei beiden Objektgruppen vergleichbar hohe Fehlerraten auftraten.

Komplikationen bei der Planung und Ausführung thermisch trennender Außenwände gegen Erdreich gab es im Untersuchungsgebiet in großer Zahl, obwohl es sich ausschließlich um übliche Konstruktionen handelt. Die häufigsten Fehler sind nachfolgend aufgelistet:

- Der Schutzbedarf vor drückendem Wasser wurde oft unterschätzt. Obwohl sich bereits bei den ersten Bauten im Baugebiet massive Wasserprobleme in den Baugruben gezeigt hatten, wechselten nur wenige Planer zu sicher wasserundurchlässigen Konstruktionen. Bei mehreren Häusern wurde die Wasserdichtung des KS-Mauerwerks so mangelhaft ausgeführt, daß wiederholt Wasser im Keller stand und teils mehrfach abgegraben und nachgedichtet werden mußte.
- Viele Keller wurden aus statisch nicht erforderlichem zu starkem Mauerwerk hergestellt. Begründung für die zu dicke Ausführung war, daß für das ab EG vorgesehene zweischalige Mauerwerk eine so breite Mauerkrone erforderlich sei, um das geforderte thermisch getrennte Auflager von Kellerdecke und Vormauer zu realisieren. Dieses fraglos richtige Ziel wird jedoch relativ teuer erreicht; bei einem 10 x 10m Kellergrundriß z.B. mit 11 m³ zusätzlichem Kellermauerwerk und einer um 4 m² größeren Sohlplatte. Vorteilhaftere Lösungen mit Mauerkronenverbreiterungen aus Beton wurden jedoch teils aus gestalterischen Gründen, teils weil damit keine Erfahrungen vorlagen, nicht gewählt.
- Die Wärmebrückenproblematik an Kellerbauteilen wurde in der Mehrzahl der Fälle unterschätzt und Detailplanungen zu ihrer Vermeidung erst nach Bemängelung der ursprünglichen Planung vorgenommen (siehe im Einzelnen Kapitel 5.3). In vielen Fällen wurde der Aufwand gescheut, diese Details überhaupt und rechtzeitig zu entwickeln oder das Problem wurde erst verspätet erkannt, so daß nicht oder nur teilweise befriedigende oder überteuerte Lösungen realisiert wurden. Die konstruktiv befriedigenden Lösungen waren dabei meist gar nicht aufwendig. Hemmnisse waren dabei vor allem die traditionelle Denkart, daß Wärme ohnehin nicht nach unten abfließe, Energiefragen sich also selbst bei zum EG offenen Kellertreppenhäusern erst ab OK Kellerdecke stellten und im Keller ohnehin möglichst alles aus schweren, weil stabilen Materialien sein solle.
- Der notwendige Platzbedarf für innenseitige Dämmungen von Außenwänden (i.d.R. 10-12 cm) wurde in die Rohbaupläne nicht einbezogen. Bei nur auf Mindestbreite ausgelegten Treppenhäusern

waren dann innenseitig geplante Dämmungen nicht mehr montierbar oder es paßten nach Einbau der Dämmung die an die Außenwände grenzenden Kanten der Treppenläufe nicht mehr.

- Die bei alleiniger oder anteiliger Innendämmung von erdberührenden Außenwänden entstehenden Taupunktfragen waren den Planern teils nicht bewußt und die Planung und Ausführung einer innerer Dampfsperre war mangelhaft, so daß hier langfristig Feuchteprobleme zu erwarten sind.
- In zwei Fällen wurde erst nach Fertigstellung des Rohbaus entschieden, daß das Kellertreppenhaus nach oben offen bleiben, also beheizt und infolgedessen die Außenwände gegen Erdreich thermische Trennflächen werden sollen. Da die Beton-Kellertreppen und auch alle anderen Anschlußbauteile dieser Außenwände bereits hergestellt waren, waren für die Dämmung und Anschlüsse keine wärmebrückenarmen und preiswerten Lösungen mehr möglich und teilweise auch der Platz nicht mehr vorhanden. Die Dämmung konnte daher nur noch außen angebracht werden, wozu erneut abgegraben werden mußte; die Wärmebrücken blieben unbefriedigend gelöst.
- In einem Falle einer Souterrain-Wohnung mit teilweiser Innendämmung der Außenwände gegen Erdreich wurde der Estrich im Wohnraum auf der Sohlplatte vor Montage der Innendämmung bis an die Beton-Außenwand gegossen. Diese steht hier ohne thermische Entkopplung auf der nur oberseitig gedämmten Sohlplatte, wodurch eine starke Wärmebrücke im Fußleistenbereich besteht. In derselben Wohnung wurde im benachbarten Feuchtraum auf die Innendämmung ganz verzichtet und vor die Außenwand lediglich teilflächig eine Vorwandinstallation montiert; hier sind Feuchteprobleme zu befürchten.
- Bei mehreren Gebäuden mit Wärmedämmverbundsystem an den Außenwänden gegen Luft, die an den erdberührenden Außenwänden ebenfalls außenseitig gedämmt sind, wurden durch ungenaue Montage der Hartschaumplatten der Übergang zwischen den Perimeter-Dämmplatten im Kellerbereich und den normalen WDVS-Dämmplatten im EG-Bereich mit offenen Fugen von bis zu 3 cm hergestellt, die nachher nur mit Putz statt mit speziellem Isolierschaum verfüllt wurden. Hier entstanden thermographisch deutlich erkennbare Wärmebrücken. Ähnliche Wärmebrücken traten an diesen Übergängen auch auf, wenn gut wärmeleitende Metallwinkelschienen als untere Montagehilfe für WDVS-Platten an "warme" Wände montiert werden und durch den gesamten Dämmstoffquerschnitt bis außen unter den Putz hervorragen.

Typische Varianten der im Untersuchungsgebiet realisierten Außenwänden gegen Erde zeigen die Fotos (Bild 4.3-5) bis (Bild 4.3-10).



Bild 4.3- 5: außenseitige Dämmung der thermisch trennenden Kelleraußenwand bei einschaliger Bauweise mit Wärmedämmverbundsystem.



Bild 4.3- 6: außenseitige Dämmung der thermisch trennenden Kelleraußenwand bei zweischaliger Bauweise.



Bild 4.3- 7: innenseitige Dämmung der thermisch trennenden Kelleraußenwand des Kellertreppenraumes bei zweischaliger Bauweise.



Bild 4.3- 8: Mauernische für innen-seitige Dämmung der thermisch trennenden Kelleraußenwand im Bereich des Kellertreppenraumes bei zweischaliger Bauweise. Eine Stahlwinkelschine trägt als Sturz die EG-Innenwand.



Bild 4.3- 9: nicht genügende außen-seitige Dämmung der thermisch trennenden Kelleraußenwand aus zu diesem Zweck ungeeigneten Polystyrolplatten. Die innenseitige Dämmung wurde nur nach Anmahnung realisiert.



Bild 4.3- 10: fehlende Dämmung der Beton-Außenwand eines in den Gebäudeplanungen nicht deklarierten beheizten Arbeitsraumes im Keller. Dieses Objekt war in der Ausführungsphase nicht betreut.

4.4. Außenwände beheizter Räume gegen Luft

Für thermisch trennende Außenwände gegen Luft war im Untersuchungsgebiet durch Festsetzung im Bebauungsplan Massivbauweise und durch den Detmolder NEH-Standard ein k-Wert von $\leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgegeben. Um solche k-Werte zu erreichen, sind je nach Wandstärke und Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks zusätzlich 10-20 cm Dämmstoffschicht erforderlich, je nachdem, ob teurere Dämmstoffe der WLG 035 oder preiswertere der WLG 040 eingesetzt werden.

Die notwendigen Dämmstoffstärken für die beiden am stärksten voneinander abweichenden Außenwand-Grundkonstruktionen im Untersuchungsgebiet zeigt (Bild 4.4-1).

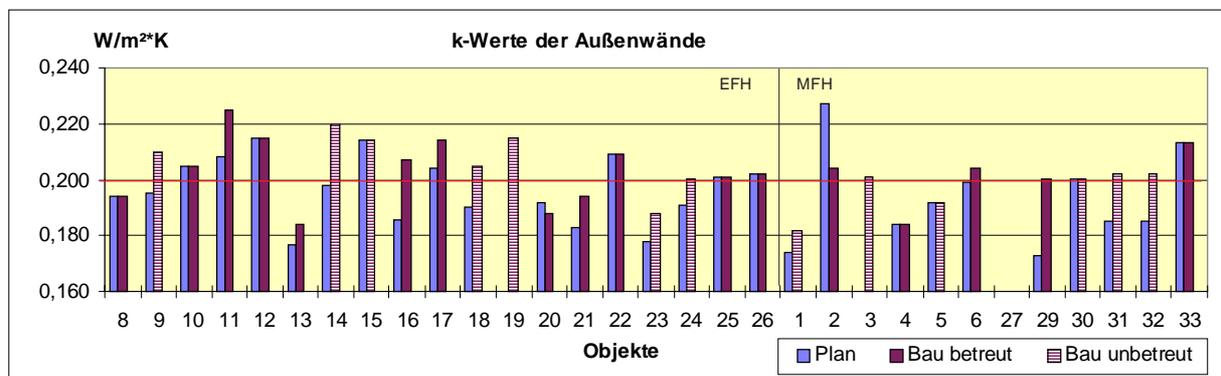
Wandkonstruktion und Material	Dämmstoff Qualität	k-Wert bei Dämmstoffstärke von				
		20 cm	18 cm	16 cm	14 cm	12 cm
Einschalige Wand aus 17,5 cm KS (0,70 W/mK) mit Wärmedämmverbundsystem	WLG 040	0,183	(0,202)	(0,244)	(0,253)	(0,289)
	WLG 035	0,162	0,179	0,199	(0,211)	(0,258)

Wandkonstruktion und Material	Dämmstoff Qualität	k-Wert bei Dämmstoffstärke von				
		13 cm	12 cm	11 cm	10 cm	9 cm
Zweischalige Wand aus 24 cm Gasbeton (0,12 W/mK) mit Kerndämmung + Klinker	WLG 040	0,180	0,189	0,198	(0,209)	(0,220)
	WLG 035	0,166	0,175	0,184	0,194	(0,206)

Bild 4.4-1: k-Werte einschaliger KS-Außenwände mit Wärmedämmverbundsystem und zweischaliger Porenbeton-Außenwände mit Kerndämmung. Werte in Klammern erfüllen nicht den DT-NEH-Standard.

Die **k-Werte der geplanten und gebauten Außenwände** der untersuchten NEH zeigt (Bild 4.4-2). Die gebauten Ausführungen sind unterschieden in die in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekte. Für die Objekte 3 und 19 fehlen Planungs-k-Werte, da stimmige Energiebilanzen trotz erfolgter Baufertigstellung nicht vorliegen. Für NEH 27 fehlen Planungs- und Ausführungswerte, da noch keine Planung vorliegt und auch mit dem Bau noch nicht begonnen wurde. Die geplanten k-Werte liegen alle nahe am Vorgabewert von $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, der um maximal 10 % (= $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$) überschritten werden durfte, wenn der Zielwert des max. Wärmeleistungsbedarfes des Gebäudes von $\leq 40 \text{ W/m}^2$ eingehalten wurde. Bei je zwei EFH und MFH (Nr. 13, 23, 1 und 29) waren in der Planung Außenwand-k-Werte unter $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ vorgesehen, die aber sämtlich nicht so niedrig realisiert wurden. Bei zwei anderen Objekten (Nr. 20 und 2) wurden tatsächlich niedrigere k-Werte realisiert als ursprünglich geplant. Im Mittel wurden k-Werte von $0,197 \text{ W/m}^2\text{K}$ geplant und von $0,203 \text{ W/m}^2\text{K}$ realisiert, was nur geringfügig (3%) höher ist. Der zulässige Toleranzbereich des k-Werts ($\leq 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$) wurde in der tatsächlichen Bauausführung bis auf drei Fälle eingehalten. Bei zwei Objekten mußte dazu während der Bauzeit auf wesentliche Nachbesserung sehr mangelhafter anfänglicher Ausführungen gedrängt werden.

Bild 4.4-2: k-Werte der Außenwände der untersuchten NEH.



(Bild 4.4-3) zeigt die Anteile der Außenwände an den thermischen Hüllflächen und den Transmissionswärmeverlusten der untersuchten NEH.

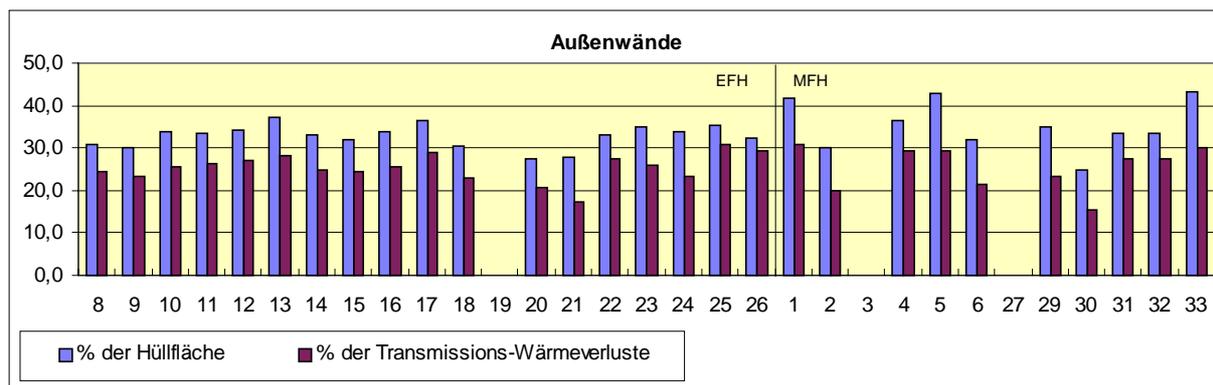


Bild 4.4- 3: Anteile der thermisch trennenden Außenwände gegen Luft an Hüllflächen und Transmissions-Wärmeverlusten von NEH.

Der **Flächenanteil der Außenwände** gegen Luft an der gesamten thermisch trennenden Hüllfläche beträgt bei den untersuchten NEH zwischen 28 und 43 Prozent. Nur bei einem sehr großen und kompakten Bau (Obj. 30) mit hohem Fensterflächenanteil an der Hüllfläche beträgt der AW-Flächenanteil nur 25 Prozent (Vgl. in den Bildern 2.1-1, 2.1-2 und 2.2-3).

Der **Anteil der über Außenwände abfließenden Transmissionswärmeverluste** liegt bei den EFH und MFH zwischen 16 und 31 Prozent. Auch hier bestehen starke Wechselwirkungen mit der Kompaktheit und den Fensterflächenanteilen sowie mit den Anteilen von Sonderflächen an der gesamten Hüllfläche.

Als **Konstruktionsvarianten** der Außenwände kommen im Untersuchungsgebiet ein- und zweischalige Mauerwerksaufbauten mit vielen gängigen Steinearten vor. 21 von 30 Bauten (70 %) wurden zweischalig mit Kerndämmung, neun Bauten (30 %) einschalig mit Wärmedämmverbundsystem erstellt. Die tragende Mauerwerksschale war bei 13 Bauten (43%) aus Ziegel, bei zehn Bauten (33%) aus Porenbeton und bei sieben Bauten (23%) aus Kalksandstein. Andere Steinarten oder Ortbeton wurden an diesen Bauteilen nicht oder nur an kleinen Teilflächen eingesetzt. Als Kerndämmung wurden in den zweischaligen Wandkonstruktionen in 17 von 21 Fällen (81 %) Glaswolle-Matten, in drei Fällen (14 %) Steinwolle-Matten und in einem Fall (5 %) Polystyrol-Hartschaumplatten eingesetzt. Die Schichtdicken betragen 13-18 cm, die Aufbauten waren sämtlich ohne Hinterlüftung der Vormauer. Mineralwolle-Dämmungen wurden zur Vermeidung von Fugen meist zweilagig und fugenversetzt montiert. Die einzige Hartschaum-Kerndämmung wurde dagegen nur einlagig montiert und wies trotz Nut-Feder-Profilierung nachher deutlich thermisch wirksame Fugen auf, die in der späteren Thermographie als streifenweise Erwärmung des Klinkers erkennbar waren und die generelle Eignung von Hartschaumplatten für die Kerndämmung zweischaligen Mauerwerks eher fraglich erscheinen lassen. Als Vormauersteine wurden bei 14 der 21 zweischaligen Wandaufbauten (66 %) Vollklinker, in vier Fällen (19 %) KS-Verblender und in drei Fällen (14 %) verputzte Hochlochziegel eingesetzt. Die neun Objekte aus einschaligem Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem wurden sämtlich einlagig mit Polystyrol-Hartschaumplatten von 14-18 cm Stärke gedämmt und mit mineralischem Putz verputzt. (Bild 4.4-4) auf der folgenden Seite zeigt die geplanten und tatsächlich ausgeführten Aufbauten der untersuchten Außenwände gegen Luft.

Die **Bauausführung der Außenwände** unterscheidet sich in 19 von 30 Fällen (63%) von der Planung. Abweichungen ergaben sich durch Einsatz anderer als geplanter Mauersteine, Dämmstoffqualitäten und Dämmstoffstärken. In mehreren Objekten wurden Mauersteine höherer Wärmeleitfähigkeit eingesetzt als geplant. In einem Objekt wurden Teile der Außenwände aus KS bzw. Beton statt aus Leichthochlochziegeln errichtet. In einem anderen wurden alle Außenwände aus KS statt aus Porenbeton hergestellt. In mehreren NEH wurden zwar Steine aus gleichem Material, jedoch mit schlechterer energetischer Qualität eingesetzt, so in drei Fällen Standard-Hochlochziegel mit $\lambda = 0,42 \text{ W/mK}$ statt geplanter Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$ und in mehreren Fällen Porenbeton-Steine mit $\lambda = 0,16$ oder $0,18$ statt mit $0,12 \text{ W/mK}$. Gerade bei diesen Mauerwerken hätten die Steine höhere Beiträge zum Wärmeschutz liefern sollen. In sieben Objekten wurden statt geplanter Dämmstoffe der WLG 035 solche der WLG 040 mit um 14 % schlechterer Dämmwirkung eingebaut, in drei anderen allerdings WLG 035- statt WLG 040-Qualitäten. Bei einem Gebäude wurde statt 15 cm Dämmung in WLG 035 nur 6 cm in WLG 040 eingebaut. Diese gravierende Abweichung wurde erst bemerkt, als die Verklammerung schon

Bild 4.4-4: Geplante und tatsächlich gebaute Außenwand-Konstruktionen.

Objekt	geplant									gebaut								
	Putz cm	Innenmauerschale			Dämmung		Vormauer- schale Material	Putz cm	k-Wert W/m²K	k-Wert W/m²K	Putz cm	Innenmauerschale			Dämmung		Vormauer- schale Material	Putz cm
		Stärke cm	Material KS/GB LHLZ/HLZ	Lambda Mauerw. W/m²K	WLG O35	WLG O40						Stärke cm	Material KS/GB LHLZ/HLZ	Lambda W/m²K	WLG O35	WLG O40		
8	1,5	24	LHLZ	0,180	-	14	Klinker	-	0,194	0,194	1,5	24,0	LHLZ	0,180	-	14	Klinker	-
9	1,5	17,5	GB	0,120	12	-	KS-Verblender	-	0,195	0,210	1,5	17,5	GB	0,120	-	12	KS-Verblender	-
10	1,5	17,5	LHLZ	0,210	-	15	Klinker	-	0,205	0,205	1,5	17,5	LHLZ	0,210	-	15	Klinker	-
11	1,5	24,0	LHLZ	0,240	12	-	KS-Verblender	-	0,208	0,225	1,5	24,0	LHLZ	0,210	-	12	KS-Verblender	-
11 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,410	1,5	24,0	LHLZ	0,240	-	4	KS	-
11 ⁽²⁾	1,5	24,0	LHLZ	0,240	12	-	KS-Verblender	-	0,208	0,255	1,5	24,0	KS/Beton	0,560	-	12	KS-Verblender	-
12	1,5	17,5	LHLZ	0,180	12	-	Klinker	-	0,215	0,215	1,5	17,5	LHLZ	0,180	12	-	Klinker	-
13	1,3	24,0	LHLZ	0,210	15	-	-	2,0	0,177	0,184	-	24,0	GB	0,160	-	15	-	2,0
14	1,5	17,5	GB	0,180	-	15	Klinker	-	0,198	0,220	1,5	17,5	GB	0,180	-	13	Klinker	-
15	1,5	17,5	LHLZ	0,180	-	14	-	1,5	0,214	0,214	1,5	17,5	LHLZ	0,180	-	14	-	1,5
16	1,5	17,5	LHLZ	0,210	14	-	HLZ	1,5	0,186	0,207	1,5	17,5	LHLZ	0,210	-	14	HLZ	1,5
17	1,5	17,5	KS	0,560	15	-	Klinker	-	0,204	0,214	1,5	17,5	KS	0,560	14	-	Klinker	-
18	1,5	17,5	GB	0,120	-	14	KS-Verblender	-	0,190	0,205	1,5	17,5	GB	0,120	-	12	KS-Verblender	-
18 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,275	1,5	17,5	GB	0,120	-	7	KS	-
19	1,5	17,5	HLZ	0,390	-	15	Klinker	-	0,217	0,215	1,5	17,5	HLZ	0,390	8	6	Klinker	-
20	1,5	24,0	GB	0,160	12	-	Klinker	-	0,192	0,188	1,5	24,0	GB	0,160	-	14	Klinker	-
21	1,5	17,5	LHLZ	0,210	15	-	Klinker	-	0,183	0,194	1,5	17,5	LHLZ	0,210	-	14	Klinker	-
22	1,5	17,5	GB	0,290	14	-	Klinker	-	0,209	0,209	1,5	17,5	GB	0,290	14	-	Klinker	-
23	1,5	17,5	LHLZ	0,210	14	-	HLZ	1,5	0,178	0,188	1,5	17,5	GB	0,210	14	-	HLZ	1,5
24	1,5	24,0	GB	0,160	15	-	KS-Verblender	-	0,191	0,200	1,5	24,0	GB	0,160	14	-	KS-Verblender	-
25	1,5	17,5	LHLZ	0,390	-	-	HLZ	1,5	0,201	0,201	1,5	17,5	LHLZ	0,390	14	-	HLZ	1,5
26	1,0	17,5	KS	0,700	-	18	-	1,0	0,202	0,202	1,0	17,5	KS	0,700	-	18	-	1,0
1	2,0	17,5	GB	0,120	14	-	Klinker	-	0,174	0,182	-	17,5	GB	0,160	14	-	Klinker	-
2	1,5	17,5	KS	0,990	-	18	-	1,5	0,227	0,204	1,5	17,5	KS	0,990	-	18	-	1,5
3	1,5	24,0	LHLZ	0,160	-	13	Klinker	-	0,194	0,201	1,5	24,0	HLZ	0,390	-	16	Klinker	-
4	1,5	24,0	HLZ	0,039	16	-	-	1,5	0,184	0,184	1,5	24,0	HLZ	0,390	16	-	-	1,5
5	1,5	17,5	GB	0,200	14	-	Klinker	-	0,192	0,192	1,5	17,5	GB	0,200	14	-	Klinker	-
6	1,0	17,5	KS	0,990	-	18,5	-	1,5	0,199	0,204	1,0	17,5	KS	0,990	-	18	-	1,5
27																		
29	1,5	24,0	GB	0,220	-	18	-	1,5	0,173	0,200	1,5	24,0	KS	0,790	-	18	-	1,5
30	1,5	24,0	KS	0,790	-	18	-	1,5	0,200	0,200	1,5	24,0	KS	0,790	-	18	-	1,5
31	1,5	24,0	LHLZ	0,160	-	14	Klinker	-	0,185	0,202	1,5	24,0	HLZ	0,420	14	-	Klinker	-
32	1,5	24,0	LHLZ	0,160	-	14	Klinker	-	0,185	0,202	1,5	24,0	HLZ	0,420	14	-	Klinker	-
33	1,5	24,0	KS	0,500	-	16	-	1,5	0,213	0,213	1,5	24,0	KS	0,500	-	16	-	1,5

(1) Außenwand zur Garage

(2) Außenwand im Drempelbereich

zu einem Drittel fertiggestellt war, die zur Nachbesserung wieder komplett wieder entfernt werden mußte. Nur in zwei Fällen verbesserte sich durch die abweichende Bauausführung der k-Wert. In mehreren Fällen wurden Konstruktionen erst nach Bemängelung durch das NEI verbessert, die sonst die Soll-Werte einschließlich Toleranz verfehlt hätten.

Als **Unterschied zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten** ist festzustellen, daß sieben der 14 betreuten Objekte (50 %) mit höheren (schlechteren) k-Werten gebaut wurden, bei den nicht betreuten Objekten waren es dagegen neun von 13 Objekten (69 %), also mehr als zwei Drittel der Objekte. Verschlechterten sich die betreuten Objekte im Durchschnitt um vier Prozent, so waren es bei den nicht betreuten Objekten 6,2 %. Die "Betreuung" allein der Außenwände bewirkte im statistischen Mittel eine Verringerung des Wärmeleistungsbedarfs der NEH um etwa 1 %.

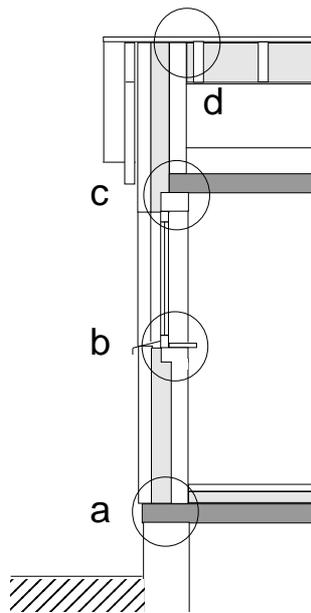


Bild 4.4- 5: Wärmebrücken an thermisch trennenden Außenwänden gegen Luft.

Wärmebrückenprobleme gab es an Außenwänden viele, vor allem an den unteren Anschlüssen zu Sohlplatten oder Kellerdecken (a), an den Fenster- und Türanschlüssen bei zweischaligem Mauerwerk (b), an den Durchgängen durch thermisch trennende Kehlbalkendecken (c) und an den Mauerkronen unter Schrägdächern (d). (Bild 4.4-5) zeigt schematisch die Lage solcher Wärmebrücken-Problempunkte. Die einzelnen im Untersuchungsgebiet aufgetretenen Probleme und Detaillösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Luftdichtheitsprobleme gab es an Außenwänden ebenfalls eine Vielzahl, vor allem wenn die für die Luftdichtheit bei Massivbauten entscheidenden Innenputze nicht vollflächig ausgeführt und nicht allseits an anschließende Böden, Decken und andere Wände auch hinter Vorwandinstallationen und Einbauten nahtlos herangeführt wurden. Sie traten auch auf, wenn Schlitze, Schächte oder Einbohrungen von in Außenwänden verlegten Installationen nicht sachgerecht verschlossen oder abgedichtet, wenn Fenster- und Türanschlüsse nicht sorgfältig angearbeitet, wenn Durchdringungen von Holzbalken, Metallträgern oder Installationen nicht sorgfältig abgedichtet oder wenn luftdichtende Folienränder anschließender Leichtbauteile (z.B. von Dächern) nicht fachgerecht an die Putzschichten der Außenwände angearbeitet wurden. Während die Luftdichtheiten durch Ausführungsmängel der Putzoberflächen systematisch den Außenwänden zuzurechnen sind, sind die anderen genannten Luftdichtheiten meist Fehler der jeweiligen Anschlußbauteile. In der

Praxis zeigt sich allerdings, daß für luftdichte Verbindungen von Bauteilen, die von zwei oder mehr verschiedenen Gewerken erstellt werden, es sowohl einer planerischen Abstimmung als auch einer Koordinierung der Arbeitsabläufe der betroffenen Gewerke bedarf und insofern auch die Ersteller von Mauerwerken und Putzen für die richtige Ausführung der Anschlüsse in gewissem Umfang mitverantwortlich sind. Näheres hierzu ist in den Kapiteln 6.2 und 6.4 beschrieben.

Komplikationen bei der Planung und Ausführung thermisch trennender Außenwände gab es im Untersuchungsgebiet in großer Zahl, obwohl es sich ausschließlich um normale Mauerwerkskonstruktionen in seit 1990 zugelassenen Aufbauvarianten handelt. Fehler traten dabei vor allem bei konventionellen zweischaligen Wandaufbauten auf, kaum dagegen bei einschaligen Außenwänden mit Wärmedämm-Verbundsystem. Dies steht im Widerspruch zur landläufigen Auffassung, daß die in Norddeutschland stark verbreitete zweischalige Bauweisen wenig fehleranfällig, einschalige Aufbauten mit Wärmedämm-Verbundsystem dagegen mit neuen unbekanntenen Risiken verbunden seien. Nachfolgend sind die wichtigsten beobachteten Mängel aufgelistet:

- Es wurden Steine mit deutlich höherer Wärmeleitfähigkeit ausgeschrieben, bestellt, geliefert oder eingebaut, als geplant und in der Energiebilanz eingerechnet. Die Ursachen hierfür waren unterschiedlich und nur teilweise nachvollziehbar.
- Teils wurde in der Planung irrtümlich angenommen, daß die für 24 cm oder 36,5 cm starke Steine in Katalogen deklarierten guten energetischen Eigenschaften auch für 17,5 cm oder 11,5 cm starke Steine gälten, was aber insbesondere bei Ziegeln nicht zutrifft.
- Teils wurde vom Planer nicht beachtet, daß Steine mit besonders niedriger Wärmeleitfähigkeit oft weniger belastbar sind, so daß auf Drängen des Statikers nachher andere Steine eingesetzt wurden.

- In mehreren Fällen wurde die geplante niedrige Wärmeleitfähigkeit von Mauerwerken, die nur in Verbindung mit Leichtmauermörteln oder Verklebungen gilt, praktisch nicht erreicht, weil tatsächlich mit Zementmörtel gemauert wurde. Dies erhöht die gesamte Wärmeleitfähigkeit besonders bei kleinformatigem Ziegelmauerwerk und bei Porenbeton erheblich.
- In mehreren Fällen waren die Ausschreibungs- und Auftragstexte für das Mauerwerk so unpräzise ("Uniporoton oder vergleichbar"), daß der Lieferant zulässigerweise Steine mit wesentlich schlechteren energetischen Eigenschaften liefern konnte als in der Energiebilanz einberechnet waren.
- Bei mehreren Bauvorhaben wurden bauseits noch kurz vor Baubeginn die Steineart von Ziegel auf KS, von Porenbeton auf Ziegel oder von Porenbeton auf KS geändert, in einem Falle auch von Ziegel auf Porenbeton.
- Nach Verbrauch der anfangs in zu geringer Menge angelieferten richtigen Steine wurden bei einigen Bauvorhaben, insbesondere bei solchen mit hoher Eigenleistung beim Rohbau, Teile des restlichen Mauerwerks aus Steinen anderer Herkunft und mit anderen Eigenschaften errichtet.
- In einigen Bauten mit nur 17,5 cm starken Außenwänden wurden von Anfang an oder nachträglich so große und lange Installationsschlitze längs und quer belassen, eingeschnitten oder eingeschlagen, daß man Bedenken haben konnte, ob dies nicht deren Tragfähigkeit beeinträchtigt (siehe Bild 4.4-6); dies zu prüfen war allerdings nicht Teil dieser Untersuchung. Derartige Schlitze, wenn Sie später mit Mörtel verfüllt werden, stellen jedoch in Mauerwerken aus Gasbeton und gut dämmendem Ziegel teils erhebliche Wärmebrücken dar; werden sie nur mit Dämmstoff verfüllt und überputzt, bringen sie teils Luftundichtigkeiten und Schallbrücken mit sich.
- In mehreren Gebäuden mit relativ leichten und wenig druckbelastbaren Mauerwerken wurden als Fensterstürze, unter Auflagerpunkten von Stürzen, Pfetten, Sparren und anderen Trägern, als Ringanker oder als flächige Aussteifungen Teile des Mauerwerks aus stabileren schwereren Steinen oder aus Beton erstellt. Hierbei entstanden teils erhebliche Wärmebrücken, wenn solche Teile des Mauerwerks nicht gesondert sorgfältig gedämmt wurden (näheres in Kapitel 5); in Energiebilanzen waren solche Fehlflächen in der Regel nie separat deklariert.
- Teile der Außenwandflächen, von denen irrigerweise angenommen wurde, daß an diese geringere Wärmeschutzanforderungen bestünden, wurden aus anderen Steinen und mit anderen Dämmungen hergestellt als die sonstigen Außenwände. Dies betrifft z.B. Außenwände zu unbeheizten Wintergärten (Bild 4.4-7) oder zu Garagen (Bild 4.4-8). Hier wurden in einem Falle durch Ausführung in KS statt in Ziegelmauerwerk und durch nur 4 cm statt 12 cm Kerndämmung ein mehr als doppelt so hoher k-Wert realisiert wie geplant und vorgeschrieben. Die erheblichen Wärmeabflüsse über solche Hüllflächen wurden thermographisch dokumentiert (Bild 4.4-9).
- Die Kerndämmung im zweischaligen Mauerwerk, die seit 1990 in DIN 1052 als Regelaufbau im zweischaligen Mauerwerk eingestuft ist, wurde oft mangelhaft verarbeitet. Einlagige Dämmungen wurden mit Luftspalten an ihren Stößen, mit aufklaffenden Fugen an Innen- und Außenecken oder Fensteranschlüssen eingebaut (Bilder 4.4-10 und 4.4-11). Zweilagige Dämmungen wurden ohne Fugenversatz eingebaut, so daß der Vorteil der zweilagigen Ausführung verloren ging. In einem Gebäude mit Kerndämmung aus PS-Hartschauplatten wurden die Dämmplatten trotz Nut-Feder-Profil mit so großen vertikalen Fugen verlegt, daß die Wärmeabflüsse durch diese Spalten den äußeren Klinker streifig erwärmen, was thermographisch sichtbar gemacht werden konnte (Bilder 4.4-12 und 4.4-13). In mehreren Gebäuden wurden Mauerwerk und Dämmung bei Regenwetter ohne ausreichenden Wetterschutz über Nächte und Wochenenden errichtet, so daß es zu sehr starkem Nässeeintrag in die Kerndämmung kam. In einem Gebäude mit überwiegend bodentiefen Fenstern floß tagelang das gesamte sich auf der Betondecke sammelnde Regenwasser an den Fußpunkten der Fensterauschnitte in die Kerndämmung des darunterliegenden Mauerwerks ab.
- Die Bemessung der Schalenabstände für Kerndämmung und die Dimensionierung der Maueranker erfolgte häufig ungenau. So wurden geplante Kerndämmungen mit tatsächlichem Abstand zwischen Außenoberfläche der Dämmschicht und Innenoberfläche der Vormauer von 2-5 cm ausgeführt, was einer hinterlüfteten Dämmung entspricht. Dies gilt insbesondere, wenn auch die für den Wasserablauf vorgesehenen unteren Lüftungsöffnungen so groß bemessen sind, daß sie eine Hinterlüftung der Vormauer ermöglichen und die Luftschicht hinter der Vormauer an der Mauerkrone nicht verschlossen wird.

Bei solchen ungeplant großen Schalenabständen waren dann in mehreren Fällen auch die Mauerankerlängen sehr knapp kalkuliert.

- Eine völlig unzureichende Dämmung der zweischaligen Außenwand von nur 6 cm statt geplanter 12 cm erfolgte in einem Falle durch nicht genau aufgeklärte Ursachen. Hier mußte die bereits zu etwa einem Drittel fertige Verklinkerung wieder abgerissen werden (Bild 4.4-16).
- Bei der Planung der Kellermauerkronen wurden in fünf Fällen die dickeren Außenwandaufbauten im EG nicht bedacht, sodaß nachher kein ausreichendes nach außen gerücktes Klinkerauflager vorhanden war und nachträglich Winkelschienen als Klinkerauflager montiert werden mußten (Bild 4.4-17).
- Bei der Ausgestaltung von Fenstermauernasen, Fensterbänken und -stürzen bei zweischaligem Mauerwerk mit 13-16 cm Schalenabstand waren in den meisten Fällen die Anschlußdetails nicht konkret geplant oder die Plannugsdetails wurden den ausführenden Firmen nicht übermittelt. Die Bauausführung war dann improvisiert oder anderweitig mangelhaft, so daß Probleme mit Wärmebrücken, mit der äußeren Wasserabdichtung oder mit der sicheren Befestigung von Fenstern und Türen entstanden. Auch die Einbindung von handelsüblichen und nachträglich gedämmten Rolladenkästen in Außenwände bereitete oft Probleme. Diese werden in Kapitel 5 behandelt.
- Die thermische Entkoppelung von Klinkerauflagern auf "warmen" Decken, z.B. auf unterseitig gedämmten Erkerbodenplatten oder auf oberseitig gedämmten Erkerdächern sowie von Klinkerauflagern, die mangels Decken direkt an Außenwänden befestigt wurden, war in vielen Fällen nicht geplant und wurde fehlerhaft ausgeführt. Durch Bemängelung der Planung und Intervention vor Ort konnten in einigen Fällen akzeptable Lösungen gefunden werden; in anderen Fällen führte die verspätete Detailplanung zu überteuerten Lösungen.
- Die thermische Entkoppelung aufstehender "warmer" Innenschalen der Außenwand auf kalten Sohlplatten oder auf Kellerdecken durch wenig wärmeleitende Mauergrundsteine oder Spezialwerkstoffe war bei vielen Objekten anfangs überhaupt nicht vorgesehen, wurde aber im Regelfall nachträglich aufgrund der Bauberatung eingeplant. In einigen Fällen wurden Mauergrundsteine zwar richtig eingeplant, aber falsch eingebaut, so daß ihr Wärmedämmeffekt verringert oder aufgehoben wurde. Beispiele und Bilder hierzu enthält Kapitel 5.2.
- Die Wärmebrücken an Mauerdurchgängen von Außenwänden durch obere thermische Trenndecken z.B. durch Kehlbalkendecken unter unbeheizten Spitzböden oder an Mauerkronen unter der Dachendeckung waren in nur ganz wenigen Fällen planerisch bedacht worden. Sie wurden aber bei der Mehrzahl der Fälle nach entsprechendem Hinweis richtig nachgebessert. Nur in wenigen Fällen wurden derartige Mängel bestehen gelassen. Beispiele und Bilder hierzu enthält Kapitel 5.7.
- Die Unterfangung bodentief geplanten Fenstern oder Türen auf "kalten" Sohlplatten oder thermisch trennenden Kellerdecken mit Aufbauhöhen von 16-18 cm war oft nicht oder falsch geplant und wurde bei der Ausführung nur improvisiert. Dadurch entstanden unter solchen Fenstern und Türen starke Wärmebrücken und Luftundichtheiten. Beispiele hierzu enthalten Kapitel 5.5 und 6.4.
- Die für die Luftdichtheit wichtige innere Putzoberfläche wurde häufig nicht vollflächig oder nicht bis an alle luftdichte-relevanten Anschlüsse hingeführt. Meist wurde der Innenputz an Außenwänden hinter Vorwandinstallationen, Badewannen oder anderen festen Einbauten überhaupt nicht aufgebracht. In vielen Fällen wurden vor dem Verputzen auf dem Boden direkt an der Wand Elektro-, Heizungs- oder Sanitärleitungen so verlegt, daß der Putz hinter diesen nicht mehr bis auf die Rohdecke herab aufgebracht werden konnte. Dies führt besonders bei Mauerwerk aus Ziegeln und großformatigen KS- oder Porenbetonsteinen, deren vertikale Fugen nicht oder nur noch teilweise vermörtelt werden, zu großen Luftleckagen.
- Drempeiwände aus Mauerwerk in zugänglichen oder unzugänglichen Abseiten wurden in mehreren Fällen nicht verputzt und auch in der vorgestellten Abseitenwand wurde keine oder nur eine improvisierte Luftdichtung hergestellt, so daß insgesamt keine ausreichende Luftdichtheit der Außenwände im Drempebereich erreicht wurde. Die Abbildungen dazu sind in Kapitel 6.2 enthalten.

Nachfolgende Bilder zeigen solche problematischen Details ausgeführter Außenwände:



Bild 4.4- 6: Schwächung von 17,5er-Mauerwerk durch mehrere haushohe Schlitze.



Bild 4.4- 7: Unzureichende Wärmedämmung an Außenwand zu Wintergarten.



Bild 4.4- 8: Optische Ansicht Außenwand und unzureichend gedämmte Trennwand zur Garage.

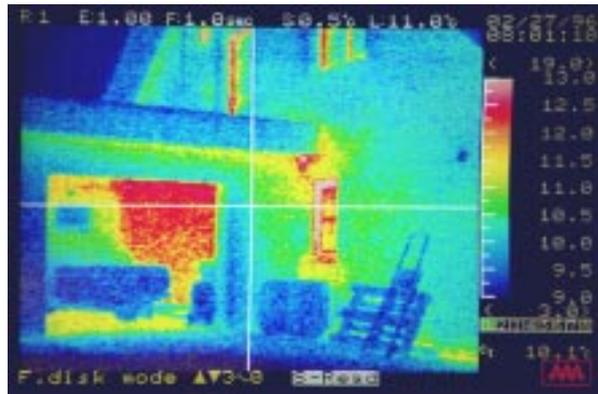


Bild 4.4- 9: Thermographie Außenwand und unzureichend gedämmte Trennwand zur Garage.



Bild 4.4- 10: Optische Ansicht Verklinkerung an Haustür-Erker mit versteckten Dämmstoff-Mängeln.

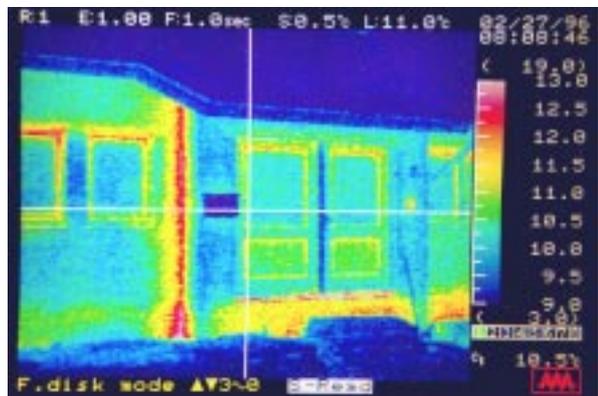


Bild 4.4- 11: Thermographie Verklinkerung an Haustür-Erker mit stark erhöhtem Wärmeabfluß im Inneneck.



Bild 4.4- 12: Optische Ansicht Südfassade mit versteckten Mängeln der PS-Kerndämmung.



Bild 4.4- 13: Thermographie Südfassade mit warmen Klinkerstreifen an offenen Dämmstoffplatten-Fugen.



Bild 4.4- 14: Optische Ansicht Südostfassade mit versteckten Mängeln am PS-Thermohautsockel.

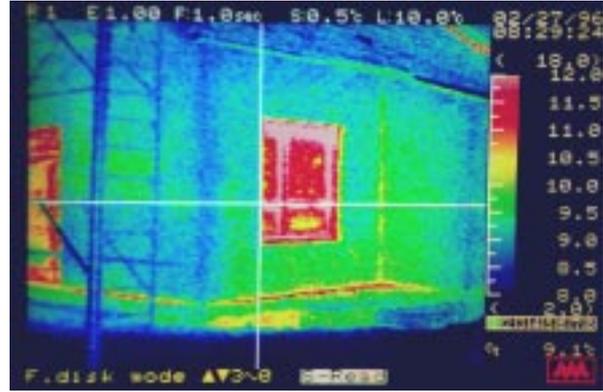


Bild 4.4- 15: Thermographie Südostfassade mit erkennbaren Wärmeabflüssen an Plattenfugen.



Bild 4.4- 16: Klinker muß abgerissen werden wegen ungenügender Dämmung.



Bild 4.4- 17: 18 cm Kerndämmung aus Mineralwolle im Eingangsbereich eines Mehrfamilienhauses.



Bild 4.4- 18: Zu kleiner Kellermauvorsprung für 15 cm Dämmung und Klinker.



Bild 4.4- 19: Edelstahl-Winkelschiene für das Klinkerauflager. Die Spezialanfertigung für die Verbreiterung des zu schmalen Mauervorsprungs wird in die Innenmauerschale eingestemmt.

4.5. Innenwände beheizter zu unbeheizten Räumen

Thermisch trennende Innenwände zwischen beheizten und unbeheizten Räumen kommen im Untersuchungsgebiet in 29 der 31 Objekte vor. Sie verlaufen in Einfamilienhäusern zwischen unbeheizten Kellern und zum beheizten EG hin offenen Kellertreppenabgängen oder zwischen abgetrennten unbeheizten Kellertreppenabgängen und beheizten Erdgeschoß-Wohnräumen. In Mehrfamilienhäusern kommen diese Bauteile zwischen unbeheizten Kellern und beheizten Souterrainwohnungen oder zwischen unbeheizten Treppenhäusern⁽¹⁾ und beheizten Wohnungen vor. Nicht als thermisch trennende Innenwände, sondern als Außenwände gelten nach dem Detmolder NEH-Standard Wände zu Abseitenbereichen im Dachgeschoß, Trennwände zwischen beheizten und nicht ausgebauten Dachräumen oder Wände zu Garagen wegen der hier höheren Temperaturdifferenzen zwischen innen und außen.

Der Detmolder NEH-Standard verlangt bei Innenwänden zwischen beheizten und unbeheizten Räumen die Einhaltung eines **k-Wertes von $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$** . Eine Überschreitung des Vorgabewertes um bis zu 10 % war zulässig, wenn der gesamte Wärmeleistungsbedarf des Objektes von 40 W/m^2 trotzdem erreicht wurde. Um diesen k-Wert zu erreichen, sind bei üblichen KS- oder Ziegelwänden 9 -12 cm zusätzlicher Dämmung erforderlich, je nachdem, ob teurere Dämmstoffe der WLG 030 oder preiswertere der WLG 035 oder 040 eingesetzt werden. Massive Wände ohne Zusatzdämmung erreichen diesen k-Wert selbst bei Verwendung besonders gut isolierender Steine nur mit sehr hohen Wandstärken. Beim leichtesten marktgängigen Porenbeton mit 400 g/l und $\lambda = 0,120 \text{ W/mK}$ sind z.B. 36,5 cm Wandstärke erforderlich. Diese Variante wurde mehrfach realisiert. Mit üblichen Ziegeln wären für einen k-Wert von $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ dagegen über 60 cm, mit KS etwa 2 Meter Wandstärke erforderlich, was unrealistisch ist.

(Bild 4.5-1) zeigt die erforderlichen Dämmstoffstärken bei verschiedenen Dämmstoffqualitäten am Beispiel zweier häufiger Innenwand-Aufbauten:

Wandkonstruktion und Material	Dämmstoff Qualität	Schichtdicke des Materials				
		12 cm	11 cm	10 cm	9 cm	8 cm
11,5 cm KS (0,79 W/mK) mit beidseitig 1,5 cm Putz	WLG 040	0,292	(0,315)	(0,342)	(0,347)	(0,413)
	WLG 035	0,260	0,280	(0,305)	(0,334)	(0,369)
	WLG 030	0,226	0,245	0,266	0,292	(0,324)
24,0 cm KS (0,79 W/mK) mit beidseitig 1,5 cm Putz	WLG 040	0,289	0,300	(0,325)	(0,353)	(0,387)
	WLG 035	0,249	0,269	0,291	(0,317)	(0,349)
	WLG 030	0,218	0,235	0,255	0,279	(0,308)

Bild 4.5- 1: k-Werte von Innenwänden zwischen beheizten und unbeheizten Räumen bei unterschiedlichen Dämmstoffqualitäten und Dämmstoffstärken. Werte in Klammern erfüllen nicht den DT-NEH-Standard.

Die k-Werte der **geplanten und realisierten thermisch trennenden Innenwände** im Untersuchungsgebiet zeigt (Bild 4.5-2). Die gebauten Ausführungen sind unterschieden in die in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Gebäude. Bei Objekten mit mehreren Balken oder Balkenpaaren (Nr. 10-12, 21, 23 und 29) existieren verschiedene Konstruktionsvarianten thermisch trennender Innenwände. Für Objekt 27 fehlen die Werte, da noch keine Gebäudeplanung vorliegt und auch mit dem Bau noch nicht begonnen wurde.

(1) Nach Detmolder NEH-Standard ist die Beheizung von Treppenhäusern in Mehrfamilienhäusern weder direkt durch Heizkörper noch indirekt durch den Wärmeabfluß über nur wenig gedämmte Wohnungstrennwände erlaubt. Trennwände zwischen beheizten Wohnungen und unbeheizten Treppenhäusern müssen somit grundsätzlich wärmedämmend werden. Auf die Wärmedämmung kann jedoch verzichtet werden, wenn das Treppenhaus ohne Einsatz von Brennstoff beheizt wird, z.B. aus rückgewonnener Abluftwärme der Lüftungsanlagen. Diese Lösung wurde in vier Mehrfamilienhäusern im Untersuchungsgebiet realisiert. Weiterhin kann auch mittels einer separaten Energiebilanz der Treppenhäuser ermittelt werden, ob aufgrund des Größenverhältnisses aller Wohnungstrennwände zu allen äußeren Hüllflächen des Treppenhauses ein gleich geringer Wärmeabfluß aus den Wohnungen wie bei den Standardvorgaben (s.o.) auch mit verringerter Dämmung erreicht wird. Von dieser Möglichkeit wurde bei einem Bauvorhaben Gebrauch gemacht. Zu weiteren Fragen der Zonierung kalt/warm siehe Kapitel 2.2.

Die geplanten k-Werte liegen außer bei den Objekten 1, 26 und 33 knapp unter dem Vorgabewert von 0,3 W/m²K. Bei MFH 31/32 wurde die 10-%-Toleranz ausgeschöpft, bei MFH 33 konnte nach gesonderter Berechnung der Treppenhaus-Energiebilanz⁽¹⁾ ein k-Wert von 0,471 W/m²K akzeptiert werden.

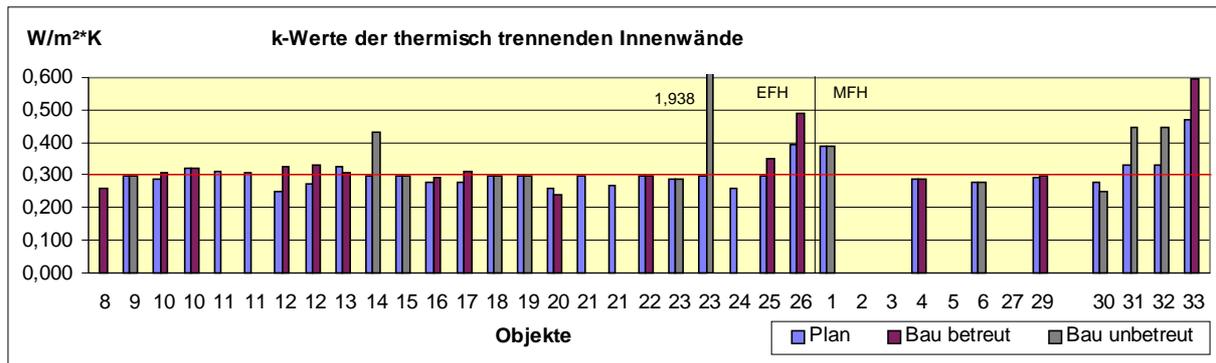


Bild 4.5- 2: k-Werte der geplanten und gebauten thermisch trennenden Innenwände.

(Bild 4.5-3) zeigt die Anteile der Innenwände zwischen beheizten und unbeheizten Räumen an der thermischen Hüllfläche und an den Transmissionswärmeverlusten der untersuchten NEH. Bei den Objekten 2 und 5 kommen keine solchen Wände vor; ihre Treppenhauswände sind wegen Erwärmung nur über Abluft-WRG nicht thermisch trennend im Sinne des DT-NEH-Standards. Bei den Objekten 3 und 19 fehlen Daten, da keine gültigen Energiebilanzen vorliegen.

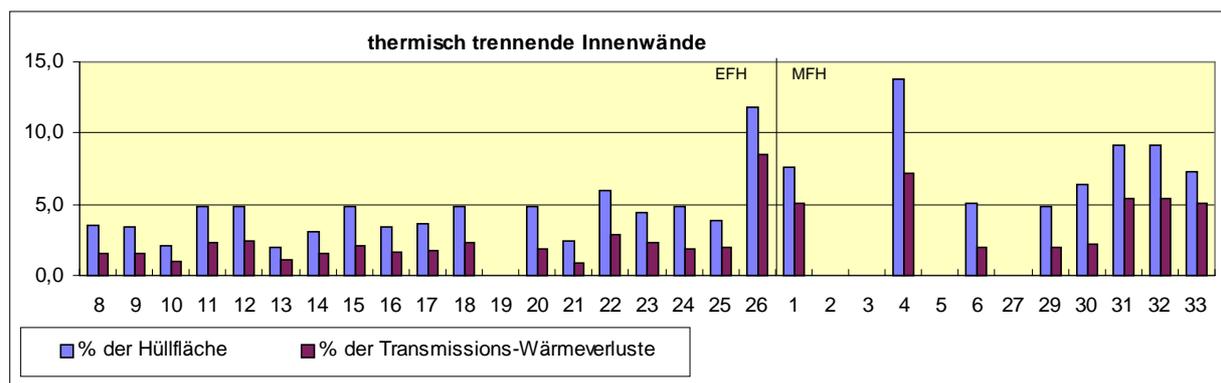


Bild 4.5- 3: Anteile der Innenwände zwischen beheizten und unbeheizten Räumen an Hüllflächen und Transmissionswärmeverlusten von NEH.

Die **Anteile der Innenwände an der thermisch trennenden Hüllfläche** (blaue Balken in Bild 4.5-3) und am Transmissionswärmebedarf (rote Balken in Bild 4.5-3) unterscheiden sich je nach Gebäudetyp. Ihre Flächenanteile an der gesamten thermisch trennenden Hüllfläche liegen bei EFH bei drei bis sieben Prozent, bei MFH dagegen bei fünf bis 14 Prozent. Bei EFH sind es meist nur kleinere Trennwände zwischen unbeheizten Kellern und den Kellertreppenabgängen. Bei MFH kommen dagegen größere Innenwände zwischen unbeheizten und beheizten Kellerbereichen sowie zwischen unbeheizten Treppenhäusern und den Wohnungen vor. Der Anteil der Wärmeverluste über solche Innenwände am jeweils gesamten Transmissionswärmebedarf liegt bei den EFH zwischen 0,8 und 3,4 Prozent und bei den MFH bei 2,0 bis 8,5 Prozent und ist damit etwa halb so groß wie ihr Flächenanteil. Dies liegt an der an diesen Wänden anstehenden geringeren Temperaturdifferenz von nur 13 Kelvin zwischen den beheizten (+20°C) und den unbeheizten Räumen (+7°C) gegenüber sonst 32 Kelvin an Hüllflächen zwischen beheizten Räumen (+20°C) und Außenluft (-12°C) zum Auslegungszeitpunkt.

Als **Konstruktionsvarianten** thermisch trennender Innenwände kommen im Baugebiet 36,5 cm starke Porenbeton-Wände ohne Zusatzdämmung, 11,5 bis 24 cm starke KS- oder Ziegelwände mit unterschiedlich starken kalt- oder warmseitigen Zusatzdämmungen sowie reine Leichtbauwände mit Dämmstofffüllungen vor. Die Konstruktionsentscheidung hing meist vom Platzbedarf, von der Anforderungen an Belastbarkeit, Schall- und Brandschutz sowie davon ab, welche Materialien sonst am Bau verwendet wurden. Überwiegend wurden schwere Mauerwerke mit einseitiger Zusatzdämmung gewählt, die bei 17,5 oder 24 cm Wandstärke bereits hohe Belastbarkeit und guten Schallschutz bieten.

Bild 4.5-4: Geplante und tatsächlich gebaute thermisch trennende Innenwandkonstruktionen

Lage des Bauteils im Gebäude (s. Legende)	Bauteil selbst erkannt? ja / nein	geplant										gebaut											
		Dämmg. a.kalterSeite				Wand			Dämmg. a. warm.Seite			k-Wert	k-Wert	Dämmg.a.kalt.Seite			Wand			Dämmg.a.warm.Seite			
		WLG 30 cm	WLG 035 cm	WLG 040 cm	Holz-Anteil ja/nein	Stärke cm	Material	Lambda W/m²K	WLG 035 cm	WLG 040 cm	Holz-Anteil ja/nein			WLG 035 cm	WLG 040 cm	Holz-Anteil ja/nein	Stärke cm	Material Wand	Lambda W/m²K	WLG 035 cm	WLG 040 cm	Holz-Anteil ja/nein	
KG/Treppe	ja	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,257	-	-	-	17,5	GB	0,240	10,0	-	-
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	0,300	0,300	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	11,5	KS	0,560	-	12	-	0,286	0,307	-	-	-	11,5	KS	0,560	-	12	-	
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	-	Leichtbau	-	12	-	ja	0,322	0,322	-	-	-	-	Leichtbau	-	-	12	ja	
KG/Treppe	?	-	-	10,0	-	11,5	Bimsst.	0,490	-	-	-	0,314	?	-	?	-	11,5	Bimsst.	0,490	-	-	-	
KG/Treppe	?	-	-	10,0	-	17,5	Bimsst.	0,490	-	-	-	0,307	?	-	?	-	17,5	Bimsst.	0,490	-	-	-	
EG/KG-Treppe	ja	8	-	-	-	17,5	LHLZ	0,180	-	-	-	0,250	0,328	-	-	-	17,5	KS	0,560	-	10,0	-	
EG/KG-Treppe	ja	8	-	-	-	11,5	LHLZ	0,180	-	-	-	0,273	0,329	-	-	-	11,5	KS	0,560	-	10,0	-	
EG/KG-Treppe	ja	-	-	10,0	-	24,0	LHLZ	0,450	-	-	-	0,325	0,309	-	-	-	LB-Wand mit 10 cm WLG 035	-	-	-	-	-	
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	0,300	0,431	-	-	-	36,5	GB	0,180	-	-	-	
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	0,300	0,300	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	
KG/Treppe	ja	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,276	0,293	-	-	-	17,5	KS	0,700	10,0	-	-	
KG/Treppe	ja	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,276	0,310	-	-	-	24,0	KS	0,560	-	10,0	-	
KG/Treppe	?	-	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	0,300	0,300	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	
KG/Treppe	?	-	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	0,300	0,300	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	
KG/Treppe	ja	-	10,0	-	-	11,5	GB	0,160	-	-	-	0,260	0,239	-	15,0	-	11,5	KS	0,790	-	-	-	
EG/KG-Treppe	ja	-	-	9,0	-	17,5	LHLZ	0,210	-	-	-	0,296	?	?	?	?	17,5	LHLZ	0,210	?	?	?	
EG/KG-Treppe	ja	-	-	9,0	-	24,0	LHLZ	0,210	-	-	-	0,271	?	?	?	?	24,0	LHLZ	0,210	?	?	?	
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	0,300	0,300	-	-	-	36,5	GB	0,120	-	-	-	
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	24,0	KS	0,790	10,0	-	-	0,289	0,289	-	-	-	24,0	KS	0,790	10,0	-	-	
KG/Treppe	ja	-	-	-	-	27,5	KS	0,790	10,0	-	-	0,296	1,938	-	-	-	24,0	KS	0,790	-	-	-	
KG/Treppe	ja	-	10,0	-	-	11,5	GB	0,160	-	-	-	0,258	?	?	?	?	11,5	KS	0,700	?	?	?	
KG/Treppe	ja	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,300	0,349	-	12,0	ja	17,5	KS	0,700	-	-	-	
TRHS/Wohnr.	nein	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0,395	0,492	-	6,0	-	17,5	KS	0,700	-	-	-	
TRHS/Wohnr.	nein	-	-	-	-	24,0	GB	0,180	3	-	-	0,391	0,391	-	-	-	24,0	GB	0,180	3	-	-	
TRHS m. WRG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TRHS/Wohnr.	nein	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	
TRHS/Wohnr.	ja	-	10,0	-	-	24,0	KS	0,790	-	-	-	0,289	0,289	10,0	-	-	24,0	KS	0,790	-	-	-	
TRHS m. WRG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
KG/Treppe	ja	-	-	12,0	-	24,0	KS	0,990	-	-	-	0,278	0,278	-	12,0	-	24,0	KS	0,990	-	-	-	
KG/Wohnr.	ja	-	-	-	-	17,5	KS	0,700	10,0	-	-	0,293	0,297	10,0	-	-	24,0	KS	0,790	-	-	-	
KG/Wohnr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
KG/Wohnr.	ja	-	-	12,0	-	24,0	KS	0,790	-	-	-	0,278	0,248	12,0	-	-	24,0	KS	0,790	-	-	-	
TRHS/Wohnr.	ja	-	8,0	-	-	24,0	KS	0,560	-	-	-	0,330	0,445	-	6,0	-	24,0	KS	0,560	-	-	-	
TRHS/Wohnr.	ja	-	8,0	-	-	24,0	KS	0,560	-	-	-	0,330	0,445	-	6,0	-	24,0	KS	0,560	-	-	-	
TRHS/Wohnr.	ja	-	-	6,0	-	24,0	KS	0,560	-	-	-	0,471	0,593	-	3,0	-	24,0	KS	0,560	-	-	-	

KG/Treppe Wand zwischen Kellerräumen und warmem Kellerflur
 KG/Wohnr. Wand zwischen Kellerräumen und Wohnräumen im Keller
 EG/KG-Treppe Wand zw. Wohnräumen im Erdgeschoß und abgetrenntem unbeheiztem Kellerabgang

TRHS/Wohnr. Wand zwischen Wohnräumen und unbeheiztem Treppenhaus im MFH
 TRHS m. WRG Treppenhaus über Abluft-WRG aus Wohnungsabluft beheizt, Wände nicht thermisch trennend

Bei den 19 EFH mit thermisch trennenden Innenwänden zwischen unbeheizten Kellern und warmem Kellerflur kommen 24 verschiedene Konstruktionsvarianten dieses Bauteils vor. Die preiswertere und in der Herstellung einfache Variante mit ungedämmtem leichtem 36,5er Porenbeton-Mauerwerk ($\lambda = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$) wurde in sechs EFH realisiert. Zwei EFH-Innenwände wurden als Leichtbaukonstruktionen errichtet, die restlichen aus einseitig zusatzgedämmtem schwerem Mauerwerk. Die Zusatzdämmung der Trennwände wurde in den EFH teils kellerseitig, teils flurseitig aufgebracht, wofür die Vermeidung von Wärmebrücken an den Anschlüssen maßgeblich war. In MFH wurden als thermisch trennende Wohnungstrennwände zum unbeheizten Treppenhaus in acht Fällen einseitig zusatzgedämmte KS- oder Ziegelwände errichtet. Hier lag die Dämmung stets auf der kalten Treppenhaus- bzw. Kellerseite und wurde in allen Fällen aus Kostengründen trotz der Nachteile für den Schallschutz aus Polystyrol-Hartschaumplatten der WLG 035 oder 040 und nicht aus Mineralwolle ausgeführt. Wohnungstrennwände aus monolithischem Mauerwerk ohne Zusatzdämmung oder in zweischaliger Ausführung mit Kern-dämmung wurden nicht realisiert.

Die **geplante und tatsächliche Bauausführungen** wichen bei diesem Bauteil bei 15 von 23 der untersuchten NEH (65 %) mit definierter Planung und feststellbarer Bauausführung voneinander ab. Nur bei drei Objekten verbesserte sich durch die abweichende Bauausführung der k-Wert, bei 15 Objekten verschlechterte er sich. In der tatsächlichen Bauausführung wurde in vierzehn Fällen (61 %) der vorgegebene k-Wert von $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ überschritten, in zwölf Fällen (52 %) sogar der Toleranzbereich von $0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$, so daß zu Nachbesserungen aufgefordert werden mußte. Im Durchschnitt aller Objekte waren thermisch trennende Innenwände mit einem k-Wert von $0,308 \text{ W/m}^2\text{K}$ geplant und mit k-Wert von $0,403 \text{ W/m}^2\text{K}$ (+31 %) gebaut.

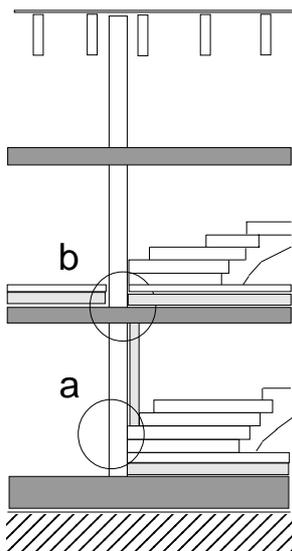


Bild 4.5- 6: Wärmebrücken an Innenwänden zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller

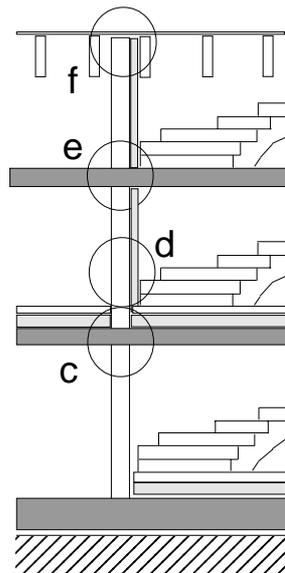


Bild 4.5- 7: Wärmebrücken an Innenwänden zwischen beheizten Räumen und unbeheiztem Treppenhaus

Wärmebrückenprobleme gab es an Innenwänden zwischen beheizten und unbeheizten Räumen viele, wenn auch mit geringerer Problematik wegen nur 13 Kelvin Temperaturdifferenz zwischen warmer und kalter Seite dieser Bauteile. Bilder 4.5-6 und 4.5-7 zeigen schematisch die Lage solcher Wärmebrücken-Problempunkte. Die einzelnen im Untersuchungsgebiet aufgetretenen Probleme und Detaillösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Bei warmseitig gedämmtem, also kaltem Mauerwerk traten Wärmebrücken an Anschlüssen von Treppenläufen (a) und von aufstehenden warmen Wänden (b) auf. Bei kalt-seitig gedämmtem "warmem" Mauerwerk gab es Wärmebrücken an den unteren oder seitlichen Anschlüssen an "kalte" Sohlplatten oder Kellerdecken (c), "kalte" Treppenläufe (d), "kalte" Treppenpodeste (e) sowie an Mauerkronen unter Schrägdächern, sofern diese nicht oberseitig gedämmt waren (f).

Luftdichtheitsprobleme traten an thermisch trennenden Innenwänden ebenfalls häufig auf. Ursachen der Luftundichtigkeiten waren meist Putz-Fehlstellen am Anschluß der Innenwände an Böden oder Decken, mangelhaft abgedichtete Durchdringungen von Installationen und fehlende oder mangelhaft ausgeführte Anschlüsse zwischen Leichtbau-Trennwänden und massiven Bauteilen und Treppenläufen. Näheres hierzu ist in Kapitel 6 beschrieben.

In der **Ausführungsphase betreute und nicht betreute Objekte** unterschieden sich deutlich in der Einhaltung der Vorgaben. Während die k-Werte der ausgeführten thermisch trennenden Innenwände bei den betreuten Objekten im Durchschnitt um 10,2 % höher waren als geplant, waren sie bei den nicht betreuten Objekten im Schnitt um 54,6 Prozent höher. Bei den Mehrfamilienhäusern 31 und 32 bewirkt

die Bau-Abweichung bei den thermisch trennenden Treppenhauswänden eine Verschlechterung des WLB um ein knappes Prozent. Infolgedessen halten diese Objekte den maximalen Wärmeleistungsbedarf des Detmolder NEH-Standards nicht mehr ein.

Komplikationen bei der Planung und Ausführung thermisch trennenden Innenwände gab es im Untersuchungsgebiet in großer Zahl:

- Der **Verlauf der thermischen Trennebenen** innerhalb des Gebäudes war oft anfangs nicht vollständig durchdacht und die Erfordernis, auch thermisch trennende Innenwände zu dämmen, wurde erst nach entsprechendem Hinweis erkannt. Infolge der Einsicht, daß dabei große Flächen zu dämmen wären, wurde die thermische **Zonierung teils nachträglich geändert**. In mehreren Einfamilienhäusern wurden z.B. nachträglich zusätzliche Kellertüren nahe der Kellerabgänge eingeplant, um das zum beheizten EG hin luftoffene, deshalb "warme" und insofern wärmezudämmende Kellerraumvolumen zu verkleinern.
- Die **Schichtstärke der Dämmung** von Innenwänden wurde **in Rohbauplänen nicht berücksichtigt**. In mehreren MFH war z.B. eine Gesamtbreite des Treppenhauses von 220 cm abzüglich des 20 cm breiten Treppenauges, also von 200 cm für die beiden Treppenläufe vorgesehen. Bei beidseitig 10 cm Innendämmung wären nur noch 90 cm breite Treppenläufe verblieben, was nicht mehr den MFH-Sicherheitsvorschriften entsprochen hätte. Die Dämmung konnte deshalb nicht in der geplanten Dicke ausgeführt werden. In einem anderen Fall wurden Türzargen nur für die Stärke der Massivwand bestellt und mußten umgetauscht werden.
- Die **Festlegung einer thermischen Trennflächen** im Keller wurde **zu spät** vorgenommen, nachdem die Wände bereits beidseitig verputzt waren. Über die zu spät verlegte Dämmung mußte dann nochmals geputzt werden.
- Die **Dämmwirkung von Sandwich-Platten**, die aus einer Holzwolle-Leichtbau-Putzträgerplatte mit aufgeklebter Polystyrol-Dämmstoffplatte bestehen, **wurde falsch berechnet**. Es wurde angenommen, daß die Platte in voller Stärke eine WLG 040-Qualität (0,040 W/mK) habe. Der Holzwolleanteil mit 0,090 W/mK, der sich k-Wert-verschlechternd auswirkt, wurde vernachlässigt. Der tatsächliche k-Wert war dann mehr als 30 % höher als der berechnete.
- Dämmungen wurden auch **an Innenwandflächen ohne thermische Trennebene** verlegt, so z.B. an einer Innenwand zwischen einem unbeheizten Treppenhaus und einem Keller.
- An der Dämmung von Innenwänden eines MFH entstanden **starke Wärmebrücken längs von Schächten**, die in die Dämmung zum Verlegen von Lüftungs-, Rohrentlüftungs und Dachentwässerungsleitungen eingeschnitten und nicht wieder mit Dämmstoff verfüllt, sondern nur verkleidet wurden.
- Der **Treppenlauf** eines MFH wurde zu **nahe an einer Wohnungstrennwand** eingebaut, so daß die Innendämmung des Treppenhauses nicht zwischen Treppenlauf und Wand hindurchgeführt werden konnte. Die Dämmplatte mußten deshalb aufwendig dem Stufenverlauf angepaßt werden und zwischen Treppenlauf und Wand konnte nur unzureichend gedämmt werden.
- Durch die **fehlerhafte Montage von Gipskarton-Polystyrol-Verbundplatten** mit einzelnen Mörtelbatzen entstand in einem MFH eine die Dämmwirkung reduzierende Hinterlüftung der Dämmschicht über mehrere Etagen auf deren warmer Seite.
- Durch die **Montage von Dämmung auf der kalten Seite** massiver Innenwände von Kellertreppenabgängen waren diese Wände selbst "warm" und es entstanden **stärkere Wärmebrücken** an den Anschlüssen dieser Wände an Sohlplatten und Kellerdecken, als es bei warmseitiger Montage der Dämmung der Fall gewesen wäre.

Ursachen dieser Ausführungsfehler waren in sieben Fällen, daß für diese Wände auf der Baustelle keine präzise Planung vorlag, da die im Rahmen der Energiebilanz erstellten Planunterlagen und Materialdaten nicht in die Ausschreibungen, Aufträge oder Detailpläne übernommen worden waren. In fünf Fällen erfolgten Änderungen der Gebäudezonierung erst während der Bauzeit. Hier sollten Wände, die vorher nicht thermisch trennend waren, nun diese Aufgaben übernehmen; für die zusätzliche Dämmung war aber kein ausreichender Platz mehr vorhanden. Sogar in einigen Fällen mit korrekter Planung und Beauftragung der Dämmung war deren Platzbedarf nicht in die Rohbaupläne der Treppenhäuser übernommen worden.

Die Fotos auf der folgenden Seite zeigen einige Ausführungsbeispiele und Problemstellen.



Bild 4.5- 8: einschalige Trennwand zwischen Keller und Flur im EFH aus 36,5 cm Porenbeton.



Bild 4.5- 9: Trennwand zwischen Keller und Flur im EFH aus KS mit Mineralwolle-Dämmung zwischen Holzständern.

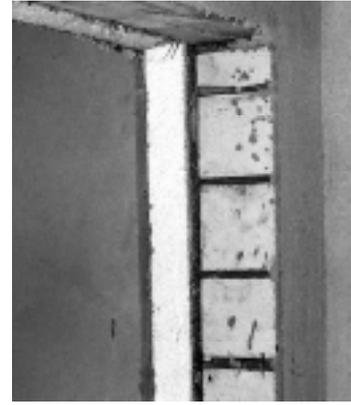


Bild 4.5- 10: Trennwand zwischen Keller und Flur im EFH aus KS mit Zusatzdämmung aus PS-Heraklith-Verbundplatte



Bild 4.5- 11: Trennwand zw. Treppenhaus und Wohnung im MFH aus PS-GK-Verbundplatte, unzureichende Dämmung und schwierige Montage.



Bild 4.5- 12: eine von 20 falschen Türzargen für Trennwand zw. Treppenhaus u. Wohnung im MFH. Zarge mußte ausgetauscht werden, da sie nur die 24 cm KS-Wand und nicht die 10 cm Dämmung umfaßt.



Bild 4.5- 13: Mauerwerksanschlag für die Eingangstür eines MFH. Der Mauervorsprung deckt nur knapp die Dämmung der Treppenhaustrennwand ab.



Bild 4.5- 14: In der Dämmebene einer Trennwand zwischen Treppenhaus und Wohnung im MFH verlegte Leitungen mit starker Wärmebrückenwirkung.

4.6. Treppen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen

Treppenläufe mit der Funktion einer thermischen Trennebene zwischen beheizten und unbeheizten Räumen waren im Untersuchungsgebiet in fünf Einfamilienhäusern eingeplant. Bei drei EFH mit zum EG hin luftoffenem, also "warmem" Kellertreppenabgang (Kellertüre unten) sind es die Treppen zwischen Keller und EG. Bei zwei Gebäuden mit zum Keller hin luftoffenem, also "kaltem" Kellertreppenabgang (Kellertüre oben) sind es die Treppen zwischen EG und OG. (Bild 4.6-2) zeigt die Lage solcher thermisch trennenden Treppen.

Vorgabe für thermisch trennende Treppenläufe, die zu den Trennflächen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen zählen, ist laut Detmolder NEH-Standard die Einhaltung eines k-Wertes von $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$. Um diesen k-Wert zu erreichen, sind bei Beton-Treppen 9 -14 cm zusätzlicher Dämmung erforderlich, je nachdem ob teurere Dämmstoffe der WLG 030 oder preiswertere der WLG 035 oder 040 oder ob Schüttdämmstoffe der WLG 045 eingesetzt werden.

Die erforderlichen Dämmstoffstärken bei verschiedenen Dämmstoffqualitäten zeigt (Bild 4.6-1) am Beispiel eines Treppenlaufes aus Normalbeton mit durchschnittlich 12 cm Stärke.

Treppenlauf	Dämmstoff Qualität	Schichtdicke des Dämmstoffs					
		14 cm	13 cm	12 cm	11 cm	10 cm	9 cm
12 cm Normalbeton (2,1 W/mK)	WLG 045	0,285	(0,304)	(0,326)	(0,352)	(0,382)	(0,471)
	WLG 040	0,257	0,274	0,294	(0,318)	(0,345)	(0,378)
	WLG 035	0,227	0,243	0,261	0,282	(0,307)	(0,337)
	WLG 030	0,197	0,211	0,227	0,246	0,268	0,294

Bild 4.6- 1: k-Werte von Treppenläufen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen bei unterschiedlichen Dämmstoffqualitäten und Dämmstoffstärken. Werte in Klammern erfüllen nicht mehr den NEH-Standard.

Der **Anteil** der thermisch trennenden Treppen **an der wärmeübertragenden Hüllfläche** beträgt bei den fünf NEH, bei denen solche Treppen eingeplant wurden, zwischen 0,8 und 1,3 Prozent. Der Anteil der über die Treppen abfließenden Wärmemenge **am gesamten Transmissionswärmebedarf** beträgt bei Einhaltung des vorgegebenen k-Wertes und 13 Kelvin Temperaturdifferenz zwischen EG und Keller nur 0,4 bis 0,9 Prozent.

Ob die Abtrennung des Kellerabgangs durch die **Kellertüre ober- oder unterseitig** erfolgt, wie in Bild 4.6-2 skizziert, hat keine Auswirkungen auf die Höhe der Transmissionswärmeverluste, da die Hüllflächen in beiden Fällen nahezu gleich groß sind. Bei oberseitiger Abtrennung ergibt sich ein etwas geringeres zu beheizendes und zu belüftendes Gebäudevolumen. Bei unterseitiger Abtrennung wird der EG-Flur gestalterisch als großzügiger empfunden und die Dämmstoffschichten sind im Keller oft einfacher zu montieren. Sie verringern auch nicht die Kopfhöhe im Kellerabgang.

Die **Planung** thermisch trennender Treppen war bei den untersuchten NEH unbefriedigend. Nur in einem der fünf geplanten thermisch trennenden Treppen wurde dieser Teil der Hüllfläche vom Planer erkannt, in den Energiebilanzen berücksichtigt und ein Konstruktionsvorschlag vorgelegt. In den anderen Fällen wurden Lösungen erst nach Bemängelung erarbeitet oder ganz ohne vorherige Planung realisiert. In zwei Fällen wurde die thermische Zonierung der Gebäudes während der Bauzeit so verändert, daß ursprünglich thermisch trennend gelegene Treppen dies nachher nicht mehr waren, in einem Fall wurde eine bereits vorhandene Treppe durch Umplanung erst nachträglich zur thermischen Trennebene.

Als **Konstruktionen** kommen im Baugebiet nur unterseitig gedämmte Treppenläufe aus Ortbeton vor. Oberseitige Dämmungen oder Konstruktionen aus Stahl oder Holz kamen bei den thermisch trennenden Treppen nicht vor. Bei zwei gekrümmten Treppenläufen wurde die Dämmung aus Mineralwolle mit Gipskarton-Bekleidung vorgesehen, bei einer anderen gekrümmten Treppe aus reinem Dämmputz und bei einem geraden Treppenlauf aus Hartschaumdämmplatten mit Gipskartonbekleidung.

Unterschiede zwischen Planung und Ausführung gab es in großem Umfang. Von den fünf geplanten thermisch trennenden Treppenläufen wurden nur drei tatsächlich realisiert. Auf die schwierige Realisierbarkeit unterseitiger Dämmungen bei gewendelten Treppenläufen wurde bereits bei der Planungsbewertung der Objekte hingewiesen. Dennoch wurde in keinem Fall eine Planungskorrektur der Treppenkonstruktion oder der Zonierung des Kellertreppenabganges vorgenommen. Erst als bei der begleitenden Bauleitung die geplante aber kaum realisierbare unterseitige Dämmung des Treppenlaufes tatsächlich eingefordert wurde, wurde in zwei Fällen von der geplanten Ausführung Abstand genommen. Der Treppenlauf blieb ungedämmt, stattdessen wurde der ganze Kellertreppenflur als thermisch trennend angenommen und mußte nachträglich gedämmt werden.

Statistische oder qualitative **Unterschiede zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten** können bei diesem Bauteil wegen des seltenen Vorkommens nicht herausgearbeitet werden. Vermutlich wären ohne begleitende Bauleitung in den zwei genannten Fällen die in der Energiebilanz als thermisch trennend angenommenen Treppen tatsächlich ungedämmt geblieben und ein Ausgleich der dadurch von 22 auf 195 Watt bzw. von 1,3 % auf 5,2 % erhöhten Transmissionswärmeverluste des Treppenlaufes hätte vermutlich ebenfalls nicht stattgefunden.

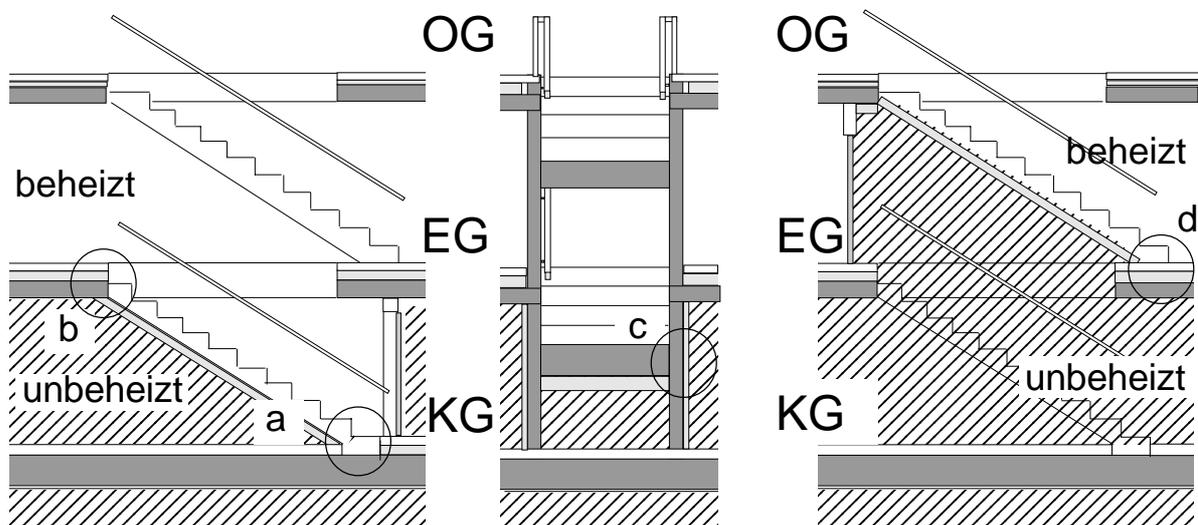


Bild 4.6- 2: Lage thermisch trennender Treppen zwischen Keller und EG bzw. zwischen EG und OG und an ihnen auftretende Wärmebrücken

Wärmebrücken können fast an allen Anschlüssen thermisch trennender Treppen auftreten. (Bild 4.6-2) zeigt einige dieser Wärmebrücken. Bei warmen, weil unterseitig gedämmten Treppen entstehen Wärmebrücken an ihrem unteren Auflager auf oberseitig gedämmte (kalte) Sohlplatten (a) oder Kellerdecken (b,c) sowie an ihrem seitlichen Anschluß an kalte, weil treppenhausseitig gedämmte Innen- oder Außenwände (d). Da meist sowohl die Treppe als auch alle Anschlußbauteile aus schweren und gut wärmeleitenden Materialien sind, ist diesen Wärmebrücken trotz ihrer geringen Fläche und der relativ niedrigen an ihnen anstehenden Temperaturdifferenz Beachtung zu schenken. Die beobachteten Problemfelder sowie die geplanten und realisierten Lösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Luftundichtigkeiten können am Anschluß thermisch trennender Beton-Treppenläufe an massive Wände entstehen, wenn der luftdichtende Putz der Wände nicht lückenlos bis an den massiven Treppenlauf geführt wird oder wenn Spalte zwischen Treppenlauf und Wand entstehen. Am Anschluß massiver Treppen an Leichtbauwände ist der Anschluß von deren luftdichtenden Folien oder Pappen an den Treppenlauf oft ein Schwachpunkt. Bei Holz-Treppenläufen, die im Untersuchungsgebiet nicht vorkamen, sind zudem die Übergänge der einzelnen Holzbauteile meist nicht luftdicht, so daß separate luftdichtende Schichten angebracht werden müssen.

Probleme bei der Realisierung gab es bei den im Untersuchungsgebiet vorkommenden Treppen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen verhältnismäßig viele:

- In einem Falle war die unterseitige Dämmung der EG-OG-Treppe in der Höhenplanung nicht beachtet worden, so daß die Kopfhöhe unter dem EG/OG Treppenlauf zu gering geworden wäre. Die

geplante Dämmung konnte deshalb nicht realisiert, die thermische Zonierung mußte geändert und der gesamte Kellerflur mußte in das beheizte Gebäudevolumen einbezogen und gedämmt werden. Dieser Planungsfehler führte zu erheblichem Mehraufwand.

- Bei vier Treppen war die Montagetechnik der Dämmung nicht ausreichend bedacht worden. Für eine gewendelte Betontreppe war z.B. eine unterseitige Dämmung aus nicht biegbaren 9 cm starken Polystyrolplatten und eine unterseitige Bekleidung aus steifen Gipskartonplatten vorgesehen. Dies erwies sich als nicht realisierbar. Ersatzweise wurde ein selbstgemischter Dämmputz unbekannter Dämmwirkung aufgebracht.
- Ein Treppenlauf schloß direkt an eine unverputzte Leichtbau-Innenwand an. Die Fuge zwischen Treppe und Wand war bei der Messung gravierend undicht.
- Eine als thermische Trennebene vorgesehene EG-OG-Treppe wurde zwar als gegossene Betontreppe geplant, jedoch als Stahlkonstruktion mit offenen Stufen ausgeführt. Bei der Umplanung wurde nicht bedacht, daß diese Treppe nun nicht mehr als thermische Trennebene funktionieren konnte, da an ihr weder eine Dämmung noch eine Luftdichtung zu montieren war. Infolgedessen mußten Innen- und Außenwände des Kellertreppenhauses mit erheblichen Mehrkosten gedämmt werden; eine Dämmung des bereits gefliesten Kellerflur-Bodens war nicht mehr möglich.
- Die Wärmebrücke am unteren Auflager "warmer" unterseitig gedämmter Kellertreppen auf den "kalten" oberseitig gedämmten Sohlplatten konnte in zwei Fällen nicht mehr vermieden bzw. nachgebessert werden, da hier die Treppen ursprünglich "kalt" geplant waren, und bei der späteren Änderung der Planung bereits hergestellt waren (vgl. Kap. 5.3).
- Die Wärmebrücke an der oberen Anbindung mehrerer "warmer" unterseitig gedämmter oder durch warmen Luftraum verlaufender Kellertreppen, an "kalte" oberseitig gedämmte Kellerdecken wurde nicht vermieden, weil diese Details überhaupt nicht geplant, falsch ausgeführt oder als solche erst durch spätere Umplanung des Verlaufs der thermischen Trennebenen entstanden waren (vgl. Kap. 5.3).

Folgende Bilder zeigen Details thermisch trennender Treppenläufe:



Bild 4.6- 3: Holzkonstruktion für unterseitige Dämmung einer thermisch trennenden Kellertreppe. Der asymmetrische Hohlraum wurde mit Mineralwolle-Reststücken verfüllt. (vgl. Bild 4-6-4).



Bild 4.6- 4: Fertiggestellte untere Bekleidung einer unterseitig gedämmten Kellertreppe. (vgl. Bild 4.6-3).



Bild 4.6- 5: Vermiedene Wärmebrücke an einer "warmen" Kellertreppe zu einer angrenzenden "kalten" Kellerwand durch seitlichen 8 cm starken Dämmstoffstreifen.

4.7 Haus-, Wohnungs- und Kellertüren

Türen sind ein Teil der wärmeübertragenden Hüllfläche von NEH. Entgegen der umgangssprachlichen Definition anhand ihrer Lage im Gebäude werden sie im folgenden anhand der an ihnen anstehenden Temperaturdifferenzen systematisiert. Als "thermisch trennende Außentüren" werden Türen bezeichnet, die beheizten Wohnraum (+20°C) direkt gegen Außenluft (-12°C) abgrenzen und an denen zum Auslegungszeitpunkt eine Temperaturdifferenz von 32 Kelvin ansteht. Als "thermisch trennende Innentüren" werden Türen zwischen beheiztem Wohnraum (+20°C) und unbeheizten Treppenhäusern, Kellern oder anderen vergleichbar temperierten Räume (+7°C) bezeichnet, an denen zum Auslegungszeitpunkt eine Temperaturdifferenz von nur 13 Kelvin ansteht. Terrassentüren, die hinsichtlich Bauart und Glasanteile wie Fenster hergestellt sind, zählen in dieser Systematik nicht als Außentüren, sondern als Fenster (siehe Kap. 4.8).

Vorgabe für thermisch trennende Außen- und Innentüren ist im Detmolder NEH-Standard gleichermaßen ein k-Wert von $\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Außen- und Innentüren werden im folgenden jedoch separat behandelt, da an sie unterschiedliche Anforderungen an Witterungsbeständigkeit, Wärme-, Schall-, Brand- und Einbruchschutz sowie an ihre Gestaltung bestehen.

Thermisch trennende Außentüren kommen im Untersuchungsgebiet in EFH als Haustüren oder als Außentüren von Einliegerwohnungen und in MFH als Außentüren von Wohnungen mit separatem Außeneingang vor. In mehreren MFH mit Erschließung aller Wohnungen über beheizte oder unbeheizte Treppenhäuser gibt es gar keine thermisch trennenden Außentüren, da Wohnungsabschlußtüren zum Treppenhaus als thermisch trennende Innentüren gelten und die Außentüren der unbeheizten Treppenhäuser nicht in die Energiebilanz einbezogen werden.

Die Anteile der Außentüren an den thermischen Hüllflächen und Transmissionswärmeverlusten der untersuchten Gebäude zeigt (Bild 4.7-1) unter Annahme des SOLL-k-Wertes von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

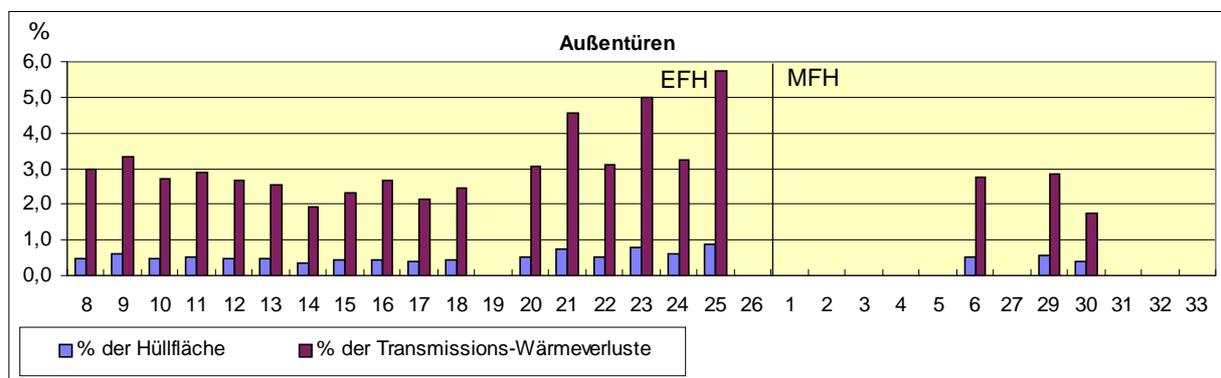


Bild 4.7- 1: Anteile der Außentüren an Hüllflächen und Transmissionswärmeverlusten von NEH.

Ihr Anteil an der wärmeübertragenden Hüllfläche beträgt zwischen 0,4 und 0,9 Prozent. Auch Gebäude mit einzelnen großformatigen oder mehreren Außentüren erreichen keine höheren Werte. Der Anteil der über sie abfließenden Wärme an den gesamten Transmissionswärmeverlusten liegt bei den EFH (Nr. 8-25) und MFH (Nr. 1-6 und 26-33) mit zwei bis über fünf Prozent etwa fünfmal höher als ihr Hüllflächenanteil. Dies ergibt sich aus ihrem relativ hohem k-Wert, der zwischen dem fünf- und sechsfachen des mittleren k-Werts der Gebäudehülle von NEH liegt. Größere Haustürenelemente oder der Einbau mehrerer Außentüren sind deshalb für die Energiebilanz von NEH durchaus von Bedeutung.

Als **Konstruktionsvarianten** kommen im Untersuchungsgebiet Außentüren aus Holz oder Kunststoff mit unterschiedlich hohen Glasanteilen vor. Die Qualität der in Außentüren eingebauten Verglasungen war mit k_v -Werten von $\leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ laut Planungsunterlagen genauso wie die der sonstigen Fenster deklariert. Die Türen selbst sind entweder aus industriell gefertigten vollflächigen Türblattrohlingen hergestellt oder Rahmenkonstruktionen aus Holz oder Kunststoffprofilen mit opaken oder Glasfüllungen. Solche Außentüren weisen tatsächlich k-Werte zwischen $1,5$ und $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf, die am besten gedämmten Produkte erreichen laut Herstellerangaben in der ungestörten Fläche k-Werte von $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Diese k-Werte werden jedoch durch Einsätze von Fenstern oder Füllungen oder durch andere dekorative oder aussteifende Komponenten stark verschlechtert. So haben die in Außentüren oft verwendeten

kleinformatischen Glasscheiben durch ihre hohen Verbund- und Rahmenanteile real wesentlich schlechtere k_v -Werte als anhand der Glas-Daten zu vermuten ist, da die nach DIN 4108 Teil 4 deklarierten Glas-Daten für wesentlich größere Norm-Fenstergrößen gelten. Weiterhin stellen alle von innen nach außen durchgehenden Rahmen und Streben aus Massivholz oder Metall sowie die Beschläge und Mechaniken starke Wärmebrücken dar, die bei der Berechnung der Gesamt-k-Werte meist nicht einbezogen sind. Um einen k-Wert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen, wären bei Fichten- oder Tannenholz etwa 6,5 cm, bei schwereren Hölzern wie Buche, Eiche oder Tropenhölzern sogar 9,5 cm und mehr Dicke erforderlich, was in der Praxis bei Außentüren nicht erreicht wird. Die Belastbarkeit der wenigen in Hersteller-Prospekten überhaupt genannten Tür-k-Werte ist insofern eher gering.

Die tatsächlichen k-Werte der **geplanten oder der tatsächlich eingebauten thermisch trennenden Außentüren** konnten bei keinem der untersuchten Niedrigenergie-Häuser von den Planern oder Bau-leuten deklariert werden. Gründe hierfür waren,

- daß zum Zeitpunkt der Planung oft noch nicht entschieden war, welche Haustür eingebaut werden soll,
- daß die Herstellerkataloge von Außentüren solche Angaben im Regelfall nicht enthalten und
- daß auch die Hersteller selbst bei direkter Befragung diese Daten nicht zu nennen in der Lage oder bereit waren.

In den Energiebilanzen der geplanten Häuser ist deshalb für die Außentüren stets nur der SOLL-k-Wert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingesetzt.

Die **Flächenberechnungen** thermisch trennender Außentüren wiesen bei vielen untersuchten Gebäuden Mängel auf, wenn diese nicht als gesonderte Bauteile ausgewiesen, sondern unter "Fenster" der jeweiligen Himmelsrichtung subsummiert wurden. Dies führt bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs nach WSVO-Rechengang meist zu einer unzulässig hohen Gutschrift solarer Wärmegewinne. Nach WSVO dürfen solare Wärmegewinne nur bei Bauteilen veranschlagt werden, deren Glasanteile über 60% ihrer Gesamtfläche ausmachen. So hohe Glasanteile weist im Untersuchungsgebiet aber nur eine von über 40 Außentüren auf. Weiterhin dürfen die gegenüber Nord-Ausrichtung höheren Süd-, Ost- oder West-Strahlungswerte nur einbezogen werden, wenn die Glasflächen nicht überwiegend verschattet sind. Viele der nach Süden, Westen oder Osten ausgerichteten Außentüren sind jedoch in der Praxis durch Vordächer oder andere Bauteile verschattet und dürften deshalb bei solaren Wärmegewinnen wenn überhaupt, dann nur wie Nord-Fenster behandelt werden.

Wärmebrückenprobleme gab es an thermisch trennenden Außentüren neben den bereits oben genannten auch an den seitlichen und oberen Anschlüssen der Rahmen an die Außenwand. Die hier aufgetretenen Probleme und Detaillösungen sind in Kapitel 5 dargestellt. Bild 4.7-2 zeigt beispielhaft die Außenthermographie einer Holz-Außentüre, an der man Wärmebrückeneffekte von Zarge, Rahmen, Streben, Holz- und Glasfüllungen gut erkennen kann.

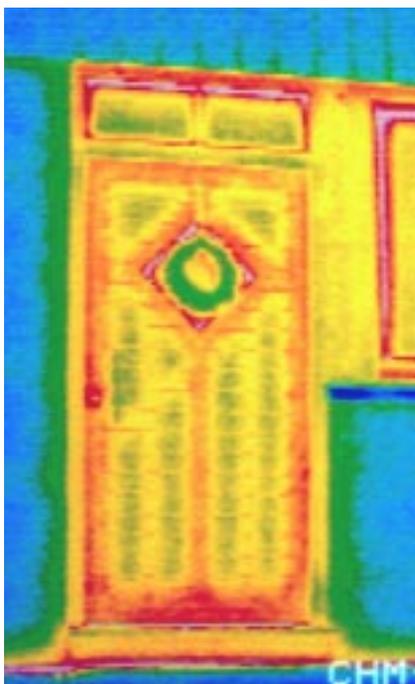


Bild 4.7- 2: Thermographie einer Holz-Außentüre mit konstruktiven Wärmebrücken.

Luftdichtheitsprobleme gab es an thermisch trennenden Außentüren an mehreren Stellen. Häufig waren Fugen zwischen Rahmen und Füllungen sowie zwischen Türblatt und Blendrahmen undicht, vor allem an den Scharnieren. Gravierend undicht waren meist die unteren Anschlüsse der Türen zum Boden, da Türschwellen, an die untere Dichtungen hätten anschlagen können, gar nicht oder nur mangelhaft realisiert wurden. Bei vielen ersatzweise eingebauten selbsttätig absenkenden Dichtungen löste durch Einstellungsfehler der Absenkmechanismus nicht korrekt aus oder erreichten die Dichtungen wegen zu großer Spalte auch in ausgefahrener Stellung nicht den Boden. Die Anforderungen an die Luftdichtheit und die Probleme bei deren Realisation sind ausführlich in Kapitel 6 beschrieben.

Unterschiede zwischen Planung und Ausführung oder zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten konnten bei thermisch trennenden Außentüren in der Regel nicht erkannt werden. Mangels tauglicher Produktunterlagen war bei allen NEH sowohl die Planung unzureichend konkret, als auch der tatsächliche Aufbau der eingebauten Türen nicht sicher ermittelbar. Da eine Außentür in mäßig wärmegeämmter Ausführ-

ung mit einem k-Wert von 2,5 W/m²K und einer Größe von 2,5 m² bei NE-EFH bereits gleich hohe Transmissionswärmeverluste verursacht wie eine 50 m² große Kellerdecke mit k-Wert von 0,30 W/m²K oder ein 40 m² großes Schrägdach mit k-Wert von 0,15 W/m²K, ist eine bessere Deklaration der thermischen Eigenschaften von Außentüren dringend notwendig. In Folge besserer Deklaration würden stärker gedämmte Außentüren sicherlich verstärkt nachgefragt und dadurch auch preiswerter werden.

Noch bessere Werte erreichen seit 1997 lieferbare Haustüren mit großflächiger Dreifachverglasung und kerngedämmten Tür- und Blendrahmen, die teils Gesamt-k-Werte von nur 0,60 W/m²K bei nicht überhöhten Kosten erreichen. Solche Türen waren in der Bauzeit der hier untersuchten NEH noch nicht verfügbar.

Thermisch trennende Innentüren kommen im Untersuchungsgebiet in allen EFH und den meisten MFH vor. In EFH sind es die Türen, die zwischen unbeheiztem Keller und beheiztem EG trennen. In MFH sind es die Wohnungsabschlußtüren zu unbeheizten Treppenhäusern.

(Bild 4.7-3) zeigt die Anteile der thermisch trennenden Innentüren an der thermischen Hüllfläche und am Transmissionswärmeverlust unter Annahme des SOLL-k-Wertes von 1,5 W/m²K.

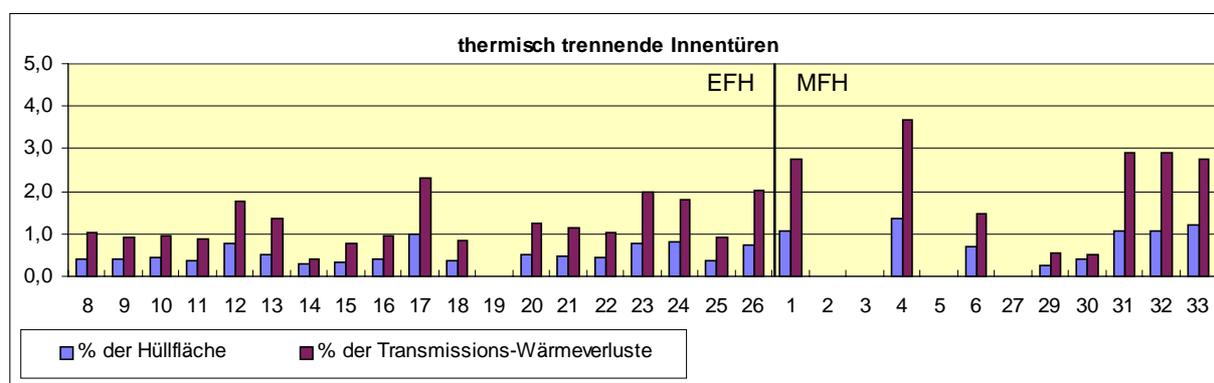


Bild 4.7- 3: Anteile der thermisch trennenden Innentüren an Hüllflächen und Transmissionswärmeverlusten von NEH.

Die **Anteile der thermisch trennenden Innentüren an der Hüllfläche** der untersuchten Gebäude betragen zwischen 0,3 und 1,3 Prozent. Sowohl bei den EFH wie auch bei den MFH gibt es aus verschiedenen Gründen eine relativ große Spannweite dieser Flächenanteile. Während die meisten EFH jeweils nur eine Kellertüre als thermisch trennende Innentüre haben, haben drei EFH zwei und eines sogar drei solche Türen. Bei mehreren MFH mit unbeheizten Treppenhäusern sind alle Wohnungsabschlußtüren thermisch trennend, so daß sich insgesamt große Flächen ergeben. Bei den anderen MFH mit beheizten Treppenhäusern sind die Wohnungsabschlußtüren dagegen keine thermischen Trennflächen. Hier sind nur einzelne Türen zwischen Souterrainwohnungen und unbeheizten Kellerfluren thermisch trennend.

Der Anteil der über thermisch trennende Innentüren abfließenden Wärme an den gesamten Transmissionswärmeverlusten liegt bei den EFH und MFH mit 0,7 bis über 3,7 Prozent etwas mehr als doppelt so hoch wie ihr Flächenanteil an der wärmeübertragenden Hüllfläche. Dies ist vor allem Folge des relativ hohen k-Wertes der Innentüren und wird auch durch die geringere anstehende Temperaturdifferenz von 13 Kelvin zwischen beheizten und unbeheizten Räumen nicht kompensiert.

Die **Anforderungen an die Konstruktion** von thermisch trennenden **Innentüren** sind vielfältig. Sie trennen Bereiche mit unterschiedlicher Temperatur und Luftfeuchtigkeit und müssen luftdicht ausgeführt sein, da sonst unerwünschte Luftströme zwischen Wohnräumen und Kellern oder Treppenhäusern auftreten. Als Wohnungsabschlußtüren müssen sie zusätzlichen Schallschutz- und Sicherheitsanforderungen genügen.

Als **Konstruktionsvarianten** thermisch trennender **Innentüren** kommen im Baugebiet Fertigprodukte mit Dämmstoffkern sowie nachträglich mit Zusatzdämmung versehene handelsübliche Innentüren mit Röhrenspan- oder Leichtfüllungen vor. Thermisch trennende Innentüren, die ab Werk die k-Wert-Anforderung $\leq 1,5$ W/m²K einhielten, konnten zu Beginn der Untersuchung von keinem der ca. zwanzig vom NEI angeschriebenen Hersteller geliefert werden. Nur zwei Anbieter gaben bei dieser Umfrage k-Werte Ihrer Innentüren an. Diese k-Werte lagen allerdings mit 1,8 bis 2,1 W/m²K um 20-40 Prozent über dem

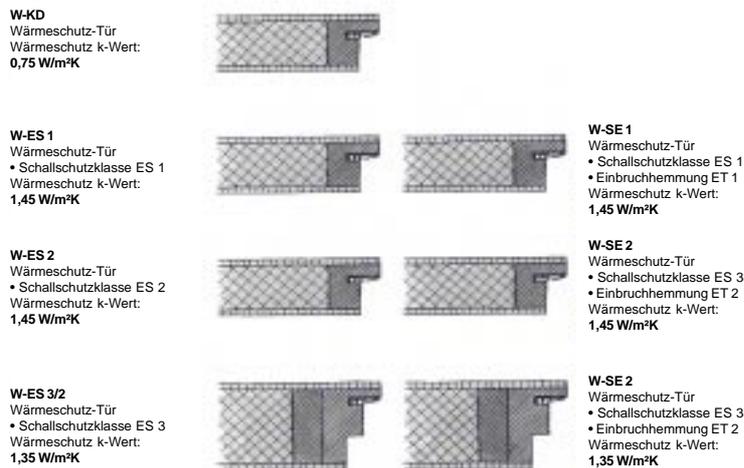


Bild 4.7- 4: Wärmegedämmte Innentüren des Detmolder Herstellers DELTA

Vorgabewert des DT-NEH-Standards. 1995 entwickelte der Detmolder Hersteller DELTA in Zusammenarbeit mit dem NEI mehrere Türblätter für wärmegedämmte Innentüren. In der einfachen Ausführung als Kellertür erreichen diese einen k-Wert von 0,75 W/m²K, in der Ausführung als Wohnungsabschlußtür mit zusätzlichen Schallschutz- und Sicherheitsanforderungen k-Werte von 1,35 - 1,45 W/m²K. (Bild 4.7-4) zeigt die angebotenen Türaufbau-Varianten. Die Firma WESTAG aus Rheda-Wiedenbrück teilte später mit, ebenfalls Türblätter liefern zu können, die der Anforderung des DT-NEH-Standards genügen. Wärmedämmende Innentüren sind bisher noch Spezialprodukte und deutlich teurer als die im EFH üblicherweise als Kellertür eingesetzten

Zimmertüren oder als im MFH übliche auf Schall- und Einbruchschutz hin entwickelte Wohnungsabschlußtüren. Ihre hohen Mehrkosten sind vor allem Folge der noch geringen Produktions-Stückzahlen, da die Materialkosten der Herstellung nicht oder nur unbedeutend höher sind.

Mehrere thermisch trennende **Innentüren** wurden **handwerklich hergestellt**, indem handelsübliche Innentüren nachträglich mit einseitiger Zusatzdämmung und unterer Dichtung versehen wurden. Zum Erreichen eines k-Wertes von $\leq 1,5$ W/m²K genügen bei einfachen Röhrenspan-Innentüren 1-2 cm zusätzliche Dämmschicht aus Polystyrol oder Holzweichfaserplatten. Diese Lösung erscheint zunächst preislich attraktiv. Bei einseitig Zusatzgedämmten Türen ist jedoch zu erwarten, daß sie sich durch die Temperatur- und Feuchteunterschiede an ihren Innen- und Außenseiten über das erlaubte Maß hinaus krümmen und dann nicht mehr luftdicht schließen. Eine einseitige Zusatzdämmung von Fertigtüren ist insofern nur als unzulängliches Provisorium zu betrachten. Eine nachträglich an eine normale Zimmertür angearbeitete Bodendichtung kann dagegen bei sachgerechtem Einbau qualitativ mit der serienmäßigen Luftdichtung einer Fertigtür vergleichbar sein.

Insgesamt wurden in zwei EFH als Kellertüren und in einem MFH für fünf Wohnungsabschlußtüren die gedämmten DELTA-Türen eingeplant und auch eingebaut. Bei fünf anderen EFH wurden bauseitige Zusatzdämmungen normaler Kellertüren realisiert. Bei mehreren EFH wollten die Bauleute die Zusatzdämmung der Kellertür bei Abschluß der Untersuchung erst noch selbst nachträglich anfertigen. Bei 18 von 26 Objekten (69%) wurde die den Vorgaben entsprechend Ausführung der Türen dagegen vermutlich nur versprochen, ohne je realisiert zu werden.

Bei den **Flächenberechnungen** der Energiebilanzen waren thermisch trennende **Innentüren** nur in einer Minderheit der Fälle korrekt einbezogen. So wurden die Wohnungsabschlußtüren zu unbeheizten Treppenhäusern nur bei einem von neun MFH als thermische Trennfläche erkannt, die Türen zwischen beheiztem Kellerflur und Keller nur bei sieben von 21 Einfamilienhäusern (33 %).

Für die **k-Werte der geplanten thermisch trennenden Innentüren** gilt im wesentlichen dasselbe, was schon zu Außentüren ausgeführt wurde. Abgesehen von denjenigen NEH, bei denen wärmegedämmte Fertigtüren mit herstellerseitig deklarierten k-Wert-Angaben eingeplant waren, wurden seitens der Planer oder Bauleute meist nur die SOLL-k-Werte oder geschätzte k-Werte deklariert, deren Berechnungsgrundlagen unklar blieben.

Wärmebrückenprobleme an thermisch trennenden Innentüren gab es vor allem,

- wenn die Bauart der Türzarge nicht auf den Schichtaufbau und die Lage der Wärmedämmung der ebenfalls thermisch trennenden Wand abgestimmt war, in die die Tür eingebaut wurde, so daß im Bereich der Zarge Versprünge im Verlauf der thermischen Trennschichten entstanden. Dies ist besonders bei Wänden mit einseitiger Wärmedämmung von Bedeutung, bei beidseitig gedämmten, kerngedämmten oder monolithischen thermischen Trennwänden spielt es dagegen keine Rolle;
- oder wenn thermisch trennende Innentüren mit Stahlzargen eingebaut wurden, die selbst eine große Wärmebrücke darstellen. Details hierzu sind in Kapitel 5 beschrieben.

Luftdichtheitsprobleme an thermisch trennenden Innentüren gab es viele. Gewöhnlich haben nur spezielle Schall- oder Rauchschutz-Innentüren serienmäßig umlaufende einfache oder doppelte Dichtungen und stabile Zargen mit definierten Abdichtungsmöglichkeiten gegenüber dem Mauerwerk, durch welche sie Luftdichtheits-Anforderungen genügen können. Solche Türblätter sind jedoch häufig aus schwerem Material hergestellt, so daß sie die k-Wert-Anforderung von $\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ verfehlen, oder haben Metallzargen, die starke Wärmebrücken darstellen. Bei einfachen Türen und üblicher Montage durch punktuelle Verschraubung und Verfüllung der Fugen zwischen Zarge und Mauerlaibung nur mit Ortschaum waren dagegen die Holz-Türfutter an ihren Fugen und Anschlüssen zur Wand hin häufig undicht. Auch waren die Elastizität der Dichtlippen und die Verstellmöglichkeit der Beschläge oft so gering, daß geschlossene Türblätter nicht an alle Dichtungen ausreichend andrückten, sondern Spalte zwischen den Dichtlippen und deren Anschlagfläche offenblieben. Besonders unbefriedigend waren im Regelfall die unteren Anschlüsse der Türen zum Boden. Untere Dichtungen und Anschlagsschwellen wurden entweder gar nicht realisiert oder die eingebauten Absenk-Dichtungen brachten keine befriedigenden Effekte. Die mangelhafte luftdichte Ausführung von Türen entsteht oft durch fehlende Detailplanung und Abstimmungsdefizite zwischen den verschiedenen Gewerken, die für Maurer-, Putz-, Estrich- und Bodenlegearbeiten rund um eine Tür sowie letztlich für den Türereinbau selbst zuständig sind. Auch ist die Anforderung einer luftdichten Ausführung noch weitgehend unbekannt. Die Anforderungen an die Luftdichtheit und die aufgetretenen Detailprobleme sind in Kapitel 6 beschrieben.

Unterschiede zwischen Planung und Ausführung sowie zwischen Objekten, die in der Ausführungsphase betreut oder nicht betreut wurden konnten bei den thermisch trennenden Innentüren nicht sicher erkannt werden. Bei betreuten wie bei nicht betreuten Objekten, bei denen gedämmte Fertigprodukte eingesetzt werden sollten, war nach Abfuhr des Verpackungsmaterials der Türen nicht mehr feststellbar, welche Türen tatsächlich eingebaut worden waren. Waren Zusatzdämmungen vorgesehen, so konnte nach deren Herstellung zwar noch kontrolliert werden, ob, aber nicht wie diese hergestellt waren. Unterschiede zwischen betreuten und nicht betreuten Objekten waren lediglich hinsichtlich deren Luftdichtheit auszumachen. Die gewünschte Dichtheit war nur durch Luftdichtmessungen kontrollierbar, die ausschließlich bei den in der Ausführungsphase betreuten Objekten stattfand. Die korrekte Einstjustierung der Bodendichtung war vor der Luftdichtmessung in der Regel nicht erfolgt.

Auf eine Auflistung der aufgetretenen Einzelprobleme wird in diesem Kapitel verzichtet, da darauf bereits im vorigen Text eingegangen wurde. (Bilder 4.7-5 bis 4.7-7) zeigen einige typische Problemstellen.



Bild 4.7- 5: Hauseingangselement mit nur geringen Glasanteilen, das die Planer in der Energiebilanz dennoch zu den Fenstern zählten.



Bild 4.7- 6: Tür zwischen kaltem Keller und beheiztem Kellerflur im EFH mit einseitiger Zusatzdämmung. Die Tür wird sich vermutlich verwinden, so daß die Lippendichtungen nicht mehr hinreichend funktionieren.



Bild 4.7- 7: eine von 16 falsch gelieferten Zargen zwischen Wohnungen und unbeheiztem Treppenhaus in einem MFH. Die Zarge umfaßte nur die 24er Wand, nicht jedoch die 12 cm Dämmung der thermisch trennenden Wand.

4.8 Fenster und Fenstertüren

Der Detmolder **NEH-Standard** gibt für Fenster und Fenstertüren einen k_F -Wert von $\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ für die Fenster einschließlich Rahmenanteilen vor. Um diesen k_F -Wert zu erreichen, ist bei Fensterrahmen der Rahmengruppe 1 aus Holz oder Kunststoff nach DIN 4108 Teil 4 ein k_V -Wert der Verglasung von $\leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, bei Aluminium- oder anderen Rahmen der Rahmengruppe 2.1 ein k_V -Wert der reinen Gläser von $\leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ erforderlich. Eine Überschreitung dieser Vorgabe um bis zu 10 %, wie bei den anderen Bauteilen, ist nach DT-NEH-Standard nicht zulässig. Solare Gewinne werden im Detmolder NEH-Standard nicht berücksichtigt, so daß "echte" DIN-k-Werte und nicht "k-Äquivalent-Werte" nach WSV0 1995 einzurechnen sind. Rolladenkästen werden nicht als Teil der Fenster oder eigenständige Bauteile, sondern als Teile der Außenwand mit besonders zu minimierenden Wärmebrücken behandelt (vgl. Kap.5). (Bild 4.8-1) zeigt die k_V -Werte der geplanten Fenster im Untersuchungsgebiet:

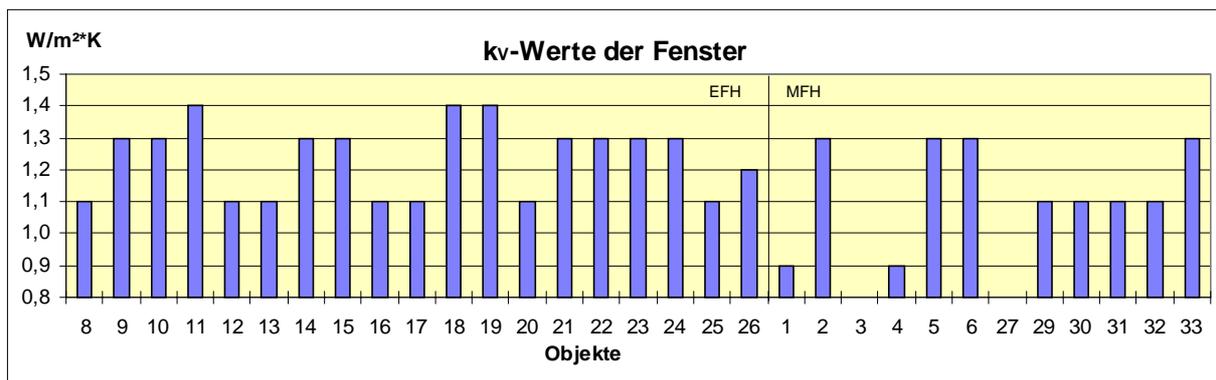


Bild 4.8- 1: k_V -Werte der Verglasungen von Fenstern und Fenstertüren im Untersuchungsgebiet.

Als **Verglasungen** kommen im Untersuchungsgebiet ausschließlich Zwei-Scheiben-Wärmeschutzgläser mit Metallbeschichtungen auf der Außenseite der Innenscheibe und Edelgasfüllungen vor. Bei drei EFH wurden Scheiben mit einem k_V -Wert von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, bei acht EFH und vier MFH Scheiben mit einem k_V -Wert von $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, bei einem EFH Scheiben mit einem k_V -Wert von $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, bei sieben EFH und vier MFH solche mit einem k_V -Wert von $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ und in zwei Mehrfamilienhäusern sogar Xenon-gefülltes Wärmeschutzglas mit einem k_V -Wert von $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingesetzt. Alle Verglasungen sind somit deutlich besser als nach WSV0 1995 vorgeschrieben. Insgesamt wurden bei MFH meist Gläser mit niedrigeren k_V -Werten verwendet als bei EFH. Nach DT-NEH-Standard waren bei den MFH nämlich i.d.R. höhere Luftwechselraten anzusetzen und war dadurch der für alle Gebäudegrößen gleichermaßen geltende Grenzwert für den Wärmeleistungsbedarf von 40 W/m^2 trotz besserem A/V-Verhältnis der MFH nur mit höherem Wärmeschutz zu erreichen als bei den EFH. Hierzu konnten sehr gut dämmende Fenster wesentliche Beiträge erbringen.

Als **Fensterrahmen** wurden in elf von 19 EFH (58 %) und vier von elf MFH (36 %) Holzrahmen eingesetzt, in einem MFH (9 %) Holz-Aluminium-Verbundfenster. Kunststoff-Fensterrahmen erhielten acht EFH (42 %) und fünf MFH (45 %). Diese Holz-, Holz-Alu-Verbund- und Kunststoffenster gehörten sämtlich der "wärmeren" Rahmengruppe 1 an. Thermisch getrennte Aluminiumrahmen der "kälteren" Rahmengruppe 2.1 wurden in einem Mehrfamilienhaus (9 %) eingesetzt und führten hier dazu, daß die Fenster insgesamt trotz sehr niedriger k_V -Werte der Verglasung den k_F -Grenzwert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ verfehlten. Die Rahmengruppen waren dabei in keinem Falle explizit deklariert worden.

(Bild 4.8-2) zeigt die **Anteile der Fenster an der thermisch trennenden Hüllfläche und am Transmissionswärmeverlust** der untersuchten NEH. Die Anteile an der thermisch trennenden Hüllfläche betragen zwischen 5,6 und 13,6 Prozent. Niedrige Fensterflächen-Anteile an der Hüllfläche sind dabei nicht gleichbedeutend mit wenig Fensterfläche pro Wohnfläche oder geringer natürlicher Belichtung, sondern ergeben sich vor allem aus dem A/V-Verhältnis der Gebäude (vgl. Kap. 2.1). So hat z.B. EFH 25 zwar einen sehr geringen Fensteranteil an der Hüllfläche von 5,6 Prozent, sein Verhältnis von Fenster- zu Wohnfläche liegt mit 16,5 % aber 30 % über der Mindestanforderung an die Belichtung von Aufenthaltsräumen. Bei MFH 2 und 30 scheint der Fensteranteil von über 13 Prozent gegenüber 5,6 Prozent beim vorgenannten EFH zunächst sehr hoch. Dies liegt jedoch vor allem an der Größe und dem guten A/V-Verhältnis dieser Gebäude. Das Verhältnis ihrer Fenster- zur Wohnfläche beträgt nur 20 bis 22 Prozent und ist insofern nicht doppelt so hoch, sondern nur um 21-35 Prozent höher als bei EFH 25.

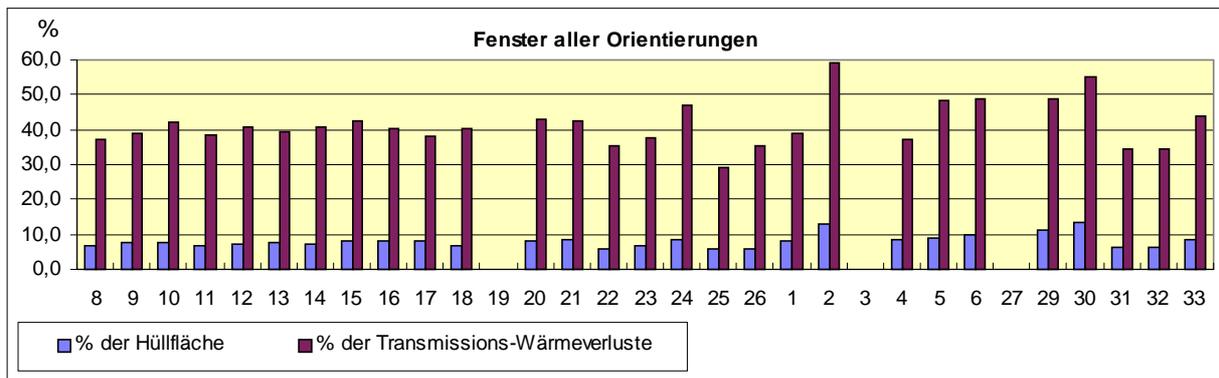


Bild 4.8- 2: Anteile der Fenster an Hüllflächen und an Transmissionswärmeverlusten von NEH.

Der Anteil der über die Fenster abfließenden Wärme am gesamten Transmissionswärmebedarf der untersuchten NEH beträgt nach dem Detmolder Rechenverfahren zwischen 29,2 und 59,4 Prozent. Das ist etwa das Fünffache ihres Hüllflächenanteiles. Bei allen untersuchten NEH machen die Fenster deshalb den mit Abstand größten Anteil des Transmissionswärmebedarfs aus.

Die geplanten und tatsächlichen Bauausführungen der Fenster wichen, soweit dies feststellbar war, nur geringfügig voneinander ab. War die geplante Verglasung in der Planung exakt definiert, so wurde fast ausnahmslos auch das geplante Glas eingebaut. Fenster, für die in der Planung pauschal der k_F -Wert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ angegeben wurde, wurden in der Regel sogar mit k_V -Werten von $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ realisiert, so daß ihr k_F -Wert nach DIN 4108 sogar nur $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ betrug. Die Identifizierung der verwendeten Glasqualitäten war in manchen Fällen nicht möglich. Manche Glashersteller verwenden gleiche Produkt-namen für Gläser mit unterschiedlichen Scheibenzwischenräumen und Beschichtungen, deren k - wie auch g -Werte voneinander abweichen. Selbst Rückfragen bei den Planern oder Fensterbauern konnten in mehreren Fällen nicht zur Klärung beitragen.

In der Ausführungsphase betreute und nicht betreute Objekte unterschieden sich bei Fenstern kaum. Jedoch wurden in die beiden in der Ausführungsphase nicht betreuten Objekten, die den Niedrigenergie-Haus-Standard letztlich verfehlten, unter anderem auch zu schlechte Fenster eingebaut. Das eine dieser Objekte hätte, um den maximalen Wärmeleistungsbedarf von 40 W/m^2 einzuhalten, Fenster mit k_F -Wert von $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (k_V -Wert $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) oder besser einbauen müssen. Stattdessen waren Fenster mit k_F $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (k_V $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) eingebaut worden. Allein die Erhöhung des k_V -Werts um $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ bzw. 11% bewirkte hier eine Erhöhung des gesamten Wärmeleistungsbedarfs des Gebäudes um 1,7 Prozent. Beim anderen Objekt wurde ein großer vollverglaster Erker mit Metallrahmenprofilen der Rahmengruppe 2 mit einem k_F -Wert von $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ statt mit einem Bausystem der Rahmengruppe 1 mit k_F -Wert von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ errichtet; die Erhöhung des k_F -Werts im Erkerbereich um $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ bewirkte bei diesem NEH eine Erhöhung des gesamten Wärmeleistungsbedarfs des Gebäudes um etwa 2 Prozent und führte mit zur Verfehlung des WLB-Zielwerts.

Wärmebrückenprobleme an Fenstern gab es an fast allen Anschlüssen der Blendrahmen an anschließendes Mauerwerk, also seitlich an den Laibungen, oben am Sturz sowie unten im Brüstungsbereich bzw. bei bodentiefen Fenstern am Anschluß zur Rohdecke oder zum Estrich. Dabei waren wärmebrückenarme Detaillösungen zweischaliger Wandkonstruktionen deutlich schwieriger und aufwendiger zu konstruieren als Lösungen für Außenwände mit Wärmedämm-Verbundsystemen. Die Details sind in Kapitel 5 ausführlich dargestellt.

Luftdichtheitsprobleme gab es an Fenstern ebenfalls viele. Fugen verblieben häufig zwischen Mauerwerk und Fensterblendrahmen, besonders am Anschluß der Fensterbank sowie zwischen Blendrahmen und Fensterflügeln. In einem Fall bestand sogar zwischen Fensterflügeln und Verglasung eine an den Glasleisten deutlich fühlbare Undichtigkeit.

Komplikationen bei der Planung und Ausführung und bei der begleitenden Bauleitung traten bei Fenstern in vielfältiger Form auf:

- Die Verwechslung von k_V - und k_F -Werten war häufig von falschen Angaben über die g -Werte der Fenster begleitet. So wurden verschiedentlich Kombinationen aus k - und g -Werten deklariert, die bei lieferbaren Gläsern nicht vorkommen. Hieraus ist zu vermuten, daß den Planern offensichtlich zum Zeitpunkt der Erstellung ihrer Energiebilanz gar keine differenzierten Produktangaben oder

Angebote für Fenster- bzw. Glasqualitäten vorlagen, sondern "wahrscheinliche" Werte aus anderen Datenquellen für die Erstellung der Energiebilanz herangezogen wurden.

- Es war häufig schwierig, die tatsächlich eingebaute Glasqualität festzustellen, da viele Verglasungen weder durch Randverbund-Einprägungen noch auf den aufgeklebten Etiketten hinreichend gekennzeichnet sind. Durch den "Feuerzeugtest" kann zwar das Vorhandensein einer Beschichtung und die richtige Einbaurichtung einer Scheibe ermittelt werden, die Qualität der Beschichtung und die Art der Gasfüllung ist aber nicht feststellbar.
- Bei einem in der Ausführungsphase betreuten Mehrfamilienhaus wurden Gläser mit k_v -Wert von 1,3 W/m²K eingeplant, und es wurde in der Energiebilanz ein k_F -Wert von 1,4 W/m²K eingerechnet, der bei Holz- oder Kunststoffrahmen der Rahmengruppe 1 auch korrekt wäre. Eingebaut wurden jedoch auf Empfehlung des Fensterbauers "hochwertige und dauerhaft pflegeleichte" Aluminiumfenster der Rahmengruppe 2 mit Rahmen-k-Werten zwischen 2,0 und 2,8 W/m²K, wodurch sich der k_F -Wert laut DIN 4108 um 21 Prozent auf 1,7 W/m²K verschlechtert. Diese Fenster halten die Vorgabe des DT-NEH-Standards nicht ein; das Energiebilanz-Ziel eines WLB von 40 W/m² wurde ebenfalls verfehlt.
- In mehreren Einzelfällen konnte durch Feuerzeugtest oder nachträgliche Thermographie des Gebäudes ermittelt werden, daß statt Wärmeschutzglas unbeschichtetes Glas eingebaut war, das mit k_v -Werten von 2,8 - 3,1 W/m²K die Vorgabe des NEH-Standards weit verfehlt und dessen Einbau seit 1.1.1995 auch gar nicht mehr zulässig ist. Hierbei handelte es sich meist um Fälle, in denen während der Fenstermontage einzelne der korrekt angelieferten Scheiben zerbrochen waren und dann durch schlechtere "aus Lagerbeständen" ersetzt wurden.
- Rückfragen bei den Fensterbauern führten nicht immer zur Klärung. Ein großer Kunststoff-Fenster-Hersteller war z.B. auf Anfrage nicht bereit, die k_v -Werte der von ihm eingebauten Scheiben zu nennen, obwohl seine eigene genaue Produktbezeichnung und Chargennummer zur Identifizierung vorlag. Inwieweit sich hinter solchen Nicht- oder Fehldeklarationen Betrugsabsichten verbergen, konnte im Rahmen der Untersuchung nicht ermittelt werden.
- Über zu geringen sommerlichen Wärmeschutz und demzufolge Überhitzung der Wohnräume im Sommer 1995 klagten die Bewohner eines zweischalig-massiv gebauten Einfamilienhauses, in dem aus gestalterischen Gründen fast alle Fenster bodentief ausgeführt sind. Die Fensteranteile der Fassaden dieses Hauses betragen auf der Süd-Ost-Seite 23,5 Prozent und auf der Süd-West-Seite 16,1 Prozent, der g-Wert der Verglasung ist 58 Prozent. Die oft unterschätzten Überhitzungseffekte können also trotz Massivbauweise schon bei wesentlich kleineren Fensterflächenanteilen auftreten als sie in der zeitgenössischen "Solar-Architektur" zuweilen als vorbildlich dargestellt werden.
- Komplett wärmebrückenarme Anschlüsse von Fensterrahmen an Laibungen, Stürze und Brüstungen bzw. Fensterbänke gelangen trotz intensiver Beratung nur in wenigen Fällen, obwohl deren Konstruktion auch beim zweischaligen Mauerwerk durch Verwendung wenig wärmeleitender Laibungs-Steine bzw. Fertigstürze, z.B. aus Porenbeton, oder durch Überdämmung der Stirnseiten der Mauer-nasen und Stürze mit 4-6 cm Hartschaum relativ einfach ist. Nur in wenigen Fällen wurde die Brüstungs-mauer schon vom Maurer bis zur geplanten Endhöhe incl. einem oberseitigen Gasbeton-Abschlußstein zur Wärmebrückenvermeidung hergestellt. Vielmehr endeten die meisten Brüstungsmauern zunächst auf unbestimmter Höhe unterhalb ihrer SOLL-Höhe und wurden erst nach Erstellung der Vormauer-schale und nach Einbau des Fensters auf Endmaß erhöht. Die hierbei eingesetzten Materialien zur Erhöhung und Überdeckung des Schalenabstandes waren dann häufig kleinformative KS-Steine, überzählige Klinker oder sogar reine Mörtelschichten, die gravierende Wärmebrücken bildeten. Oft wurden sogar innere und äußere Steinfensterbänke unterhalb des Fensterblendrahmens direkt verbunden, was sehr große Wärmebrücken ergibt.
- Starke Wärmebrücken und Luftundichtheiten kamen am unteren Anschluß vieler bodentiefer Fenster oder Terrassentüren an die Rohdecke vor. Obwohl die geplante Aufbauhöhe von 15-17 cm der EG-Böden meist zu Baubeginn schon feststand, wurde unter solchen Fenstern oder Türen meist vor deren Einbau noch kein Mauerwerk errichtet, sondern erst danach. Die nachträgliche Unterfangung aus kleinformativem Mauerwerk führte dann zu starken Wärmebrücken und, wenn dieser Mauerwerks-streifen nicht verputzt wurde, zu erheblichen Luftundichtheiten. Bessere Detaillösungen, wie nach unten verlängerte Blendrahmen oder Erhöhung der zweischaligen Kellermauerkronen bis unter die Blendrahmen in Verbindung mit einem Schwellbrett wurden nur in wenigen Fällen realisiert.
- Bei einem Objekt wurden bodentiefe Kunststofffenster und Terrassentüren zur Überbrückung des Abstands zwischen Blendrahmen und Rohdecke unterseitig mit aufgesteckten Kunststoff-Zusatz-

Profilen verlängert. Diese Lösung ist grundsätzlich relativ wärmebrückenarm und einfach. Bei der Winddichtemessung zeigte sich jedoch, daß die Steckverbindungen der Verlängerungs-Profile luftundicht waren. Um Luftdichtheit herzustellen, mußten alle Fugen mit Klebeband überklebt werden und mußte zur optischen Abdeckung der Klebebänder eine zusätzliche innere Verkleidung montiert werden.

- In einem Objekt mit zweischaligem Mauerwerk und Kerndämmung konstruierte der Bauherr selbst Fenster- und Türzargen mit Rolladenkästen aus nicht wasserfesten Holzwerkstoffplatten als Überbrückung des Schalenabstandes in Nachahmung der VEKA-Kunststoff-Fensterzarge. Durch die Wasserempfindlichkeit des Materials sind hier über kurz oder lang Verformungen und Schäden zu erwarten.
- Der wärmebrückenfreie Anschluß von Fensterbänken und Rolladenführungsschienen an die Außen-dämmung von einschaligem Mauerwerk wurde bei fast keinem Bauvorhaben gut gelöst, obwohl die theoretische Detaillösung keinesfalls schwierig ist und gute Detailzeichnungen teils mit der Planung vorgelegt wurden. Hier zeigten sich vor allem Defizite in der Bauleitung bei der Steuerung der Arbeitsabfolge zwischen Maurer/Putzer-, Fensterbauer- und Klempnergewerken.
- Die dauerhaft luftdichte Montage von Fenstern mit vorkomprimierten selbstaufquellenden (Kompri-) Dichtbändern zwischen Blendrahmen und Mauerwerk war fast allen Planern und Handwerkern unbekannt und schwer durchzusetzen. Mehrfach wurden solche Ausführungen zwar in Ausschreibung und Detailzeichnung vorgegeben; der Spalt zwischen Blendrahmen und Rohmauerwerk wurde tatsächlich aber nur mit Ortschaum verfüllt und überputzt, so daß eine dauerelastische Luftdichtung nicht entstand. Daß Ortschäume nur eine Montagehilfe, aber weder ein dauerhaftes Befestigungs- noch ein Luftdichtungsmittel sind, scheint vielen Verarbeitern nicht bekannt zu sein.
- Bei einem Objekt wurden die Fensterlaibungen, wie in der NEH-Literatur empfohlen, vor der Fenstermontage verputzt, um den Kompribändern einen sauberen Untergrund zu geben. Die Maßtoleranzen für den Fensterbauer wurden damit geringer. Die gelieferten Fenster wurden dennoch im unteren Bereich mit soviel "Luft" geliefert, daß die Kompribänder diesen Spalt nicht mehr ausfüllen konnten. Die Kunststoff-Rahmen waren zudem wandseitig stark profiliert, so daß auch hier kein ebener Untergrund für ein Kompriband vorhanden war. Die Profile mußten hierfür erst hilfsweise mit Ortschaum verfüllt werden (Bild 4.8-5).

Folgende Bilder zeigen einige Details aus der Fenster-Baupraxis der untersuchten NEH:



Bild 4.8- 3: Außenansicht eines EG Fensterelements. Die ausgetauschte Einzelscheibe links unten mit anderer Glasqualität ist nicht erkennbar (vgl. Bild 4.8-4).

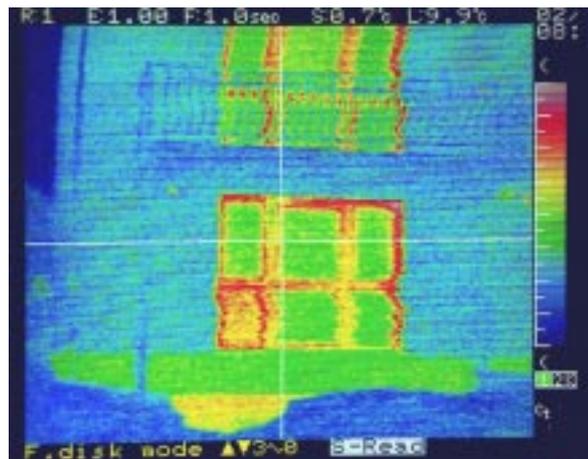


Bild 4.8- 4: Thermographie des Fensterelementes von Bild 4.8-3. Die höhere Außenoberflächentemperatur der ausgetauschten Einzelscheibe mit höherem k-Wert ist deutlich erkennbar.



Bild 4.8- 5: Dieses Fenster wurde zu klein geliefert. Die u.a. durch geputzte Laibungen und Brüstungen gut vorbereitete Luftdichtheit konnte nicht wie geplant realisiert werden.

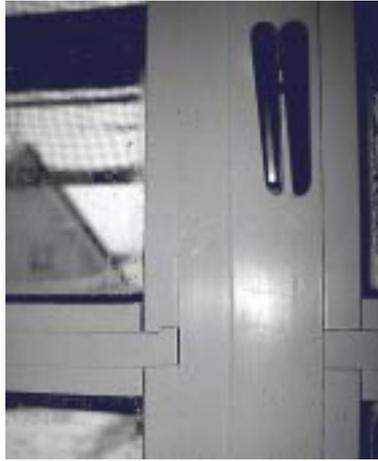


Bild 4.8- 6: Luftundichte Kunststoffrahmen und starke Luftundichtheiten an dessen ungenau abgelängten Glasleisten bewirken verstärkte Randauskühlung der Scheiben, die oft irrtümlich nur dem Glas-Randverbund zugeschrieben werden.



Bild 4.8- 7: Glaserker mit Metallrahmen der Rahmengruppe 2 statt geplanter Rahmengruppe 1 erhöht den Wärmeleistungsbedarf des gesamten NEH um ca. zwei Prozent.

4.9 Schrägdächer

Schrägdächer kommen als thermische Trennfläche zwischen beheiztem Wohnraum und Außenluft bei allen untersuchten NEH vor. Der Detmolder **NEH-Standard** stellt an solche Dächer die Anforderung, daß ihr **k-Wert $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$** sein muß. Die dazu erforderliche Dicke der Dämmstoffschichten hängt von der Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe, den Holzanteilen der Dachkonstruktion und vom Einfluß eventueller weiterer dämmwirksamer Schichten des Dachaufbaus ab. Je nachdem, ob preiswertere Dämmstoffe der WLG 040 oder teurere und dafür etwas besser dämmende der WLG 035 oder ob Schüttdämmstoffe der WLG 040-055 verwendet werden, sind bei ansonsten üblichen Dachkonstruktionen Dämmschichtdicken von 27-35 cm erforderlich. Nur bei Dämmstoffen mit extrem niedriger Wärmeleitfähigkeit (WLG 025-030), die im Baugebiet nicht verwendet wurden, wären auch Aufbauten mit nur 18 cm unterbrechungsfreier Dämmstoffstärke möglich.

(Bild 4.9-1) zeigt die k-Werte einschichtiger Dachaufbauten mit unterschiedlichen Aufbauhöhen, Holzanteilen und Dämmstoffqualitäten ohne Berücksichtigung weiterer dämmwirksamer Schichten.

Holzanteil der Konstruktion	Dämmstoff Qualität	Wärmeleitfähigkeit incl. Holzanteil	Schichtdicke des dämmenden Aufbaus				
			36 cm	34 cm	32 cm	30 cm	28 cm
12,5 Prozent	WLG 045	0,056 W/mK	(0,152)	(0,160)	(0,170)	(0,181)	(0,193)
	WLG 040	0,051 W/mK	0,138	0,146	(0,155)	(0,165)	(0,177)
	WLG 035	0,047 W/mK	0,128	0,135	0,143	(0,153)	(0,163)
10,0 Prozent	WLG 045	0,054 W/mK	0,146	(0,155)	(0,164)	(0,175)	(0,187)
	WLG 040	0,049 W/mK	0,133	0,141	0,149	(0,159)	(0,170)
	WLG 035	0,045 W/mK	0,122	0,129	0,137	0,146	(0,156)
7,5 Prozent	WLG 045	0,051 W/mK	0,138	0,146	(0,155)	(0,165)	(0,177)
	WLG 040	0,047 W/mK	0,128	0,135	0,143	(0,153)	(0,163)
	WLG 035	0,042 W/mK	0,114	0,121	0,128	0,137	0,146
0,0 Prozent	WLG 045	0,045 W/mK	0,122	0,129	0,137	0,146	(0,156)
	WLG 040	0,040 W/mK	0,109	0,115	0,122	0,130	0,139
	WLG 035	0,035 W/mK	0,096	0,101	0,107	0,114	0,122

Bild 4.9- 1: k-Werte einschichtiger Leichtbau-Dämmebenen mit unterschiedlichen Holzanteilen, Dämmstoffqualitäten und Dämmstoffstärken. Werte in Klammern erfüllen nicht mehr den NEH-Standard.

(Bild 4.9-1) zeigt, daß die k-Werte derartiger Dächer bei gleicher Aufbauhöhe durch Verringerung der Holzanteile in der tragenden und dämmenden Ebene um bis zu etwa 10 Prozent verringert werden können, durch die Verwendung von WLG 035- statt WLG 040- oder WLG 045-Dämmstoffen um 7 bis 21 Prozent und bei Kombination beider Maßnahmen um bis zu 36 Prozent. Ein k-Wert von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ kann bei den hier gezeigten normalen Konstruktionen je nach Holzanteil und Dämmstoffqualität bis zu 8 cm unterschiedliche Aufbauhöhe erfordern. Es sei aber hier schon angemerkt, daß besonders schlanke Aufbauten mit hochwertigen Dämmstoffen meist deutlich teurer sind, als etwas dickere mit Standardprodukten. (Bild 4.9-2) zeigt die k-Werte der geplanten und gebauten Schrägdächer im Untersuchungsgebiet, letztere unterschieden in während der Ausführungsphase betreute und nicht betreute Objekte.

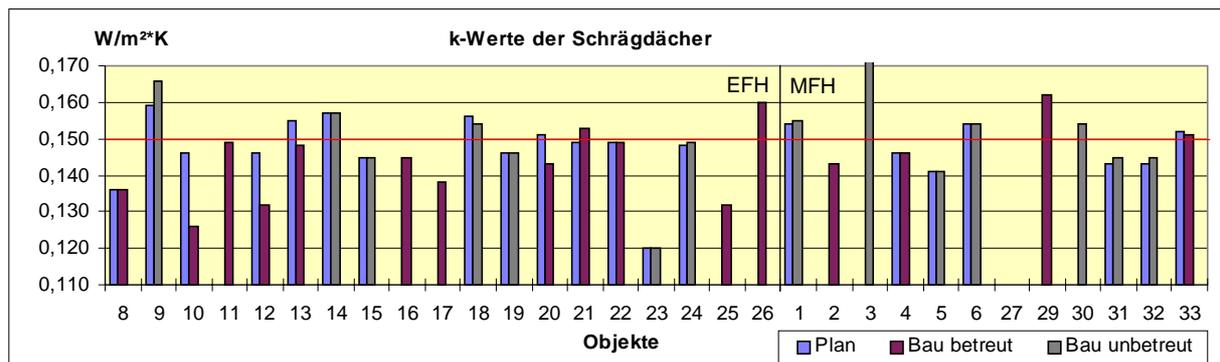


Bild 4.9- 2: k-Werte der Schrägdächer im Untersuchungsgebiet.

Die anfangs **geplanten Dachkonstruktionen** der Schrägdächern hielten nur bei 18 der 33 untersuchten Objekte den Vorgabe-Wert von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ ein oder unterschritten ihn. Für ein Objekt war ein Schrägdach mit k-Wert von $0,120 \text{ W/m}^2\text{K}$ geplant, was den Vorgabewert um 20 Prozent unterbietet. Bei 10 Objekten lag der geplante Dach-k-Wert zwar oberhalb des Vorgabe-Werts von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, jedoch noch unterhalb der maximal zulässigen Toleranzgrenze von +10% entsprechend $0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$, die ausgeschöpft werden durfte, wenn der Gesamt-Zielwert für den WLB von 40 W/m^2 trotzdem eingehalten wurde. Bei neun Objekten verfehlte der geplante Dachaufbau in der ersten Planung die Toleranzgrenze deutlich und die Planung mußte überarbeitet werden oder es wurde überhaupt kein Planungs-wert vorgelegt, so daß letztlich nur der tatsächlich realisierte k-Wert ex post als Planwert angenommen werden mußte. Im Mittel lag der geplante k-Wert der Schrägdächer aber immerhin bei $0,143 \text{ W/m}^2\text{K}$.

(Bild 4.9-3) zeigt die Anteile der thermisch trennenden Dächer an der gesamten Hüllfläche und an den Transmissionswärmeverlusten der untersuchten NEH in den geplanten Ausführungen:

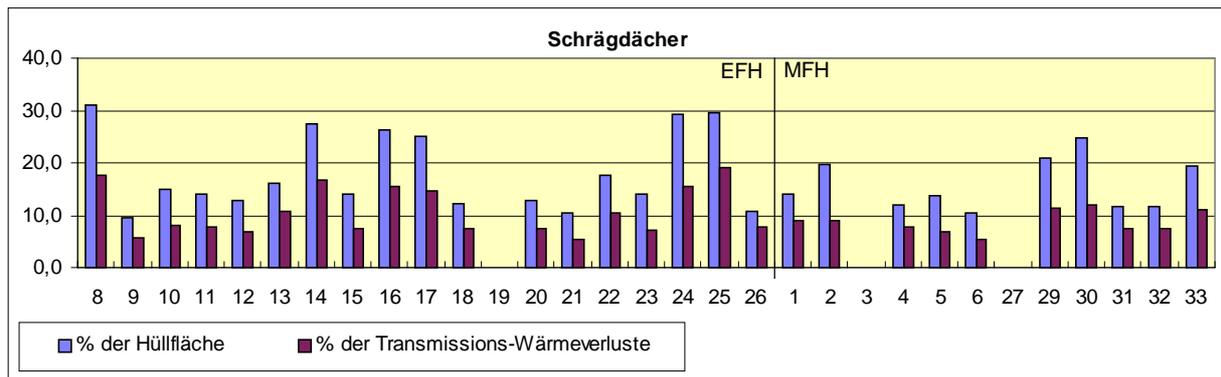


Bild 4.9- 3: Anteile thermisch trennender Schrägdächer an der gesamten Hüllfläche und am Transmissionswärmeverlust der untersuchten NEH.

Der **Anteil der Schrägdächer an der thermisch trennenden Hüllfläche** (blaue Balken in Bild 4.9-3) beträgt zwischen 9,6 und 30,9 Prozent und hängt von der Dachform sowie vom Ausbaugrad des OG und DG ab. Der niedrigste Wert kommt bei einem EFH (9) mit komplett unbeheiztem Spitzboden vor, dessen thermische Trennebene nach oben aus zwei nur kleinen seitlichen Schrägdach-Streifen und einer großen Kehlbalkenebene besteht. Der höchste Wert kommt bei einem EFH (8) mit komplett beheiztem Krüppelwalmdach vor, in dem alle Dachflächen Schrägdächer sind und weder eine thermisch trennende Kehlbalkendecke noch thermisch trennende Giebelmauer-Dreiecke vorkommen. Bei NEH mit ausgebauten Dachräumen liegt der Hüllflächenanteil der Schrägdächer sonst um 25-30 Prozent, bei NEH mit nicht ausgebauten Dächern bei 10-15 Prozent.

Der **Anteil** der über die Schrägdächer abfließenden Wärme **am gesamten Transmissionswärmeverlust** der untersuchten NEH (rote Balken in Bild 4.9-3) hat eine ähnlich große Spannweite und beträgt zwischen 5,2 und 19,1 Prozent. Durch den niedrigen k-Wert der Schrägdächer ist ihr Anteil am Transmissionswärmeverlust nur etwa halb so hoch wie ihr Hüllflächenanteil.

Konstruktionsvarianten thermisch trennender Dächer gibt es im Untersuchungsgebiet fast ebenso viele wie Bauvorhaben. Als Dachformen kommen Satteldächer, Krüppelwalmdächer und Pultdächer vor, die **Tragkonstruktionen** sind bei allen untersuchten NEH **Pfettendächer** aus Vollholz, die auf Fuß-Mittel- und Firstpfetten sowie teilweise auf zusätzlichen Stützen oder Streben aufliegen.

Die **Dämmung** besteht bei allen Schrägdächern zunächst aus einer **Zwischensparrendämmung**, die bei 97 % der Dächer als Vollsparrendämmung und nur bei einem Dach als Teilsparrendämmung mit unterlüfteter Unterspannbahn ausgeführt ist. Um den geforderten k-Wert zu erreichen, haben alle untersuchten NEH außerdem eine **oberseitige oder unterseitige Zusatzdämmung** zwischen längs oder quer aufgebrachten zusätzlichen Latten bzw. Brettern bzw. in einem Fall in Form einer vollflächigen PS-Aufsparrendämmung. Zusätzliche Aufsparrendämmungen kommen insgesamt bei sieben Schrägdächern (23 %), zusätzliche Untersparrendämmungen bei 23 Dächern (73 %) vor.

Die **Unterdächer** bestehen bei 23 Schrägdächern aus diffusionsoffenen Unterdachbahnen, bei vier Dächern aus bituminierten Holzweichfaserplatten und in einem Fall aus nicht deklariertem Material. Bei einem weiteren Dach soll das PS-Aufsparrendämmsystem zugleich die Unterdachfunktion erfüllen.

Als **Dachdämmstoff** ist in der überwiegenden Zahl der Schrägdächer Glas- und Steinwolle unterschiedlicher Qualität (WLG 035-040) und Zuschnittsform (Rollen, Streifen, Keile) eingebaut. Nur in drei Dächern wurde Zellulosedämmung eingeblasen. PS-Hartschaum als Dachdämmung kommt nur bei einem Schrägdach als zusätzliche Aufsparrendämmung vor, PU-Hartschaum wurde bei den untersuchten NEH im Schrägdachbereich nicht eingesetzt. Die Dämmstoffqualität war ganz überwiegend WLG 040. In fünf Fällen wurde WLG 040 und 035 gemischt eingebaut, in drei Schrägdächern ausschließlich Dämmstoffe der WLG 035.

Die **innere luftdichtende Schicht** besteht in allen bis auf zwei Dächern aus einer PE-Folie, die meist innenseitig der Dämmschichten, in einem Falle noch innerhalb des inneren Drittels des Dämmaufbaus zwischen Unter- und Zwischensparrendämmung verlegt ist und zugleich als **Dampfsperre** wirken soll. In einem Fall besteht die Luftdichtung aus einer fugenverleimten 18mm-Feinspanplatte, in einem anderen Fall aus einer ebenfalls fugenverklebten 12 mm OSB-Grobspanplatte. Diese Luftdichtungen aus Holzwerkstoffplatten stellen, sofern ihre Fugenverleimung überhaupt funktioniert, diffusionstechnisch nur **Dampfbremsen** in insgesamt diffusionsoffenen Dachaufbauten dar.

Eine **zusätzliche steife Span- oder Hartfaserplatte** zur mechanischen Entlastung und leichteren Verklebung der Luftdichtungs- und Dampfsperrefolien wurde nur in drei Schrägdächern eingebaut. In allen anderen Schrägdächern verlaufen die Folien ungeschützt zwischen weichem Dämmstoff und Luftschichten.

Die **innerste Traglattenebene** der Gipskartonbekleidung ist bei sieben Schrägdächern mit Mineralwollgedämmung gefüllt, bei den meisten anderen Objekten so ausgeführt, daß hier ein stehender Luftraum existiert, der dämmwirksam ist. In zwei Fällen besteht die innere Bekleidung dagegen aus hinterlüfteter Nut-Feder-Sichtschalung und ist nicht dämmwirksam.

(Bild 4.9-4) zeigt die Lage und Stärke der Dämmstoffebenen in den Schrägdächern der untersuchten NEH in den geplanten Ausführungen, (Bild 4.9-5) die Stärke des dämmenden Dachaufbaus und des Gesamtaufbaus von unterer Bekleidung bis zum Unterdach der realisierten Dachaufbauten.

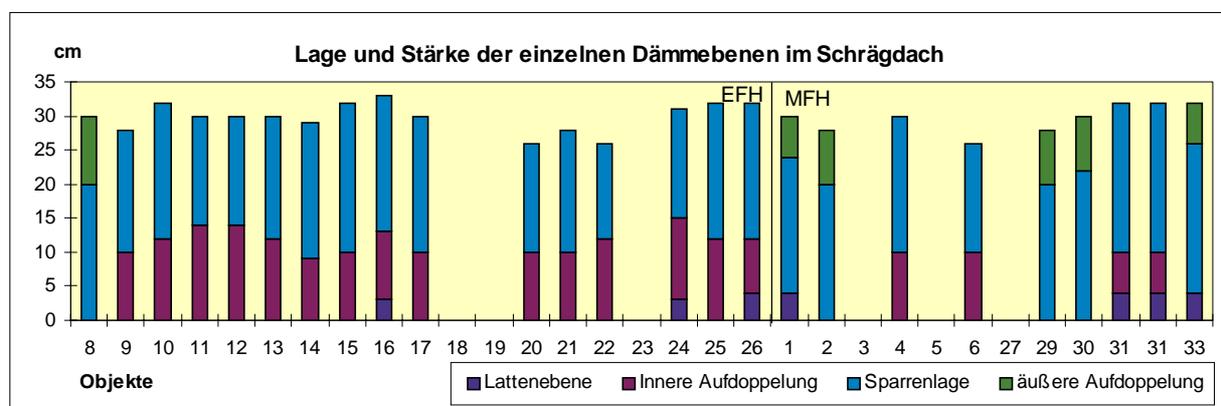


Bild 4.9- 4: Lage und Stärke der einzelnen Dämmstoffebenen der Schrägdächer im Untersuchungsgebiet.

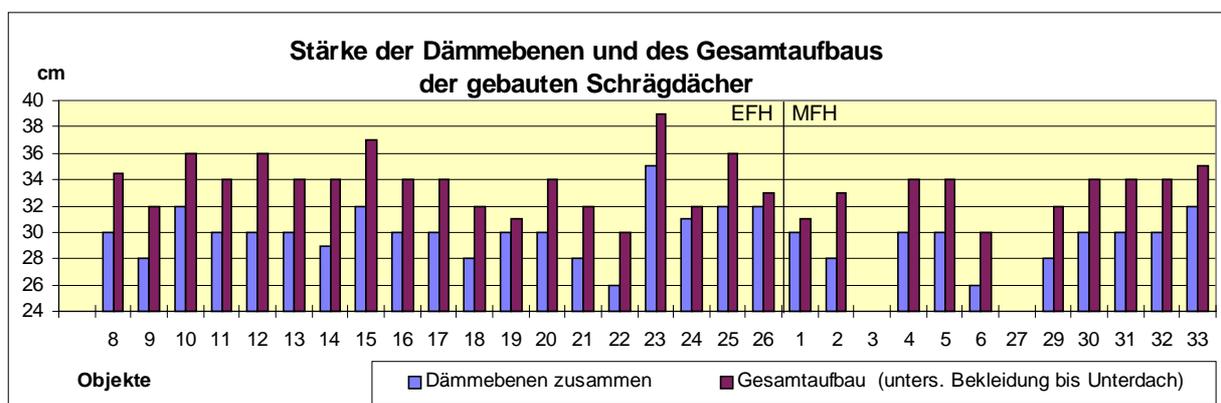


Bild 4.9- 5: Stärke der Dämmstoffebenen und des Gesamtaufbaus, von unterseitiger Bekleidung bis zu Unterdach der gebauten Schrägdächer im Untersuchungsgebiet.

Objekt	geplant																			k-Wert W/m²K		
	Innere Bekleidg. Material	Lattenebene				Luftdichtung		innere Aufdopplung				Sparrenebene					äußere Aufdoppelung				Unterdach.. Folie	
		Luft cm	WLG 035 cm	WLG 040 cm	Misch Lambda W/m²K	Folie/ Holzwerk stoffplatte	Entlastungs Ebene f.Folie Material	WLG 035 cm	WLG 040 cm	WLG 045 cm	Misch Lambda W/m²K	WLG 035 cm	WLG 040 cm	WLG 045 cm	Voll- dämmg. ja/nein	Misch Lambda W/m²K	WLG 035 cm	WLG 040 cm	Misch Lambda W/m²K		Diffoffene Bitum.	Bahn HWP
8	GK	3	-	-	0,148	Folie	HFP	-	-	-	-	-	20	-	ja	0,049	10	-	0,035	-	-	0,136
9	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	10	-	-	0,046	-	18	-	ja	0,049	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,159
10	GK	-	-	3	0,051	Folie	-	-	8	-	0,0	-	20	-	ja	0,047	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,146
11																						?
12	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	8	-	-	0,043	-	20	-	ja	0,047	-	-	-	bitum. HWP	-	0,146
13	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	10	-	0,044	-	18	-	ja	0,048	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,155
14	GK	-	-	-	-	OSB	-	-	-	9	0,050	-	-	20	ja	0,052	-	-	-	bitum. HWP	-	0,157
15	GK	-	-	-	-	SPP	-	-	-	4+4	ca ,053	-	-	22	ja	0,055	-	-	-	bitum. HWP	-	0,145
16																						?
17																						?
18	GK	3	-	-	-	Folie	-	-	8	-	0,047	-	20	-	ja	0,047	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,156
19	GK	-	-	4	0,051	Folie	-	-	-	-	-	26	-	-	ja	0,045	-	-	-	diffoffene Folie	-	0,146
20	GK	-	-	3	0,050	Folie	-	-	8	-	0,046	-	20	-	ja	0,048	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,151
21	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	8	-	-	0,038	18	-	-	ja	0,043	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,149
22	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	12	-	-	0,039	14	-	-	ja	0,044	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,149
23	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	15	-	-	0,041	20	-	-	-	0,047	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,120
24	GK	-	-	3	0,05	Folie	-	-	8	-	0,045	-	20	-	ja	0,047	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,148
25	?																					?
26	?																					?
1	GK	-	-	3	0,05	Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	ja	0,048	-	6	0,046	unbekannt	-	0,154
2																						?
3	?																					?
4	GK	3	-	-	0,148	Folie	SPP	10	-	-	0,040	-	20	-	ja	0,050	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,146
5	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	10	-	-	0,045	20	-	-	ja	0,043	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,141
6	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	10	-	-	0,039	16	-	-	nein	0,045	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,154
27																						?
29																				diffoffene Bahn	-	?
30																				diffoffene Bahn	-	?
31	GK	-	3	-	0,045	Folie	-	8	-	-	0,041	22	-	-	ja	0,045	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,143
32	GK	-	3	-	0,045	Folie	-	8	-	-	0,041	22	-	-	ja	0,045	-	-	-	diffoffene Bahn	-	0,143
33	GK	-	-	3	0,051	Folie	-	-	-	-	-	-	22	-	ja	0,048	-	6	0,048	diffoffene Bahn	-	0,152

HFP Holzhartfaserplatte
HWP Holzweichfaserplatte
SPP Spanplatte
OSB Grobspanplatte
NFP Nut-und-Feder Profilholz

Bild 4.9- 6: geplante Dachkonstruktionen

Objekt	gebaut																				k-Wert W/m²K	
	Innere Bekleidg.		Lattenebene			Luftdichtung		innere Aufdoppplg				Sparrenebene					äußere Aufdoppplg			Untersdach.. Folie		
	GK/ NFP	Luft cm	WLK cm	WLK cm	Misch Lambda W/m²K	Folie/ Holzwerk stoffplatte	Entlastungs Ebene f.Folie Material	WLK cm	WLK cm	WLK cm	Misch Lambda W/m²K	WLK cm	WLK cm	WLK cm	Voll- dämmg. ja/nein	Misch Lambda W/m²K	WLK cm	WLK cm	Misch Lambda W/m²K	Diffoffene Bahn "Gutex"		Bahn
8	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	-	-	-	20	-	ja	0,049	10	-	0,035	-	-	0,136	
9	NFP		hinterlüftet			Folie	-	-	10	-	0,046	-	18	-	ja	0,049	-	-	-	diffoffene Bahn	0,166	
10	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	12	-	0,043	20	-	-	ja	0,043	-	-	-	diffoffene Bahn	0,126		
11	NFP		hinterlüftet			Folie	-	-	14	-	-	-	16	-	ja	0,048	-	-	-	diffoffene Bahn	0,149	
12	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	14	-	0,041	-	16	-	ja	0,047	-	-	-	18 mm Gutex	0,132	
13	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	12	-	0,044	-	18	-	ja	0,048	-	-	-	diffoffene Bahn	0,148	
14	GK	-	-	-	-	OSB	-	-	-	9	0,050	-	-	20	ja	0,052	-	-	-	bitum. HWP	0,157	
15	GK	-	-	-	-	SPP	-	-	-	6+4	ca 0,053	-	-	22	ja	0,055	-	-	-	bitum.HWP	0,145	
16	GK	-	-	3	0,050	Folie	-	-	10	-	0,046	-	20	-	ja	0,051	-	-	-	diffoffene Bahn	0,145	
17	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	10	-	-	0,041	20	-	-	ja	0,046	-	-	-	diffoffene Bahn	0,138	
18	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	8	-	0,047	-	20	-	ja	0,047	-	-	-	diffoffene Bahn	0,154	
19	GK	-	-	4	0,051	Folie	-	-	-	-	-	18	-	-	ja	0,045	8	-	-	diffoffene Folie	0,146	
20	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	10	-	0,044	-	20	-	ja	0,047	-	-	-	diffoffene Bahn	0,143	
21	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	10	-	0,043	-	18	-	ja	0,048	-	-	-	diffoffene Bahn	0,153	
22	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	12	-	0,039	14	-	-	ja	0,044	-	-	-	diffoffene Bahn	0,149		
23	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	15	-	0,041	20	-	-	-	0,047	-	-	-	diffoffene Bahn	0,120		
24	GK	-	-	3	0,05	Folie	-	-	12	-	0,047	-	16	-	ja	0,048	-	-	-	diffoffene Bahn	0,149	
25	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	12	-	0,048	-	20	-	ja	0,050	-	-	-	diffoffene Bahn	0,132	
26	GK	-	-	4	0,050	Folie	-	8	-	-	0,046	20	-	-	ja	0,046	-	-	-	diffoffene Bahn	0,160	
1	GK	-	-	4	0,05	Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	ja	0,048	-	6	0,046	unbekannt	0,155	
2	GK	3	-	-	-	Folie	HWP	-	-	-	-	-	20	-	ja	0,050	-	8	0,050	bitum.HWP	0,143	
3	GK	-	-	-	-	Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	?	0,050	-	-	-		0,236	
4	GK	3	-	-	0,148	Folie	SPP	10	-	-	0,040	-	20	-	ja	0,050	-	-	-	diffoffene Bahn	0,146	
5	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	10	-	-	0,045	20	-	-	ja	0,043	-	-	-	diffoffene Bahn	0,141	
6	GK	3	-	-	0,148	Folie	HHP	10	-	-	0,0	16	-	-	nein	0,045	-	-	-	diffoffene Bahn	0,154	
27	?																				?	
29	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	ja	0,049	-	8	0,048	diffoffene Bahn	0,162	
30	GK	3	-	-	0,148	Folie	-	-	-	-	-	-	22	-	ja	0,050	-	8	0,048	diffoffene Bahn	0,154	
31	GK	-	4	-	0,045	Folie	-	6	-	-	0,045	22	-	-	ja	0,045	-	-	-	diffoffene Bahn	0,145	
33	GK	-	-	4	0,041	Folie	-	-	-	-	-	-	22	-	ja	0,050	-	6	0,05	diffoffene Bahn	0,151	

HFP Holzhartfaserplatte
HWP Holzweichfaserplatte
SPP Spanplatte
OSB Grobspanplatte
NFP Nut-und-Feder Profilholz

Bild 4.9- 7: geplante Dachkonstruktionen

Abweichungen zwischen geplanten und gebauten Schrägdächern kamen häufig vor, sind aber in ihrer Auswirkung meist vernachlässigbar. Sie ergaben sich meist durch Bemühungen, den geforderten Wärmeschutz-Standard möglichst noch kostengünstiger als mit dem ursprünglich geplanten Schichtaufbau einzuhalten. Der mittlere geplante k-Wert der Schrägdächer beträgt $0,149 \text{ W/m}^2\text{K}$, der mittlere realisierte k-Wert $0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$ und ist insofern sogar noch minimal niedriger. Nur zwei realisierte Schrägdächer halten die k-Wert-Vorgabe incl. Toleranzgrenze von $\leq 0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht ein. Eines verfehlt ihn unbeabsichtigt geringfügig, ein anderes überschreitet ihn dagegen mit $0,236 \text{ W/m}^2\text{K}$ um 57 %.

Abweichungen zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten gab es bei Schrägdächern vor allem **bei der Ausführung der luftdichtenden Ebenen**. Bei allen betreuten Objekten waren von Anfang an Luftdichte-Messungen angekündigt worden und wurden auch durchgeführt (vgl. Kap.6). Dies führte zu intensivem, wenn auch nicht immer erfolgreichem Bemühen um eine hohe Luftdichtheit sowohl bei den handwerklich ausgeführten wie auch bei den in Eigenleistung erstellten luftdichtenden Folien- oder Plattenebenen von Schrägdächern. Die Investoren, Planer und Handwerker der nicht betreuten Objekten wußten dagegen, daß in Ihrem Objekt keine Luftdichtemessung vorgenommen würde, sofern sie diese nicht freiwillig wünschen und bezahlen. Bei diesen Objekten wurden bei der Montage der Luftdichtungsebenen deutlich mehr fehlerhafte Materialien und Montagetechniken verwendet als bei den nicht betreuten. Nachbesserungen von schon äußerlich erkennbaren Luftdichte-Mängeln wurden selbst bei entsprechenden Hinweisen kaum mehr durchgeführt. Diese Schrägdächer und Gebäude dürften daher tatsächlich relativ hohe Luftleckagen im Schrägdachbereich aufweisen. Bei einem einzigen nicht betreuten Objekt wurde eine Luftdichtemessung freiwillig in Auftrag gegeben. Die Architektin und Handwerker dieses Objektes hatten bereits zuvor ein anderes in der Ausführungsphase betreutes Objekt errichtet, an dessen Luftdichtemessung teilgenommen und waren insofern für die Problematik sensibilisiert. Da die Handwerker hier zugleich die Investoren waren, hatten sie auch ein Eigeninteresse an hoher Luftdichtheit.

Generelle **Unterschiede in den realisierten k-Werten** der Schrägdächer zwischen betreuten und nicht betreuten Objekten **ließen sich nicht ermitteln**. Beide Fälle mit Überschreitung des k-Werts traten allerdings bei den nicht betreuten Objekten auf. Soweit dies ermittelt werden konnte, erfolgte diese Abweichung jedoch in einem Falle nicht wissentlich, sondern versehentlich und in anderem Falle vermutlich infolge einer unpräzisen Vertragsformulierung zwischen Generalunternehmer und Bauherr, deren Bedeutung möglicherweise beiden Parteien nicht klar war.

Wärmebrückenprobleme an der eigentlichen Holzkonstruktion von Schrägdächern gab es im Untersuchungsgebiet nur bei Dächern, bei denen die für die dickere Dämmschicht erforderliche Holzdoppelung ober- oder unterseitig längs der Sparren montiert wurde. Diese längs aufgedoppelten Holzaufbauten gehen von der kalten Dachoberseite bis zum warmen Innenraum unterbrechungsfrei durch (g). Sie bilden mit ihrem Anteil von 7-12 % der Schrägdachfläche und ihrer gegenüber Dämmstoff etwa dreifach höheren Wärmeleitfähigkeit deutliche Wärmebrücken.

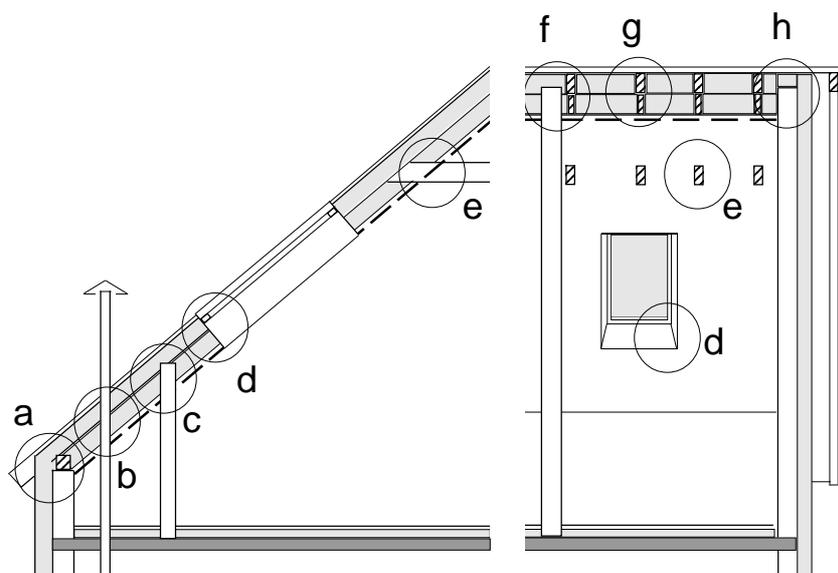


Bild 4.9- 8: Wärmebrücken und Luftdichtigkeitsproblempunkte an Schrägdächern.

(Bild 4.9-6) zeigt schematisch die Lage von Wärmebrücken-Problempunkten im Schrägdach. Wärmebrücken gab es vor allem an Anschlußstellen zu anderen Bauteilen, wenn diese die Schrägdachdämmung schwächten oder durchbrachen. Dies sind z.B. in Schrägdachebenen hineinragende Mauerkronen von massiven Innen- und Außenwänden (f und h), von Abseitenabmauerungen (c) oder von Dämpfungsmauern mit Fußpfetten-Auflager (a) sowie die Anschlüsse (d) an Dachflächenfenstern. Die einzelnen aufgetretenen Probleme und Detaillösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Luftdichtheitsprobleme gab es an Schrägdächern wesentlich häufiger als an massiven Bauteilen. Als Luftdichtung im Schrägdach wurden überwiegend zugleich luft- und dampfsperrende Polyethylen-Folien und bei zwei Objekten Spanplatten mit abgeklebten Fugen eingesetzt. Während die Verwendung von PE-Folien und infragekommenden Plattenwerkstoffe selbst grundsätzlich bekannt waren, gabe es starke Informationsdefizite über dafür geeignete oder ungeeignete Verbindungsmittel und Verarbeitungstechniken. Insbesondere bei der Auswahl der Klebe- und Dichtbänder sowie der Ausführung der zusätzlichen mechanischen Sicherung für Folien/Folien-, Folien/Putz-, Folien/Holz- und Holz/Putzverbindungen gab es viele Verarbeitungsprobleme und Mängel. Verarbeitungsprobleme und spätere Luftundichtigkeiten gab es insbesondere an den in (Bild 4.9-8) schematisch gezeigten Anschlüssen der Luftdichtungsebene des Schrägdachs an Drempelemauern (a), Innenwände (f), Außenwände (h) und vorgestellte Abseitenmauern (c), sowie an das Schrägdach durchdringenden Installationen (b), Kehlbalken (e) und an Dachflächenfenstern. Näheres hierzu ist in Kapitel 6 ausführlich dargestellt.

Komplikationen bei der Planung und Ausführung gab es bei allen Schrägdächern im Untersuchungsgebiet, obwohl es sich grundsätzlich um übliche Konstruktionen handelt, deren Abänderungen zugunsten eines erhöhten Wärmeschutzes keine besonderen technischen Probleme aufwerfen. Die häufigsten Fehler sind nachfolgend aufgelistet:

- Statt Sparrenvolldämmungen waren häufig **anfangs nur Sparrenteildämmungen** mit hinterlüftetem Unterdach eingeplant, was erhöhten Zusatzaufwand für die insgesamt nötige Konstruktionstiefe mit sich bringt. Gründe hierfür waren, daß den Planern Aufbau, Funktionsweise und Materialien für nicht-unterlüftete und stattdessen diffusionsoffene Unterdächer in Verbindung mit raumseitigen Dampfsperren oder Dampfbremsen als Stand der Technik nicht bekannt waren.
- Die **Holzanteile der Sparrenebene**, die sich aus den Querschnitten und Achsabständen der Sparren ergeben, waren nur **mit hohen Ungenauigkeiten** in k-Wert-Berechnungen der Dächer aufgenommen, da die Dachkonstruktion zum Zeitpunkt der Erarbeitung der Energiebilanz noch nicht zwischen Planer, Statiker und Zimmermann abgestimmt war. Auch wurden die vom Statiker festgelegten Maße oft noch vom Zimmermann wegen des Einbaus von Dachflächenfenstern oder Gauben verändert. Dadurch entstanden deutliche Abweichungen zwischen den geplanten und realisierten Schrägdach-k-Werten.
- Die **k-Werte mehrschichtig aufgebauter Schrägdächer** mit unterschiedlichen Holzanteilen in den verschiedenen Dämmebenen waren **bei keinem einzigen Erstlingsbau** eines Architekten im Untersuchungsgebiet **korrekt berechnet**. Im Regelfall wurden pauschale Holzanteile für alle Schichten der Gesamtkonstruktion einbezogen, obwohl die Holzanteile in diesen jeweils verschieden sind. Solchermaßen geplante Dachkonstruktionen erreichten bei genauer Nachrechnung meist nicht den vorgegebenen k-Wert und mußten dann um bis zu 6 cm dicker ausgeführt werden als geplant. In wenigen Fällen wurden die Holzanteile sogar ganz "vernachlässigt".
- Der **Planer** eines MFH **wollte die Notwendigkeit** einer mindestens 26 cm starken Dämmebene zum Erreichen des vorgegebenen k-Wertes **nicht akzeptieren**. Er hatte zunächst eine k-Wert-Berechnung ohne jegliche Holzanteile vorgelegt und übernahm mehrere ihm vom NEI vorgeschlagene Dachkonstruktionen "aus Kostengründen" nicht in seine Planung und Ausschreibung, sondern behauptete, eine geschicktere und schlankere nicht näher definierte Lösung realisieren zu wollen. Der tatsächliche Dachaufbau des in der Ausführung nicht betreuten Objektes erreichte nachher mit nur 0,236 W/m²K den schlechtesten Dach-k-Wert im Untersuchungsgebiet. Der hier beobachtete Irrglauben mag daher kommen, daß in der Populärliteratur über NEH häufig falsche Angaben über k-Werte von nur relativ dünn gedämmten Dachaufbauten veröffentlicht werden, daß manche Planer diesen Angaben vertrauen und evtl. gar nicht in der Lage sind, solche Angaben zu prüfen oder k-Werte selbst zu berechnen.
- Die **Luftschicht zwischen der Traglattung** der inneren Bekleidung von Dachaufbauten wurde bei zwei Objekten in der k-Wert-Berechnung geplanter Schrägdächer als dämmwirksame "stehende" Luftschicht **mit eingerechnet**. Realisiert wurde jedoch eine hinterlüftete innere Bekleidung aus Holzpaneelbrettern, die nicht als dämmende Schicht angerechnet werden kann. Bei einem in der Ausführungsphase nicht betreuten Objekt verfehlte das tatsächlich gebaute Schrägdach deshalb den vorgegebenen k-Wert.
- Zusätzliche **Untersparrendämmungen führten zu Fehlern bei Höhenberechnungen der Dachräume** in mehreren NEH, insbesondere dann, wenn in den Schnittzeichnungen zwar die Sparren-

lage, nicht aber die Lage und Stärke der zusätzlichen Untersparrendämmung eingezeichnet war. Dann wurden Dachflächenfenster so hoch positioniert, daß ihre Griffe nicht erreichbar waren oder so niedrig, daß Ihre Unterkante hinter der Drempe abmauerung lag. Bei einem NEH war die tatsächliche Raumhöhe unter den Dachschrägen eines OG-Bads so viel kleiner als vermutet, daß das Schrägdach über dem Bad wieder entfernt und über seiner ganzen Breite eine Gaube errichtet wurde.

- Die **thermische Zonierung im Dachbereich** wurde häufig **zu spät oder** in sich **widersprüchlich festgelegt**. Mehrfach sollten große Abseitenbereiche zwar zum beheizten Gebäudevolumengehören, weil die Dämmung bis zur Traufe zwischen den Sparren eingebaut werden sollte, die Luftdichtung sollte jedoch abweichend davon bereits an der vorgestellten Abseitenmauer bis zur Rohdecke herabgeführt werden. Dabei wäre **in der Abseite** zwischen der Luftdichtung und der Dämmschicht ein **undefinierter luftdurchströmter Zwischenraum** entstanden. Die Verläufe von Dämmung oder Luftdichtung mußten dann nachträglich geändert werden.
- Ein für später **geplanter Ausbau des Spitzbodens** wurde **bei der Luftdichte-Planung** des Schrägdachs mehrerer NEH **nicht bedacht**. Die luftdichtenden Folien im OG endeten unter der Kehldecke, ohne um die Kehlbalken herumgeführt und abgedichtet zu werden und die Decke wurde beidseitig fertig bekleidet. Somit kann eine durchgehende Luftdichtung zwischen Spitzboden und Dachgeschoß nachträglich nicht mehr hergestellt werden, ohne die Decke von beiden Seiten wieder öffnen zu müssen. Bei diesen NEHs werden beim späteren Ausbau des Spitzbodens fast nicht mehr lösbare Luftdichtprobleme am Anschluß der Kehldecke an das Schrägdach auftreten.
- Auch bei einem anderen NEH wurde die im Schrägdach verlaufende und unter der Kehldecke endende **Luftdichtungsfolie des OG nicht mit der Luftdichtungsfolie des DG verbunden**, die oberhalb der Kehldecke erst beginnt und im Schrägdach bis zum First verläuft. Hier war die Entscheidung, den Spitzboden zu beheizen, erst während der Bauphase getroffen worden, als die oberseitige Schalung der Kehldecke bereits verlegt war. Der Deckenhohlraum selbst ist somit nach außen luftoffen und durch die Fugen der Nut-Feder-Verbretterung des DG-Bodens kann Außenluft bis in den DG-Innenraum strömen. Da bei diesem Objekt keine Luftdichtmessung durchgeführt werden sollte, waren weder die Handwerker noch die Investoren zu einer sorgfältigeren Konstruktion zu motivieren.
- Der **traufseitige Abschluß der Zwischensparrendämmung** wurde bei einem Objekt **nicht eingeplant**, dessen Schrägdach mit Zellulosedämmung ausgeblasen werden sollte, die einen allseits abgeschlossenen Hohlraum beim Einblasen erfordert. Als traufseitige Begrenzung der Dämmung war nur die geklebte PS-Außenwanddämmung vorhanden. Fehlerursache war hier die unzureichende Abstimmung an der Schnittstelle zwischen der vom Bauträger vorher erstellten Rohbau-, Zimmermanns- und Putzarbeiten und der in Eigenleistung vorgesehenen Dachdämmung.
- Die direkt innenseitig der Giebelwände liegenden **Streichsparren** wurden bei mehreren NEH von den Zimmerleuten **zu nah an die Giebelwand gelegt**, so daß der Zwischenraum zwischen Streichsparren und Giebelwand weder verputzt noch mit Dämmstoff verfüllt werden konnte. An diesen Stellen entstanden **Luftundichtigkeiten und gravierende Wärmeleckagen**. Da hier nur eine Folie warme Innen- von kalte Außenluft trennt, besteht dauerhafte Gefahr von Tauwasserausfall und ergibt sich eine starke Wärmebrücke längs der innenseitig kaltluftumspülten Mauerkrone der Giebelwand.
- Eine im Schrägdach auf stabilen Spanplatten verlegte Luftdichtung aus Polyethylenfolie wurde **bewußt nicht besonders sorgfältig ausgeführt**, da fälschlicherweise angenommen wurde, die Spanplatten würden ja zusätzlich dichten. Derartige Irrtümer kamen häufig vor.
- Die **Unterdächer** vieler NEH **waren undicht** und erfüllten nicht ihre Doppelfunktion als zweite Wasserablaufebene und äußere Winddichtung der Wärmedämmung. Bei Unterdächern aus Folien oder bituminiertes Holzweichfaserplatte lag dies meist an Beschädigungen während der Montage. Ein Polystyrol-Aufsparrendämmsystem mit zusätzlicher Unterdachfunktion war in der Fläche gravierend undicht, weil sein Wasserablaufprofil an den Plattenstößen werksseitig unzureichend ausgebildet war, so daß an mehreren Stellen Wasser hindurchfloß. Für den Wasserablauf in den Kehlen, die an diesem Dach an mehreren Stellen vorkommen, hatte dieses Aufsparrendämmsystem überhaupt keine geeigneten Profile oder Formstücke, so daß nachher mit Metallblechen unterhalb des Dämmsystems Wasserabläufe in die Kehlen eingebaut werden mußten, die dadurch innenseitig der Dämmung lagen und Wärmebrücken bildeten.

- Bei mehreren Schrägdächern mit Vollsparrendämmung und diffusionsoffener Unterspannbahn wurde diese nicht winddicht bis über den First geführt, sondern wurde **am First ein Streifen der Unterspannbahn weggelassen**, so wie es bei Dächern mit Teilsparrendämmung und unterlüftetem Unterdach üblich ist. Dies ist bei Dächern mit Vollsparrendämmung und diffusionsoffenen Unterdächern aber nachteilig, da die Austrocknung hier ohnehin über die Fläche der Unterspannbahn erfolgt, am First eine starke Durchlüftung des Dämmstoffes entsteht und die Konstruktion hier nicht wasserdicht ist. Ursache solcher Fehler sind irreführende Angaben in Herstellerprospekten einzelner Dachkomponenten, in denen Einbaubeispiele gezeigt werden, die zwar für bestimmte Dachaufbauten gelten, jedoch irrtümlich auch auf andere Fälle angewandt werden, sowie mangelnde Detailkenntnisse der Planer und Verarbeiter über die Funktion solcher Details.
- Die **Anschlüsse der Unterdächer an Dachflächenfenster** sind bei allen untersuchten NEH **nicht wirklich gelöst**, sondern wurden in unterschiedlicher Weise und mit ungewissem Effekt improvisiert. Bei vielen Unterdächern fehlt auch in den Hohlkehlen der Gaubenanschlüsse die Verbindung der Wasserablafebene. An solchen Stellen kann ablaufendes Wasser ungehindert in die Dämmung gelangen.

Die folgenden Bilder zeigen einige Details aus der Baupraxis von NEH-Schrägdächern:



Bild 4.9- 9 Aufsparrendämmung aus Polystyrol noch ohne Dacheindeckung. Durch die Fugen dringt Wasser ein, die Unterdachfunktion wird trotz Stufenfalzprofil nicht erfüllt.



Bild 4.9- 10: Dach mit Aufsparrendämmung aus 10 cm Polystyrol WLG 035, 20 cm Zwischensparrendämmung WLG 040, Hartfaserplatte zum Abtragen der Dämmstofflasten und Dampfsperrfolie.



Bild 4.9- 11: Dachstuhl mit oberseitiger Längsaufdoppelung der Sparren. Der Zwischenraum wurde in einer Schichtlage mit Zelluloseflocken gedämmt.



Bild 4.9- 12: Dachstuhl mit oberseitiger Queraufdoppelung und dazwischen von oben ausgerollter Mineralwolle-Dämmung. Die Zwischensparrendämmung wurde nachher von unten eingebaut.



Bild 4.9- 13: NEH-Dachaufbau mit 20 cm Zwischensparrendämmung und unterseitiger Zusatzdämmung zwischen einer 4 x 10 cm Querlattung.



Bild 4.9- 14: NEH-Dachaufbau mit Dämmschichten zwischen unterseitig längs aufgedoppelten Sparren und zusätzlich zwischen unterseitiger Querlattung.



Bild 4.9- 15: NEH-Dach mit Unterdach aus bitumierter Holzweichfaserplatte, unterseitiger Längs- und Queraufdoppelung der Sparren und innerer Luftdichtung aus verklebten OSB-Platten. Als Dämmstoff wurden hier später Zelluloseflocken eingeblasen.



Bild 4.9- 16: Schimmel wegen Kondenswasserbildung an fehlerhaftem Detail. Ursache ist ein fehlerhafter Anschluß von Außenwanddämmung zu Dachdämmung im Bereich der Fußpfette an der Drepelmauer, verbunden mit Luftundichtigkeiten an der von innen nach außen durchdringenden Fußpfette.

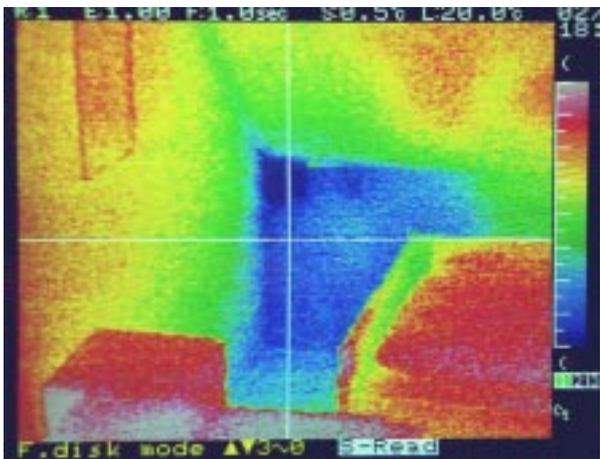


Bild 4.9- 17: Die Thermographie zu Bild 4.9-16 zeigt die Auskühlung der Drepelwand infolge der Dämm-Fehlstelle.

4.10. Kehlbalkendecken unter unbeheizten Dachräumen

Kehlbalkendecken kommen als thermische Trennfläche zwischen beheiztem Dachgeschoß und unbeheiztem Spitzboden bei 21 Gebäuden im Untersuchungsgebiet vor. Der Detmolder NEH-Standard stellt an Kehlbalkendecken die Anforderung, daß Ihr k-Wert $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein muß. Die dafür notwendigen Dämmstoffstärken und die möglichen Aufbauvarianten entsprechen im wesentlichen denen der Schrägdächer, die in Kapitel 4.9 in (Bild 4.9-1) dargestellt sind.

(Bild 4.10-1) zeigt die k-Werte der geplanten und gebauten Kehlbalkendecken im Untersuchungsgebiet. Die gebauten Ausführungen werden unterschieden in die in der Ausführungsphase betreuten bzw. überwachten und die nicht überwachten Objekte.

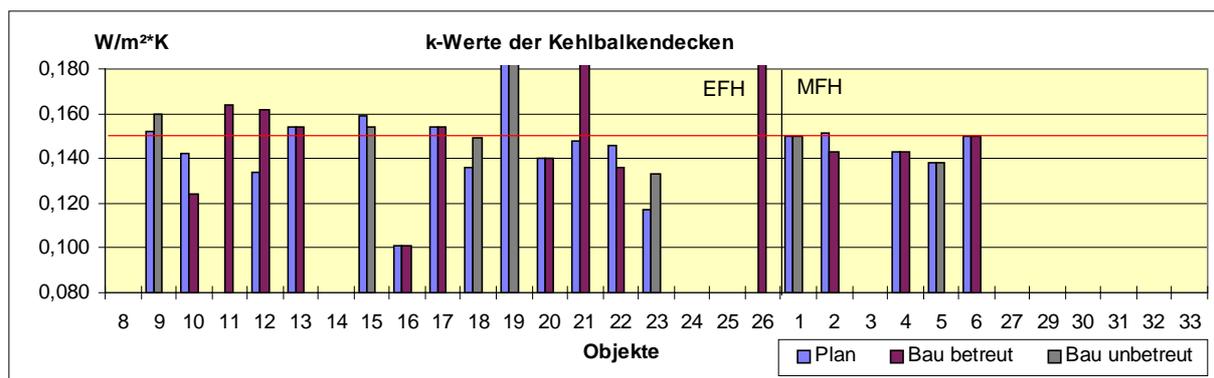


Bild 4.10- 1: k-Werte der Kehlbalkendecken im Untersuchungsgebiet.

Die geplanten k-Werte waren im Untersuchungsgebiet bei zehn Objekten niedriger, bei sechs Objekten höher als der vorgegebene k-Wert von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Für zwei Objekte wurden keine definierten Planungen vorgelegt. Bei einem Objekt (16) ist die Kehlbalkendecke nur im kleinen, nicht begehbaren Bereich über der Gaube themisch trennend, so daß mit geringem Aufwand ein k-Wert von $0,101 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht werden konnte. Bei zwei Objekten (21 und 26) trennt die Kehlbalkendecke zwischen beheiztem Wohnraum und temperiertem Heiz- und Installationsraum bzw. zum Treppenhaus hin luftoffenen Abstellraum im Spitzboden. Da die Schrägdachflächen des Spitzbodens jeweils mit Sparrenvollämmung und funktionierender Luftdichtung versehen sind wurde ein höherer k-Wert zugelassen. Der höchste geplante k-Wert war mit $0,159 \text{ W/m}^2\text{K}$ noch deutlich besser als der maximal erlaubte, um zehn Prozent erhöhte k-Wert von $0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$. Insgesamt sind die k-Werte der Kehlbalkendecken mit im Durchschnitt $0,145 \text{ W/m}^2\text{K}$ geringfügig niedriger als die der Schrägdächer ($0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$), da meist derselbe Aufbau wie im Schrägdaches realisiert und zusätzlich eine dämmwirksame obere Lauffebene montiert wurde.

(Bild 4.10-2) zeigt die Anteile der thermisch trennenden Kehlbalkendecken an der Hüllfläche und den Transmissionswärmeverlusten der untersuchten NEH in den geplanten Ausführungen:

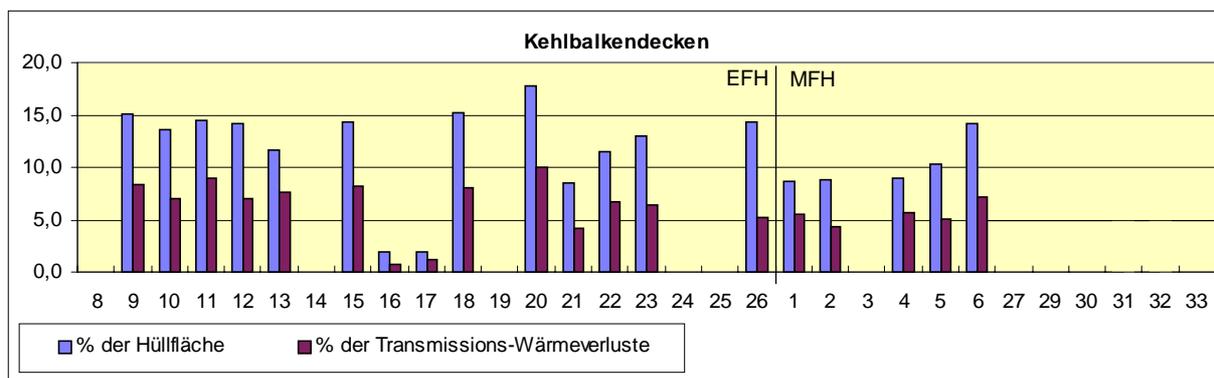


Bild 4.10- 2: Anteile thermisch trennender Kehlbalkendecken an der Hüllfläche und am Transmissionswärmeverlust der untersuchten NEH.

Der **Anteil der Kehlbalkendecken an der thermisch trennenden Hüllfläche** liegt zwischen zwei und 17,8 Prozent. Der niedrige Wert kommt bei EFH mit ausgebauten Dachböden vor, bei denen Kehlbalkendecken nur innerhalb der Gauben vorkommen, der hohe Wert bei einem EFH mit sehr kompakter Bauform unter dessen großem unbeheizten Spitzboden.

Die über die **Kehlbalkendecken abfließenden Wärme** macht zwischen einem und zehn Prozent des gesamten Transmissionswärmebedarfs aus und ist damit nur etwa halb so hoch wie der Flächenanteil der Kehlbalkendecken. Dies liegt am sehr niedrigen k-Wert dieser Decken.

Die **Konstruktionsvarianten** thermisch trennender Kehlbalkendecken entsprechen in Ihrem Aufbau und in Ihrer Vielfalt denen der Schrägdächer. Die Dämmstofflagen zwischen den eigentlichen Kehlbalken werden durch ober- und/oder unterseitige Zusatzdämmung zwischen Lattung ergänzt. Tragende Konstruktion ist bei allen untersuchten NEH eine Vollholz-Balkenlage, die an die Sparren oder Mittelpfetten angeschlossen ist und teils zusätzlich auf Innenwänden oder Metallträgern aufliegt.

(Bild 4.10-3) zeigt die Stärke und Lage der Dämmstoffebenen der Kehlbalkendecken der untersuchten NEH in den geplanten Ausführungen:

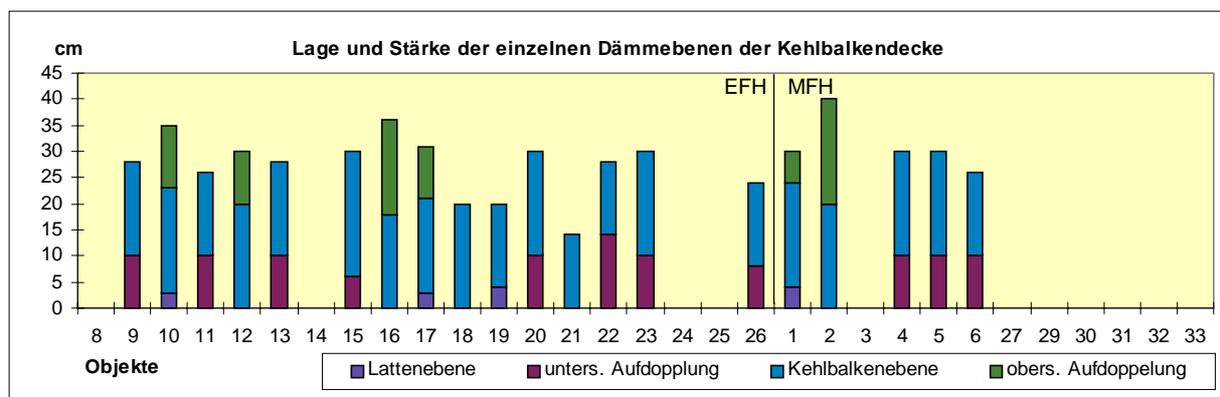


Bild 4.10- 3: Stärke und Lage von Dämmstoffebenen der Kehlbalkendecken im Untersuchungsgebiet.

Die **Dämmung** besteht bei allen Kehlbalkendecken zum größten Anteil aus der **Dämmung der Kehl-balkenlage**, die in Stärken zwischen 16 und 24 cm realisiert wurde. Um den geforderten k-Wert zu erreichen, haben alle bis auf eines der untersuchten NEH außerdem eine oberseitige und/oder unterseitige Zusatzdämmung zwischen längs oder quer montierten zusätzlichen Latten bzw. Brettern.

Oberseitige Zusatzdämmungen kommen in fünf Planungen (27%) in Stärken von 6-12 cm, bei einer kleinen Decke über einer Gaube auch von 18 cm vor. Bei zwei (11%) Kehlbalkendecken mit oberseitiger Zusatzdämmung wurde eine dritte Dämmstofflage in der unteren Lattenebene zur Befestigung des Gipskartons vorgesehen.

Unterseitige Zusatzdämmungen kommen in zwölf Planungen (66%) in Stärken von 6-14 cm vor. Auch bei einer (5,5%) Kehlbalkendecke mit unterseitiger Zusatzdämmung wurde eine dritte Dämmstofflage in der GK-Lattenebene vorgesehen.

Ohne zusätzliche Dämmebene, jedoch mit Dämmstofffüllung der 4 cm starken GK-Lattenebene wurde ein Objekt (5,5%) geplant. Hier war wegen des zwar nicht ausgebauten, aber rundum gedämmten Spitzbodens ein geringerer k-Wert der Kehl-balkendecke akzeptiert worden.

Die **Laufebene** der Kehlbalkendecke besteht in sechs Planungen (33%) aus Spanplatten und in zehn Planungen (55%) aus Massivholz-Dielenbrettern mit Nut-und-Feder-Verbindung. Bei zwei Objekten (11%) wurde auf ohnehin nicht begehbaren sehr kleinen Decken keine Laufebene geplant.

Als **Dämmstoff** war in der überwiegenden Zahl der Kehlbalkendecken derselbe Dämmstoff wie im Schrägdach eingeplant. Dies war meist Mineralwolle in Rollen-, Keil- oder Blockform. Nur in zwei Decken wurde Zellulosedämmung eingeblasen. Hartschaumplatten wurden nicht eingeplant.

Als **Dämmstoffqualitäten** wurden in je sieben Decken (je 39%) ausschließlich Dämmstoffe der WLG 035 oder 040 vorgesehen, in zwei Decken (11%) Zelluloseflocken der WLG 045 und in zwei Decken (11%) sollte Mineralwolle der WLG 035 und 040 gemischt verwendet werden.

Die **innere luftdichtende Schicht** war fast immer aus PE-Folie geplant, die innenseitig der Dämmstoffschichten verlegt werden und zugleich als **Dampfsperre** wirken sollte. Nur in einem Fall war ein diffusionsoffener Aufbau mit innerer Luftdichtung aus einer fugenverleimten OSB-Grobspanplatte geplant, die zugleich **Dampfbremse** sein sollte.

Eine zusätzliche **Schicht zur mechanischen Entlastung und leichteren Verklebung** der Luftdichtungs- und Dampfsperrfolien aus steifen Span- oder Hartfaserplatten wurde in zwei Kehlbalkendecken zwischen Balkenunterseite und Folie eingeplant. In allen anderen Decken verlaufen die Folien direkt zwischen weichem Dämmstoff und Luftschicht und sind infolgedessen teils mit dem Dämmstoffgewicht mechanisch belastet. Bei einer mit Zellschüttdämmung ausgeblasenen Kehlbalkendecke trägt die innere Folie nicht nur die Dämmstofflasten, sondern mußte auch den Druckbelastungen des Ausblasens ohne mechanische Unterstützung standhalten.

Abweichungen zwischen geplanten und gebauten Kehlbalkendecken kamen häufig vor, sind aber in ihrer Auswirkung hinnehmbar. Sie ergaben sich meist durch Bemühungen, den geforderten Wärmeschutz-Standard kostengünstiger und raumsparender als mit dem ursprünglich geplanten Aufbau zu erreichen. So führte die leichtere Montagetechnik oberseitiger Zusatzdämmung dazu, daß sieben statt geplanter fünf Kehlbalkendecken hiermit gebaut wurden, was jedoch keine qualitative Veränderung bedeutete. Der mittlere k-Wert der realisierten Kehlbalkendecken liegt mit $0,155 \text{ W/m}^2\text{K}$ um sieben Prozent schlechter als der Mittelwert der geplanten Decken, was vor allem auf anfangs ungenau geschätzte Holzanteile und zum geringen Anteil auf Einbau schlechterer Dämmstoffqualitäten als geplant zurückgeht. Der mittlere k-Wert der realisierten Kehlbalkendecken überschreitet damit geringfügig den Vorgabewert von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, liegt aber noch im zulässigen Toleranzbereich. Drei realisierte Kehlbalkendecken halten die k-Wert-Vorgabe incl. Toleranzgrenze von $\leq 0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht ein. Bei ihnen war ursprünglich berücksichtigt worden, daß die geplante Dämmung im Spitzbodens dort zu einer höheren Temperatur führen wird, so daß an der Kehlbalkendecke ein höherer (schlechterer) k-Wert zugelassen werden konnte. Bei einem dieser Objekte wurde die Dämmung des Spitzbodens jedoch nicht hinreichend stark und dessen Luftdichtung gar nicht wie geplant ausgeführt, so daß eine Nachbesserung gefordert werden mußte.

Abweichungen zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten gab es bei Kehlbalkendecke vor allem bei der Ausführung luftdichtender Ebenen. Sie entsprechen materiell den in Kapitel 4.9 für Schrägdächer beschriebenen Abweichungen. Signifikante **Unterschiede der realisierten k-Werte** der Kehlbalkendecken ließen sich zwischen betreuten und nicht betreuten Objekten **nicht ermitteln**. Der eine Fall mit unzulässiger Überschreitung des k-Werts trat jedoch bei den nicht betreuten Objekten auf.

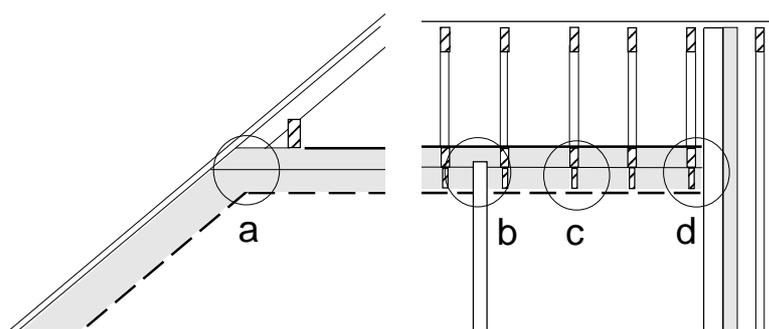


Bild 4.10- 4: Wärmebrücken und Luftdichtungs-Problemstellen an Kehlbalkendecken.

Wärmebrückenprobleme an Kehlbalkendecken gab es im Untersuchungsgebiet wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit der Einzelbestandteile dieses Bauteiles nur wenige. Bei Kehlbalken mit ober- oder unterseitiger Längsaufdoppelung können in geringem Umfang die durchgehenden Holzanteile (Punkt c) Wärmebrücken darstellen, da Holz gegenüber dem Dämmstoff einen etwa dreifach höheren Wärmedurchgang aufweist. Bedeutsamer sind die Wärmebrücken am Anschluß von Innenwänden (b) und Außen-

wänden (d) an Kehlbalkendecken, wenn diese Wände aus schweren schalldämmenden Steinen mit hoher Wärmeleitfähigkeit hergestellt sind und in die Kehlbalkendämmung hineinragen oder diese durchbrechen. (Bild 4.10-4) zeigt schematisch die Lage solcher Wärmebrücken-Problempunkte. Die im Untersuchungsgebiet aufgetretenen Probleme und Detaillösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Objekt	geplant																		k-Wert W/m²K	
	Innere Bekleidg. Material	Lattenebene				Luftdichtung		unterseitige Aufdopplung				Kehlbalkenebene				oberseitige Aufdoppelg.				Laufebene Holz Verlegeplatte keine
		Luft cm	WLK	WLK	Misch	Folie/ Holzwerk stoffplatte	Entlastungs Ebene f.Folie Material	WLK	WLK	WLK	Misch	WLK	WLK	WLK	Misch	WLK	WLK	Misch		
			035 cm	040 cm	Lambda W/m²K			035 cm	040 cm	045 cm	Lambda W/m²K	035 cm	040 cm	045 cm	Lambda W/m²K	035 cm	040 cm	Lambda W/m²K		
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
9	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	10	-	0,044	-	18	-	0,049	-	-	-	RSP	0,152
10	GK	-	-	3	0,051	PE-Folie	-	-	8	-	0,045	-	20	-	0,047	-	-	-	RSP	0,142
11																				?
12	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	10	-	0,055	-	20	-	0,047	-	-	-	PSP	0,134
13	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	10	-	0,044	-	18	-	0,048	-	-	-	SPP	0,154
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	GK	-	-	-	-	OSB	-	-	-	6,0	0,050	-	-	24	0,052	-	-	-	RSP	0,159
16	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	18	-	0,046	18	-	0,035	-	0,101	
17	GK	-	3	-	0,045	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	18	-	0,051	-	10	0,040	-	0,154
18	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	16	-	0,047	-	14	0,043	SPP	0,136
19	GK	-	4	-	0,051	PE-Folie	-	-	-	-	-	16	-	0,045	-	-	-	SPP	0,208	
20	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	10,0	-	0,044	-	20	-	0,047	-	-	-	PSP	0,140
21	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	10,0	-	-	0,039	16	-	0,05	-	-	-	RSP	0,148	
22	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	12,0	-	-	0,039	14	-	0,04	-	-	-	SPP	0,146	
23	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	15,0	-	-	0,041	20	-	0,05	-	-	-	RSP	0,117	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26																				?
1	GK	-	-	4	0,05	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	0,048	-	6	0,0	SPP	0,150
2	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	0,050	-	20	0,050	SPP	0,151
3																				?
4	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	SPP	10	-	-	0,400	-	20	-	0,050	-	-	-	RSP	0,143
5	GK	3	-	-	-	PE	-	10	-	-	0,042	20	-	0,043	-	-	-	RSP	0,138	
6	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	10	-	-	0,039	16	-	0,046	-	-	-	RSP	0,150	
27																				?
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

HFP Holzhartfaserplatte
HWP Holzweichfaserplatte
SPP Spanplatte
OSB Grobspanplatte
NFP Nut-und-Feder Profilholz

Bild 4.10- 5: geplante Konstruktionen der Kehlbalkendecken

Objekt	gebaut																	k-Wert W/m²K		
	Innere Bekleidg. Holz/ GK/ Holzwerkst.	Lattenebene				Luftdichtung		unterseitige Aufdopplung				Kehlbalkenebene				oberseitige Aufdoppelg			Untersdach.. Folie Diffoffene Bahn "Gutex"	
		Luft cm	WLG 035 cm	WLG 040 cm	Misch Lambda W/m²K	Folie/ Holzwerk stoffplatte	Entlastungs Ebene f.Folie	WLG 035 cm	WLG 040 cm	WLG 045 cm	Misch Lambda W/m²K	WLG 035 cm	WLG 040 cm	WLG 045 cm	Misch Lambda W/m²K	WLG 035 cm	WLG 040 cm			Misch Lambda W/m²K
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	NFP	3	-	-	-	PE-Folie	-	-	10	-	0,049	-	18	-	0,046	-	-	-	RSP	0,160
10	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	20	-	0,043	12	-	0,043	RSP	0,124	
11	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	10	-	0,047	-	16	-	0,048	-	-	-	SPP	0,164
12	GK	-	-	2	0,051	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	0,051	-	10	0,055	RSP	0,162
13	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	10	-	0,044	-	18	-	0,048	-	-	-	SPP	0,154
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	GK	3	-	-	0,148	OSB	-	-	-	6	0,050	-	-	24	0,052	-	-	-	RSP	0,154
16	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	18	-	0,05	18	-	0,035	-	0,101	
17	GK	-	3	-	0,045	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	18	-	0,051	-	10	0,040	-	0,154
18	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	0,046	-	8	0,047	SPP	0,149
19	GK	-	4	-	0,051	PE-Folie	-	-	-	-	-	16	-	0,045	-	-	-	SPP	0,208	
20	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	10	-	0,044	-	20	-	0,047	-	-	-	RSP	0,140
21	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	14	-	0,045	-	-	-	RSP	0,230	
22	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	14	-	0,039	-	14	-	0,044	-	-	-	SPP	0,136	
23	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	10	-	0,044	-	20	-	0,047	-	-	-	RSP	0,133	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	8	-	0,046	-	16	-	0,05	-	-	-	SPP	0,200	
1	GK	-	-	4	0,05	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	0,048	-	6	0,0	SPP	0,150
2	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	-	-	-	-	-	20	-	0,50	-	20	0,05	SPP	0,143
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	SPP	10	-	0,400	-	20	-	0,50	-	-	-	RSP	0,143	
5	GK	3	-	-	-	PE	-	10	-	0,042	-	20	-	0,043	-	-	-	RSP	0,138	
6	GK	3	-	-	0,148	PE-Folie	-	10	-	0,039	-	16	-	0,05	-	-	-	RSP	0,150	
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	?
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

HFP Holzhartfaserplatte
HWP Holzweichfaserplatte
SPP Spanplatte
OSB Grobspanplatte
NFP Nut-und-Feder Profilholz
RSP Rauhspundbretter

Bild 4.10- 6: gebaute Konstruktionen der Kehlbalkendecken

Luftdichtheitsprobleme gab es an den Kehlbalkendecken relativ viele. Die generellen Probleme, Luftdichtheit in der Fläche und an den Anschlüssen der durchdringenden Bauteile herzustellen, sind in Kapitel 4.9. zu Schrägdächern bereits beschrieben. Zusätzlich war eine Lösung für den Anschluß der Bodenluken zu finden, die häufig erst nach Abschluß aller anderen Arbeiten montiert wurden, wenn die Folienebenen nicht mehr zugänglich waren. Näheres hierzu ist in Kapitel 6 dargestellt.

Komplikationen bei der Planung und Ausführung gab es bei vielen Kehlbalkendecken im Untersuchungsgebiet, auch weil es sich nicht mehr um übliche Konstruktionen handelt. Die häufigsten Fehler sind nachfolgend aufgelistet:

- In vielen Planungen erfolgte keine gesonderte k-Wert Berechnung der Kehlbalkendecke. Der Vorteil der geringfügig mitdämmenden oberen Lafebene wurde dadurch rechnerisch nicht berücksichtigt. Auch eine Detailzeichnung fehlte mehrfach.
- Die Möglichkeit, durch oberseitige Aufdoppelung keine Raumhöhe zu verlieren, wurde in den eingereichten Planungsunterlagen selten genutzt, obwohl große Unsicherheit bei den Planern bestand, wie dick die zusätzliche Dämmschicht denn werden würde. Mehrfach war der Dachstuhl sogar bereits errichtet, bevor die Lage und Stärke der Zusatzdämmung festgelegt wurde. Damit wurde bei unterseitiger Zusatzdämmung das Risiko nachher zu niedriger Deckenhöhe in Kauf genommen, das bei oberseitiger Zusatzdämmung nicht bestanden hätte.
- Bei einem Objekt mit geplanter oberseitiger Zusatzdämmung der Kehlbalkenebene wurde irrtümlich die Lafebene aus Holzdielenbrettern direkt auf die Kehlbalken montiert. Um sie nicht wieder demontieren zu müssen, wurde die Zusatzdämmung unterseitig der Kehlbalken angebracht. Dadurch verringerte sich die lichte OG-Raumhöhe erheblich. Bereits gebohrten Zuluftöffnungen in den OG-Giebelwänden mußten tiefergelegt werden und die vorgesehene Möblierung paßte nicht mehr.
- Die Mittelpfette wurde bei einem Objekt durch einen Metallträger gestützt, der zwischen den Kehlbalken in der Dämmebene verlief. Dieser Träger wurde zum kalten Spitzboden hin nur durch die Lafebene aus Spanplatte überdeckt und bildete eine starke Wärmebrücke.
- Das Auflager der Mittelpfette auf eine Innenwand erfolgte bei einem Objekt unmittelbar über dem Sturz einer Innentür. Der Türsturz aus Beton wurde aus statischen Gründen so weit hochgezogen, daß er als Wärmebrücke noch 20 cm in den kalten Spitzboden hinein und über die Oberkante der Kehlbalkenebene vorstand. Das Bauteil wurde rundum mit hochwertigem Dämmstoff "eingepackt".
- Bei einer nicht begehbaren, als Gaubendecke auskragenden Kehlbalkendecke wurde sichtbar, daß die Dämmung in der Fläche und um die Mittelpfette herum nur lückenhaft eingepaßt war, so daß Nachbesserungen angemahnt wurden.
- Bei zwei Objekten wurden die innen direkt neben der Giebelwand verlaufenden Sicht-Kehlbalken so nahe an der Außenwand verlegt, daß die Wand hier nicht mehr verputzt werden konnte und es zu Luftundichtheiten kam.
- Bei einem Objekt verliefen die Kehlbalken auf halbe Länge als Sichtbalken durch einen beheizten Dachraum und auf die restliche halbe Länge innerhalb einer Trenndecke mit untenliegender Luftdichtung. Am Übergang der beiden Räume durchstießen sie jeweils die Raumtrennwand, in die sie nur mit Mörtel luftundicht eingelegt waren. Die stark luftundichte Fuge wurde nach ihrer Ermittlung jedoch nur mit Montageschaum verfüllt, so daß eine dauerhafte Dichtheit nicht erreicht wurde.
- Bei einem Objekt wurden Lüftungsleitungen auf dem Spitzboden teilweise schon vor der oberseitigen Zusatzdämmung der Kehlbalkendecke verlegt. Nach Montage der Zusatzdämmung endeten einige Leitungen und Abzweige inmitten der Dämmstoffebene und mußten wieder umgebaut werden.
- In einem nicht betreuten Objekt war die Bodenluke schon relativ früh eingesetzt worden. Da die Aufbauhöhe der unterseitigen OSB-Beplankung, Lattung und Bekleidung falsch eingeschätzt worden war und dicker ausfiel als geplant, mußte die Bodenluke wieder umgebaut werden.

Auf der folgenden Seite sind zwei Detailfotos abgebildet.



Bild 4.10- 7: Kehlbalkendecke mit oberseitig quer zu den Kehlbalken aufgedoppelter Dämmung und Laufebene aus Nut-und-Feder Massivholzdielen.



Bild 4.10- 8: Kehlbalkendecke mit seitlich an die Balken geschraubten Brettern für eine unterseitige Aufdoppelung der Dämmung mit minimalen Holzanteilen.

4.11. Flachdächer und sonstige thermisch trennende Decken

Flachdächer und sonstige Decken zwischen beheizten Räumen und Außenluft kommen im Untersuchungsgebiet unter Dachterrassen und Loggien, als Erkerdecken und als Flachdächer zwischen zwei aus gestalterischen Gründen auseinandergerückten Gebäudeteilen vor. Zu den Deckenkonstruktionen zählen auch die Deckenflächen über der Außenluft, welche über eingezogenen Balkonen, Loggien bzw. bei gegenüber dem darunterliegenden Geschos nach außen verspringenden Geschossen vorkommen.

Der Detmolder NEH-Standard stellt an an Flachdächer und sonstige Deckenflächen zwischen beheizten Räumen und Außenluft die **Anforderung**, daß ihr **k-Wert $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$** sein muß. Solche k-Werte erfordern 16-26 cm reine Dämmschicht, je nachdem, ob teure Dämmstoffe der WLG 025 oder preiswertere der WLG 035 oder 040 eingesetzt werden. Die Dicke der Betondecken wirkt sich wegen deren hoher Wärmeleitfähigkeit kaum aus. (Bild 4.11-1) zeigt die mit 16-26 cm Dämmstoffstärke erreichbaren k-Werte bei einer 20 cm starken Normalbeton-Deckenplatte:

	Schichtdicke der Dämmstoffe					
	26 cm	24 cm	22 cm	20 cm	18 cm	16 cm
WLG 040	0,148	(0,160)	(0,173)	(0,190)	(0,210)	(0,234)
WLG 035	0,130	0,140	(0,153)	(0,167)	(0,185)	(0,207)
WLG 030	0,112	0,121	0,132	0,144	(0,160)	(0,179)
WLG 025	0,094	0,101	0,110	0,121	0,134	0,150

Bild 4.11- 1: k-Werte von 20 cm starken Beton-Deckenplatten mit unterschiedlichen Dämmstoffaufbauten; Werte in Klammern erfüllen nicht den NEH-Standard von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

(Bild 4.11-2) zeigt die **k-Werte der geplanten und gebauten Flachdächer und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen**. Die gebauten Ausführungen sind unterschieden in die in der Ausführungsphase betreuten und die nicht betreuten Objekte.

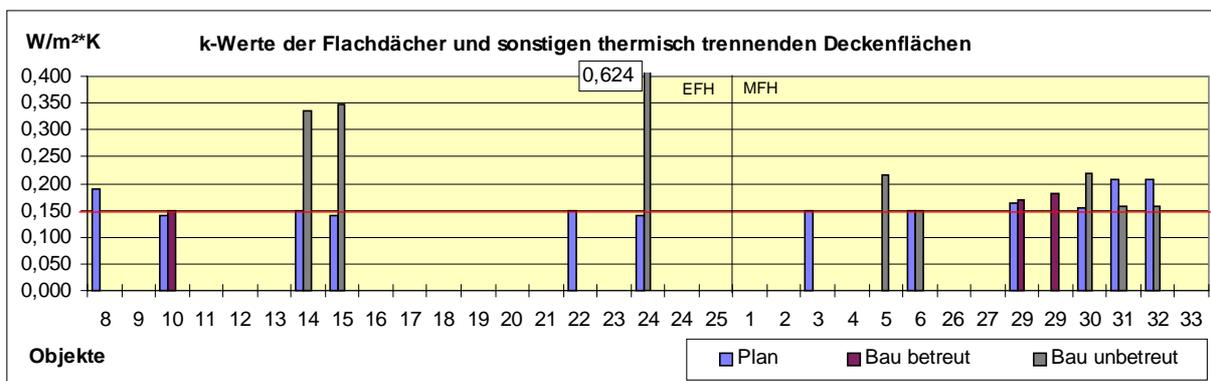


Bild 4.11- 2: k-Werte der geplanten und der gebauten Flachdächer und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen von NEH.

Die **geplanten k-Werte der Flachdächer und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen** liegen bei den untersuchten Niedrigenergie-Häusern in den geplanten Ausführungen zwischen $0,140$ und $0,206 \text{ W/m}^2\text{K}$ und damit zwischen 93 % und 137 % des SOLL-Werts von $0,150 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bis zu 10 % Überschreitung des Soll-Wertes war bei anderweitiger energetischer Kompensation zulässig. Die Planungen, die den NEH-Standard nicht einhielten, wurden trotz Bemängelung und zugesandter Änderungsvorschläge nicht korrigiert. Bei den tatsächlich gebauten Ausführungen lagen die k-Werte der Flachdächer und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen zwischen $0,150$ und $0,624 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Soll-Werte wurden nur in zwei von zehn Fällen eingehalten, zwei überschritten die Vorgabe um weniger als die erlaubten zehn Prozent, bei sechs Ausführungen wurde die Vorgabe um mehr als 10 % überschritten, in einem Fall bei kleineren Flächen sogar um über 300 Prozent. Die Gründe hierfür sind weiter unten erläutert. In mehreren weiteren Fällen vor allem bei Erkerdächern war der Dämmstoffanteil nach Fertigstellung nicht mehr exakt zu ermitteln.

Die **Hüllflächenanteile** der Flachdächer und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen betragen zwischen 0,3 und 1,7 Prozent und sind bei den hier untersuchten NEH sehr gering. Die Anteile der über diese Bauteile abfließenden Wärme an den gesamten Transmissionswärmeverlusten der geplanten Gebäude sind durch den niedrigen k-Wert mit zwischen 0,2 und 1,0 Prozent noch geringer. Durch die von der Planung abweichende Bauausführung mit bis zu vierfach höheren k-Werten erreichen die Anteile am Transmissionswärmebedarf bis zu zwei Prozent.

Geplante Konstruktionsvarianten gab es bei den begehbaren Flachdachterrassen, Loggiaböden und bei der Flachdachfläche zwischen zwei Gebäudeteilen nur solche mit oberseitiger Dämmung aus Polyurethan-Hartschaumplatten der WLG 025 oder 030 zwischen Holzbalken oder mit Polystyrol-Hartschaumplatten der WLG 035 oder 040. Die geplanten Erkerdecken sollten entweder nur-oberseitige Dämmungen direkt auf der Betonplatte erhalten oder die Hohlräume zwischen ihnen und der darüberliegenden schrägen Dacheindeckungen sollten komplett mit Dämmstoff verfüllt werden. Für die Deckenflächen über der Außenluft wurden Unterstrichdämmungen und zusätzliche unterseitige Dämmungen der auskragenden Betonplatten geplant. Bei drei Objekten, deren k-Wert-Berechnungen und Energiebilanzen vom selben Büro erstellt wurden, waren jeweils zusätzliche unterseitige Dämmungen aus Polyurethan der WLG 025 eingeplant.

Unterschiede zwischen den geplanten und gebauten Ausführungen treten im Untersuchungsgebiet bei allen Flachdächern und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen auf. So wurden bei keinem Objekt tatsächlich die in der Planung angegebenen Dämmstoffe der WLG 025 oder 030 eingebaut, sondern die 40-60 % stärker wärmeleitenden der WLG 035 oder 040. Die Dämmstoffstärke wurde jedoch in keinem Fall entsprechend erhöht. Für neun Objekte konnte sowohl die Planung wie auch die Ausführung exakt ermittelt werden. In ihren geplanten Ausführungen erreichten diese einen mittleren k-Wert von $0,161 \text{ W/m}^2\text{K}$ und wären damit innerhalb der tolerierten zehnpromzentigen Abweichung vom Vorgabewert $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ geblieben. In ihren gebauten Ausführungen erreichen sie jedoch nur einen mittleren k-Wert von $0,257 \text{ W/m}^2\text{K}$ und überschreiten den Vorgabewert dadurch um 71 %. Ihr Anteil am gesamten Transmissionwärmebedarf ist infolgedessen deutlich höher als geplant, bei Objekt 15 stieg er beispielsweise infolge der Bauabweichung von 0,98 auf 2,38 %.

Die **Unterschiede zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten** waren gravierend. Die drei betreuten Objekte, für die sowohl die geplante wie auch die gebaute Ausführung ermittelt werden konnte, wurden mit dem durchschnittlichen k-Wert von $0,151 \text{ W/m}^2\text{K}$ geplant und mit einem mittleren k-Wert von $0,156 \text{ W/m}^2\text{K}$ realisiert. Die Abweichung war im Effekt vernachlässigbar. Die sechs nicht betreuten Objekte, für die sowohl die geplante wie auch die gebaute Ausführung ermittelt werden konnte, waren mit dem durchschnittlichen k-Wert von $0,166 \text{ W/m}^2\text{K}$ geplant und wurden mit einem mittleren k-Wert von $0,307 \text{ W/m}^2\text{K}$ realisiert. Die k-Wert-Abweichung betrug 92 % gegenüber nur drei Prozent bei den betreuten Objekten. So wurde bei einem der nicht betreuten Objekte die Dämmwirkung einer auskragenden Erdgeschoßdecke, die das darüberliegende Obergeschoß-Bad von der Außenluft trennt, um 2/3 verringert. Statt geplanter 5 cm Unterstrichdämmung und 12 cm unterseitiger Dämmung jeweils der WLG 025 wurden nur 4 cm Unterstrichdämmung und 4 cm unterseitige Dämmung in WLG 040 montiert. Bei einem weiteren nicht betreuten Objekt war für die auskragende Erdgeschoßdecke zusätzlich zur 5 cm starken Unterstrichdämmung der WLG 040 eine 12 cm starke unterseitige Dämmung der WLG 025 geplant. Diese hochwertige Dämmung wurde in der Ausführungsphase jedoch völlig weggelassen, so daß schon bald Kondenswasser auf den Bad-Fliesen und Schimmel in den Fliesenfugen auftraten.

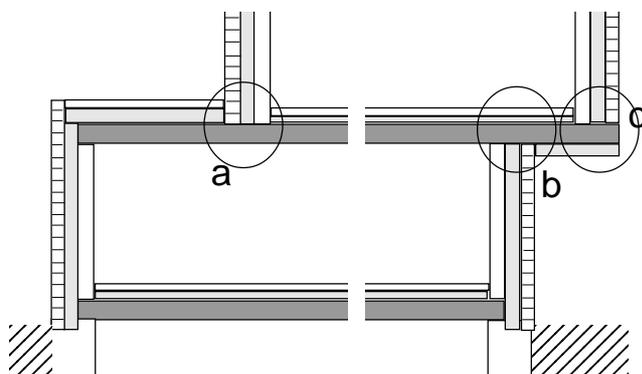


Bild 4.11-3 Wärmebrücken an Flachdächern und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen

Wärmebrückenprobleme entstanden an den Flachdächern und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen bei den untersuchten NEH in vielen Fällen, da hier meist massive und schwere, also gut wärmeleitende Bauteile mit unterschiedlicher Temperatur miteinander verbunden werden. (Bild 4.11-3) zeigt als Beispiele für häufige Wärmebrücken solcher Decken den Anschluß "warmer" Deckenplatten an "kalte" aufstehende (a und c) oder unterseitig anschließende (b) Vormauerschalen. Die einzelnen Problempunkte und die geplanten bzw. realisierten Lösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Hinsichtlich **Luftdichtheit** werfen aus Ortbeton gegossene Deckenplatten in der Fläche und an den Anschlüssen an massive, verputzte Bauteile keine Probleme auf. Bei Erkerdecken in Leichtbaukonstruktion können jedoch deutliche Undichtigkeiten auftreten. Sie entsprechen den Problemen, die allgemein an Dächern und Kehlbalken auftreten. Diese sind in Kapitel 6 ausführlich dargestellt.

Planungs- und Ausführungsprobleme an Flachdächern und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen gab es bei den untersuchten NEH mehrere, obwohl deren konstruktive Aufbauten grundsätzlich unkompliziert und üblich sind, wenn man von der höheren Schichtdicke der Dämmstoffe absieht.

- Es bestanden vielfach **Unsicherheiten und Informationsdefizite** der Planer bei der Wahl der Dämmstoffe und über deren Eigenschaften. So wurden zur Vermeidung ungewohnt hoher Dämmstoffaufbauten in mehreren Fällen Hartschaum-Dämmstoffe der WLG 025 oder sogar der WLG 020 als ober- bzw. unterseitige Dämmung eingeplant. Damit wäre der geforderte k-Wert bereits mit 16 cm Schichtdicke erreichbar gewesen. Diese Dämmstoffe sind aber nur als teure Spezialware mit beidseitiger Aluminiumkaschierung lieferbar und werden in der Baupraxis fast nur noch als Aufsparrendämmung eingesetzt. Als unkaschierte Plattenware kommen sie nur noch in veralteten Planungshilfen oder Katalogen vor. Tatsächlich eingebaut wurden sie in keinem Falle.
- Ein großes, in der Ausführungsphase nicht betreutes Mehrfamilienhaus erhielt aus gestalterischen Gründen ein tieferliegendes Flachdach zwischen den Pultdächern zweier auseinandergerückter Gebäudeteile. Im **Gebäudeentwurf war die Stärke** der oberseitigen Flächdachdämmung nicht korrekt berücksichtigt worden. Der Gebäudeerschnitt wurde daher nur weniger tief als geplant. Infolge der Trennung von Entwurf, Konstruktion und Energiebilanzierung kommt hier die gestalterische Absicht nicht zur Wirkung.
- Ein Planungsbüro erstellte für drei Schlüsselfertig-Objekte verschiedener Anbieter die Berechnungen für den Nachweis des NEH-Standards. Die Firma erkannte bei allen Objekten korrekt die Decken über Außenluft, berücksichtigte sie in der Energiebilanz, erstellte die k-Wert-Berechnungen und plante Dämmstoffe der WLG 025 in geringer Stärke ein. Diese von der gängigen Baupraxis **abweichende Ausführung** wurde den Handwerkern **weder in der Ausschreibung noch im Auftrag mitgeteilt** und eine Bauausführung mit diesem Material wurde bei keinem der Objekte realisiert. Hier stellt sich die Frage, ob für die Abweichung zwischen Planung und Bauausführung wirklich nur mangelnde Kommunikation zwischen Planer und den Bauträgern oder ob nicht Betrugsabsicht Ursache ist. Zwei dieser Objekte wurden in der Ausführungsphase nicht betreut. Eines davon erhielt nur 4 cm unterseitige Dämmung dieser Decke (Bild 4.11-6), ein anderes wurde ganz ohne unterseitige Zusatzdämmung der Decke hergestellt (Bild 4.11-5).
- Die Erkerdecke eines Objektes wurde aus Ortbeton an die Erdgeschoßdecke angearbeitet und erhielt eine nur-oberseitige Dämmung. Die auf dieser "warmen" Decke aufstehende "kalte" Vormauerschale der OG-Außenwand sollte am Mauerfußpunkt (siehe (Bild 4.11-3 bei a) thermisch getrennt werden. Laut überarbeiteter Detailplanung war dazu als unterste Steinreihe der Vormauerschale Porenbeton vorgesehen. Die Handwerker hatten die **Absicht dieser Planung aber nicht verstanden**. Sie hielten die Vorgabe eines Porenbeton-Steines in dem nachher nicht sichtbaren Bereich hinter dem Gaubendach für eine Anweisung zum kosten- weil klinker-sparenden Bauen und verwendeten hier statt Porenbeton noch billigere Kalksandsteine. Die sorgfältige Planung war insofern durch mangelnde Kommunikation am Bau falsch umgesetzt worden (Bild 4.11-4).
- Die **Decken über Luft** über innenliegenden Balkonen wurden bei einem großen Mehrfamilienhaus **nicht als thermisch trennend erkannt**. Die angeforderte Bauteilbeschreibung wurde nicht erbracht. Die Planer gingen davon aus, daß eine der Außenwand entsprechende unterseitige Deckendämmung mit 18 cm Polystyrol zuzüglich der Unterestrichdämmung den Anforderungen genüge. Der k-Wert dieses Bauteil beträgt nun in der gebauten Ausführung nur 0,182 W/m²K und überschreitet den Vorgabewert um 21 % (Bild 4.11-7).
- Für das Erkerdach eines Einfamilienhauses war unklar, ob eine Schrägverglasung mit dem k_v-Wert von 1,30 W/m²K oder eine Leichtbaudecke mit dem Vorgabe-k-Wert von 0,15 W/m²K eingebaut werden sollte. Mit beiden Ausführungen wären die NEH-Anforderungen hinsichtlich der Bauteil-k-Werte und hinsichtlich des Wärmeleistungsbedarfs von ≤ 40 W/m² eingehalten worden. Während der Ausführung fiel die Entscheidung für ein Leichtbau-Erkerdach. Da auch das Glasdach die NEH-Anforderungen erfüllt hätte, fühlte sich der Bauherr nicht an den bei Dächern niedrigeren Bauteil-k-Wert für Dächer gebunden und realisierte einen von der Planung stark abweichenden Dachaufbau mit einem k-Wert von lediglich 0,336 W/m²K.

- Der Flachdachaufbau einer überdachten Terrasse eines Mehrfamilienhauses wurde trotz mehrfacher Anmahnung erst festgelegt, als der Rohbau bereits stand. Dadurch wurden die Wärmebrücken am Deckenaufleger und an der auf die Decke aufstehenden Stützen und Mauern nicht vermieden.

Die Fotos (Bild 4.11-4) bis (Bild 4.11-7) zeigen ausgewählte Details aus der Baupraxis der Flachdächer und sonstigen thermisch trennenden Deckenflächen:



Bild 4.11-4: Die Erkerdecke wurde oberseitig gedämmt. Die Klinkerschicht sollte mit einer Reihe Porenbetonsteine auf die "warme" Erkerdeckenplatte aufgestellt werden. Die Handwerker verwendeten stattdessen Kalksandsteine, die die Wärmebrücke nicht verringerten.



Bild 4.11-5: Die Decke über Außenluft blieb ohne unterseitige Dämmung. Der Raum darüber ist Badezimmer. Der Klinker ist ohne thermische Trennung an dem Bauteil befestigt. Das Gebäude wurde während der Bauphase nicht betreut.



Bild 4.11-6: Die Decke über Außenluft wurde mit nur 4 cm Dämmung der WLG 040 statt 12 cm WLG 025 gedämmt. Das Gebäude wurde während der Bauphase nicht betreut.



Bild 4.11-7: Die Decke über Außenluft wurde unterseitig mit der Außenwanddämmung (18 cm WLG 040) versehen. Zusammen mit den 5 cm Unterstrichdämmung erreicht dies noch nicht die Vorgabe. Das Gebäude war in der Ausführungsphase nicht betreut.

4.12. Dachgauben

Dachgauben kommen im Untersuchungsgebiet an elf Gebäuden als Schlep- oder Trapezgauben und mit Tonnen- oder Spitzdach vor.

Der Detmolder NEH-Standard stellt an Gauben die **Anforderungen**, daß der **k-Wert** ihrer Dächer $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ und der ihrer Wände entsprechend anderer Außenwände $\leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein muß. Die möglichen Aufbauten der Gaubendächer und -decken werden im Folgenden nicht behandelt, da sie sich von den in Kapitel 4.9 bei Schrägdächern bzw. 4.10 bei Kehlbalkendecken dargestellten Aufbauten nicht unterscheiden. Die Gaubenwände, die in der Regel in ihrer Gestaltung an die Dächfläche angepaßt sind, wurden meist in Leichtbaukonstruktion errichtet, in einigen Fällen auch aus Mauerwerk.

Zum Erreichen des für Gaubenwände vorgegebenen k-Wertes **von $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$** sind bei massiven Wänden je nach Hintermauerwerk, Art der Dämmung und Höhe der Holzanteile in der Dämmebene 20-22 cm zusätzlicher Dämmung erforderlich. Bei reinen Leichtbaukonstruktionen sind es je nach Holzanteil in der Dämmebene und Dämmstoffqualität 18-20 cm.

(Bild 4.12-1) zeigt die erforderlichen Dämmstoffstärken bei verschiedenen Dämmstoffqualitäten am Beispiel einer Dachgauben-Seiten- und Vorderwand aus 11,5 cm Kalksandstein, innenseitig geputzt und einer innenseitig gipskartonbekleideten Leichtbaukonstruktion jeweils mit 10 prozentigem Holzanteil und außenseitiger Holzschalung.

Wandkonstruktion und Material	Dämmstoff-Qualität	k-Wert bei Dämmstärke von			
		24 cm	22 cm	20 cm	18 cm
11,5 cm Kalksandstein (0,79 W/mK)	WLG 040	0,186	(0,201)	(0,219)	(0,240)
	WLG 035	0,172	0,186	(0,203)	(0,172)
	WLG 030	0,154	0,167	0,182	(0,201)
Leichtbauwand	WLG 040	0,165	0,177	0,191	(0,207)
	WLG 035	0,154	0,165	0,178	0,194

Bild 4.12- 1: k-Werte von Gaubenseitenwänden in massiver oder Leichtbauweise. Werte in Klammern erfüllen nicht den NEH-Standard.

Niedrigere k-Werte als vorgegeben wurden bei 8 Objekten, höhere innerhalb des 10 prozentigen Toleranzbereiches bei drei Objekten im Untersuchungsgebiet eingeplant. Der mittlere geplante k-Wert liegt bei $0,168 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bei zwei Objekten wurde nie eine Bauteilbeschreibung für die Gaubenwände angegeben oder bestätigt. Der vorgegebene k-Wert wurde bei den Leichtbau-Gaubenwänden häufig deutlich unterschritten, da eine dem Schrägdach vergleichbare Dämmung realisiert wurde. (Bild 4.12-2) zeigt die Anteile der Gaubenwände an der gesamten Hüllfläche und an den Transmissionswärmeverlusten der untersuchten NEH in den geplanten Ausführungen.

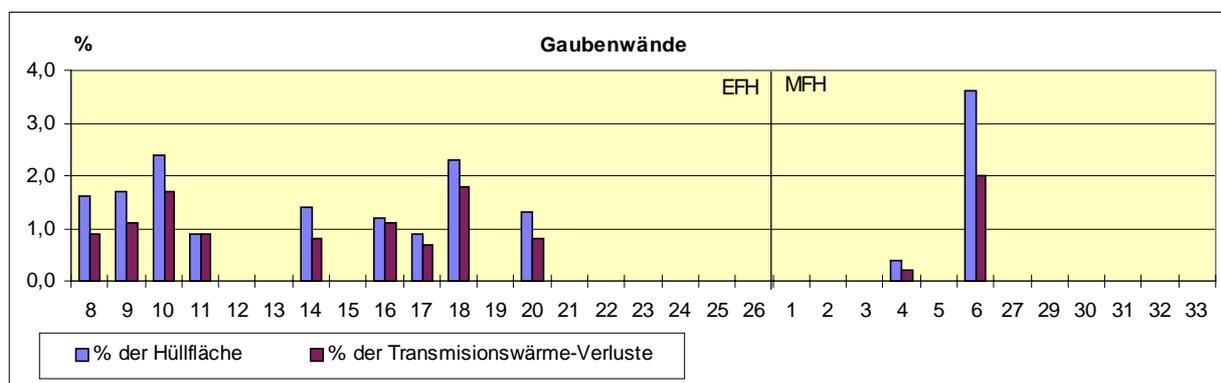


Bild 4.12- 2: Anteile der Gaubenwände an der gesamten Hüllfläche und am Transmissionswärmebedarf der untersuchten NEH in der geplanten Ausführung.

Die **Anteile der Gaubenwände an der gesamten Hüllfläche** der untersuchten NEH betragen im Untersuchungsgebiet zwischen 0,4 und 3,6 Prozent. Ihr **Anteil am Transmissionswärmebedarf** beträgt in den geplanten Ausführungen zwischen 0,2 und 2,0 Prozent.

Der **Planungsablauf** war bei den Gaubenwänden im Untersuchungsgebiet schwierig. Für Gaubenwände, -dächer oder -decken wurde in der Regel keine gesonderte Bauteilbeschreibung erstellt und es wurde in den Planungsunterlagen keine k-Wert-Berechnung vorgelegt. Falls diese Bauteile in den Energiebilanzen überhaupt erfaßt wurden, so wurde für massive Gaubenwände der k-Wert der sonstigen Außenwände und für Leichtbauwände und -decken der k-Wert des sonstigen Daches angesetzt. Selbst denjenigen Planern, die sich um Daten bemühten, fiel es schwer, Plan-k-Werte anzugeben, da sie es gewohnt waren, daß die Detailkonstruktion dem Zimmermann oblag und sie die für den k-Wert erheblichen Holzanteile vor der Ausführung nicht wußten. Aber auch der Schichtaufbau, also das Material, die Stärke und Lage der einzelnen Dämmebenen stand in der Regel in der Planungsphase noch nicht fest. Bei den meisten der in der Ausführungsphase betreuten Objekte konnten vom NEI erst als der Dachstuhl bereits stand, Vorschläge für den wärmetechnischen Aufbau der Gaubenwände unter Einbeziehung der vorhandenen Holzanteile ausgearbeitet und dann einvernehmlich als Planungszustand dieses Bauteiles festgelegt werden. Bei mehreren Objekten blieb sogar bis weit in die Ausführungsphase hinein unklar, ob die obere thermische Trennebene der Gaube von der die in die Gaube hineinlaufenden Kehlbalkendecke oder von den darüberliegenden Gaubendächern gebildet werden sollte. Auch das beheizte Innenvolumen der Objekte war so lange nicht festlegbar.

Die **Konstruktionsvarianten** der Gaubenwände im Baugebiet sind vielfältig. Es gibt massive Wände aller gängigen Steinarten mit Außendämmung, Vormauerschale oder auch hinterlüfteter Fassade. Weiterhin gibt es Leichtbauwände mit Dämmung zwischen den Holzständern und zwischen inneren oder äußeren Aufdoppelungen. Diese sind raumseitig mit Gipskartonplatten oder Profilholzbrettern bekleidet und mit PE-Folien oder OSB-Platten luftgedichtet und außen mit wasserfester Spanplatte, Profilholz mit Bitumenpapplage, bituminierter Holzweichfaserplatte oder Unterdachbahn bekleidet. Bei einem Objekt mit Trapezgaube ist die Aufsparrendämmung aus Polystyrolplatten zugleich die Wasserablaufebene des Unterdaches. Als Fassade oder Sichtschalung kommen Klinker, Eternitplatten, Holzbekleidungen oder Zinkblech, bei Trapezgauben auch Dachziegel vor.

Abweichungen zwischen Planung und Ausführung, sowie zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten waren bei den Gauben im Untersuchungsgebiet schwer zu ermitteln. In den meisten Fällen war keine Planung, mit der die Bauausführung verglichen werden konnte vorhanden oder festgelegt. Auch war der realisierte Aufbau der Gaubenwände häufig nicht feststellbar, da diese kleinen Bauteile sehr schnell fertiggestellt und ihre Aufbauten danach nicht mehr einsehbar war. Bei den während der Ausführungsphase nicht betreuten Objekten bestand überhaupt nur für ein Objekt eine korrekte Planung der Gaubenseitenwände, mit der die Ausführung hätte verglichen werden können.

Wärmebrücken an Gauben bestehen vor allem an den von Innen nach Außen durchlaufenden Holzständern der tragenden Gaubenkonstruktion, insbesondere am Übergang von Gaubenvorder- zu Gaubenseitenwand und an den Anschlüssen der Fenster. Da die tragenden Teile der Leichtbaukonstruktion aus wenig wärmeleitendem Holz hergestellt sind, sind die energetischen Auswirkungen dieser Wärmebrücken nicht gravierend. Die Wärmebrückeneffekte können jedoch Tauwasseranfall an den Hölzern bewirken, der auf Dauer die Haltbarkeit dieser Bauteile gefährdet. Die geplanten und realisierten Detaillösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Luftundichtigkeiten können an allen Anschlüssen der Gauben an die Luftdichtungsebenen der anderen Hüllflächen im Dachbereich, Schrägdach oder der Kehlbalkendecke entstehen, sowohl bei massiven, wie auch bei Leichtbau-Gaubenwänden, außerdem an den Anschlüssen der Fenster. Hier muß das Schwindmaß der Holzteile durch die Verbindungsmittel der Luftdichtungsebenen dauerhaft ausgeglichen werden. Die Probleme der Luftdichtung in der Fläche sind vergleichbar mit denen der massiven Außenwände oder der Leichtbauteile im Dachbereich, die in Kapitel 6 behandelt sind.

Probleme bei der Planung und Realisierung gab es bei den im Untersuchungsgebiete vorkommenden Gauben verhältnismäßig viele:

- Die meisten **Gaubenkonstruktionen wurden zu spät festgelegt**, obwohl sie bereits durch die Statik mitbestimmt wurden. Konstruktionsfestlegungen für Gaubenwände, vergleichbar den Sparrenplänen von Dächern oder Holzdecken, wurden nicht vorgelegt. Auch die Maße der Konstruktions-

hölzer, die die Stärke der hauptsächlichlichen Dämmebene festlegen, blieben häufig unbekannt, bis der Dachstuhl aufgestellt war.

- Bei senkrechten Gaubenseitenwänden, die in der Sparrenebene enden und nicht bis auf die OG-Decke hinunterreichen sollen, standen oft die **Trockenbauer ratlos vor dem Konstruktionsgerüst**, das die Zimmerleute errichtet hatten und wußten weder, wie die Gaubenwand abgestützt, noch in welcher Ebene die Zusatzdämmung montiert werden sollte. Die Leichtbau-Gaubenseitenwände wurden dann mehr oder weniger planlos zurechtgebastelt. Hier entstanden häufig Holzanteile von mehr als 20 Prozent in der Konstruktionsebene und **auf Wärmebrückenvermeidung wurde nicht mehr geachtet**.
- **Fehlende Vorgaben an die Zimmerleute** für die einzubauende Dämmstoffstärke in die Gaubenwände führten dazu, daß es bei der gewählten Gaubenkonstruktion nicht mehr möglich war, zusätzlich zur Ständerebene noch eine weitere Dämmebene zu montieren. Innenseitig war an den Eckpfosten unmittelbar der Fensterblendrahmen angeschlossen, außenseitig war der Dachüberstand zu gering. Infolge zu geringer Dämmung verursachen dann auch diese kleinen Flächen merkliche Anteile am Transmissionswärmeverlust der NEH.
- Bei einem Objekt wurde die massive Gaubenwand unmittelbar bis gegen die Eckständer der Gaube gemauert. Die Gaubenseitenwand erhielt eine Außendämmung. Der **von innen nach außen durchgehende Pfeiler** wurde dadurch in seiner **Wärmebrückenwirkung** noch verstärkt.
- Die **Anschlüsse der Unterdächer des Schrägdaches an die der Gauben** waren vor allem bei den Hohlkehlen der Trapezgauben schwierig herzustellen. Für diese zweite Wasserablaufe Ebene aus bituminiertes Holzweichfaserplatte, diffusionsoffener Folie oder auch aus einem Polystyrol-Aufsparrendämmsystem mußten jeweils die geeigneten, dauerhaft dichten Verbindungsmittel gefunden werden. Ansonsten wird an diesen Stellen eventuell eingedrungenes Wasser des gesamten darüberliegenden Dachbereiches ungehindert in die Dämmung gelangen.

Nachfolgende Bilder zeigen Details der Dachgauben im Untersuchungsgebiet:

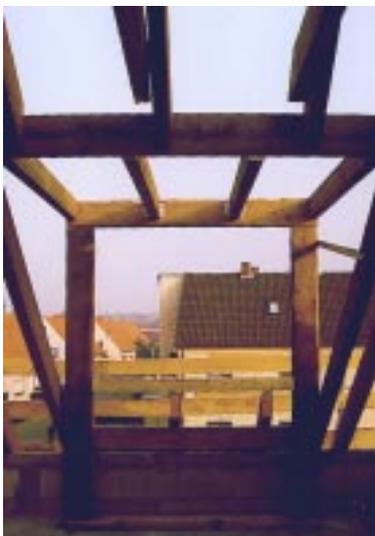


Bild 4.12- 3: Einfache Gaubengrundkonstruktion für ein Tonnendach. Die Dimensionierung der Hölzer ist auf die spätere Dämmung abgestimmt.



Bild 4.12- 4: Unterdachfolie ohne Anschluß an das Gaubendach. Korrekte Verbindung beider Dachteile durch bereits montierte Lattung zusätzlich erschwert.



Bild 4.12- 5: Schwieriges konstruktives Gerüst einer Trapezgaube. Verschiedene Balkenstärken und Holzanteile in den einzelnen Ebenen erschweren die Planung.



Bild 4.12- 6: Wärmebrücken an den Anschlüssen der einzelnen Fenster an die von innen nach außen durchlaufenden Stützen der Gaubenvorderwand. Große Holzanteile statt eines durchgehenden Fensterbandes.



Bild 4.12- 7: Äußere Zusatzdämmung einer Gaube mit Hartschaumplatten auf einer Holzschalung. Eine Tauwasserberechnung für diesen improvisierten Wandaufbau wurde nicht erstellt.

4.13. Dachflächenfenster

Dachflächenfenster (DFF) kommen im Untersuchungsgebiet in elf der 19 Einfamilienhäusern (58 %) und in allen neun Mehrfamilienhäusern vor.

Der Detmolder NEH-Standard stellt an Dachflächenfenster **dieselbe Anforderung wie an andere Fenster**, daß ihr k_F -Wert (incl. Rahmenanteil) $\leq 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein muß. Um solche k_F -Werte zu erreichen, sind laut Herstellerangabe bei Dachflächenfenstern Verglasungs-k-Werte von 0,9 bis 1,3 $\text{W/m}^2\text{K}$ erforderlich.

Zu Beginn der Bautätigkeit im Untersuchungsgebiet hielt laut Herstellerdeklaration nur das Produkt "Roto Funktional", seit Sommer 1995 dann auch das Produkt "VELUX-Niedrigenergie" den für Fenster vorgegebenen k_F -Wert ein. Um die Auswahl nicht auf diese Produkte zu beschränken, wurde bei Dachflächenfenstern auch eine k_F -Wert-Ermittlung nach DIN 4108, Teil 4 nicht moniert, wonach sich bei Holz- oder Kunststoffrahmen und Verglasungen mit k_V -Werten von 1,3 $\text{W/m}^2\text{K}$ ein k_F -Wert von 1,5 $\text{W/m}^2\text{K}$ ergibt, selbst wenn der Herstellerprospekt einen k_{DFF} -Wert von nur 1,8 $\text{W/m}^2\text{K}$ nennt. (Bild 4.13-1) zeigt die Umrechnungswerte von k_V -Werten zu k_F -Werten nach DIN für normale Fenster bzw zu k_{DFF} -Werten für Dachflächenfenster lt. Herstellerdeklaration, Stand 11/1996.

Verglasungs- k_V -Wert ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Fenster- k_F -Wert		Aufschlag auf den k_V -Wert ² des DFF ($\text{W/m}^2\text{K}$)
	allgemein ¹ ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Dachflächenfenster ² ($\text{W/m}^2\text{K}$)	
1,00	1,20	1,50	0,50
1,20	1,40	1,50	0,30
		1,60	0,40
1,30	1,40	1,50	0,20
		1,60	0,30
		1,80	0,40
1,40	1,50	1,70	0,30
		1,80	0,40
1,50	1,60	1,80	0,30

¹ laut DIN 4108 Teil 4
² laut Herstellerdeklaration,
Stand 11/1996

Bild 4.13- 1: Verglasungs- und Fenster-k-Werte bei normalen Fenstern und Dachflächenfenstern und die jeweiligen Aufschläge auf den Verglasungs-k-Wert bei den Dachflächenfenstern.

Die **Herstellerdeklaration** für Dachflächenfenster war **häufig nicht nachvollziehbar**. (Bild 4.13-1) deutet diese Ungereimtheiten an. Bei fünf Objekten wurden Fenster eingebaut, die laut Herstellerangabe k_V -Werte von 1,0 $\text{W/m}^2\text{K}$ und k_F -Werte von 1,5 $\text{W/m}^2\text{K}$ haben und damit die Vorgabe glaubwürdig einhalten. Bei anderen Fenstern waren die herstellereitig deklarierten k_F -Werte dagegen nicht glaubhaft.

Die **Anteile der Dachflächenfenster an der Hüllfläche und am Transmissionswärmebedarf** der einzelnen NEH im Untersuchungsgebiet zeigt (Bild 4.13-2):

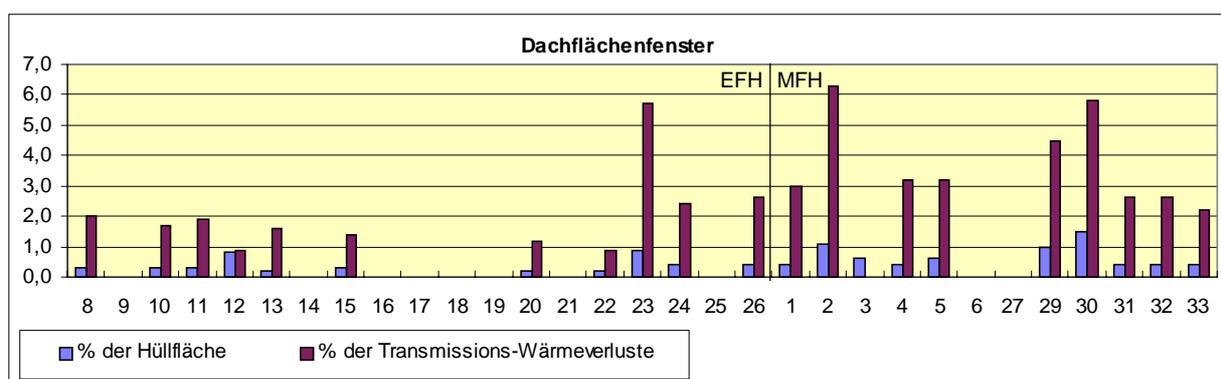


Bild 4.13- 2: Anteile der Dachflächenfenster an der gesamten Hüllfläche und am Transmissionswärmebedarf der untersuchten NEH in der geplanten Ausführung.

Die **Anteile der Dachflächenfenster an den gesamten Hüllflächen** der untersuchten NEH beträgt bei den Einfamilienhäusern zwischen 0,2 und 0,9 % und liegt im Durchschnitt bei 0,39 %, bei den Mehrfamilienhäusern liegt der Anteil zwischen 0,4 und 1,5 % und im Durchschnitt bei 0,72 %. Diese Flächenanteile waren oft schwer zu ermitteln, da Dachflächenfenster mehrfach weder in Ansichts- noch in Grundrisspläne eingezeichnet und auch nicht in den Energiebilanzen angegeben waren. Ihre Einbauabsicht war dann allenfalls daraus erkennbar, daß Räume sonst unbelichtet wären. Erst nach Rückfragen wurden ohnehin vorgesehene Dachflächenfenster definiert und mußten nachträglich in die Energiebilanz einbezogen werden.

Der **Anteil der Dachflächenfenster am gesamten Transmissionswärmeverlust** der untersuchten NEH beträgt unter Annahme des Soll-k-Wertes bei den EFH zwischen 0,9 und 5,7 % und liegt im Durchschnitt bei 2,03 Prozent, bei den MFH liegt der Anteil zwischen 2,2 und 6,3 % und im Durchschnitt bei 3,96 %. Wegen der hohen k-Werte der Dachflächenfenster betragen ihre Anteile am Transmissionswärmebedarf bereits unter Annahme des Soll-k-Wertes etwa das Fünffache ihres Hüllflächenanteils. Die Einbeziehung der in den Planungsunterlagen nicht eingezeichneten Dachflächenfenster in die Energiebilanz führte in mehreren Fällen dazu, daß die Objekte den vorgegebene Wärmeleistungsbedarf von 40 W/m² überschritten und die zusätzlich einzurechnenden Verluste dann an anderer Stelle ausgleichen mußten.

Als **Konstruktionen** kommen im Baugebiet Fenster mit Rahmen und Zargen aus Holz- und Kunststoff sowie aus kunststoffbeschichteten Holzwerkstoffen vor. Als Verglasungen sind Wärmeschutzverglasungen mit unterschiedlichen Gasfüllungen eingebaut. Bei zwei Objekten wurden zusätzliche Außendämmungen der in die Außenluft hinausragenden Zargenteile montiert.

Die **geplante und tatsächliche Bauausführung** wich bei diesem Bauteil in fünf Fällen voneinander ab. In zwei Objekte wurden Dachflächenfenster mit einem k_v -Wert von 1,3 statt von 0,9 W/m²K, in je ein Objekt solche mit 1,4 bzw. 1,5 oder auch 1,7 statt geplanter 1,3 W/m²K eingebaut. Die zusätzlichen Wärmeverluste durch solche Änderungen entsprechen pro m² DFF etwa drei m² zusätzlicher Dachfläche. Mit Ausnahme eines Objektes hielten alle Fenster den im Untersuchungsgebiet notgedrungen zugelassenen k_v -Wert von 1,3 W/m²K und den daraus folgenden k_F -Wert von 1,8 W/m²K ein. Die k-Wert-Vorgabe des Detmolder NEH-Standards von 1,5 W/m²K, zu der bei Dachflächenfenstern in der Regel eine Verglasung mit einem k_v -Wert $\leq 1,1$ W/m²K notwendig ist, hielten in der Planung sechs, in der tatsächlichen Ausführung nur vier Objekte ein.

In der **Ausführungsphase betreute und nicht betreute Objekte** unterschieden sich deutlich in der Einhaltung der Vorgaben. Vier der fünf Abweichungen, darunter die beiden Abweichungen um 0,4 W/m²K kamen bei den nicht betreuten Objekten vor.

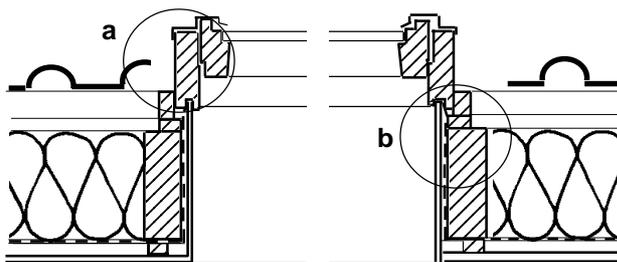


Bild 4.13- 3: Wärmebrücken und Luftdichtigkeit an Dachflächenfenstern.

Als **Wärmebrücken** bei Dachflächenfenstern wirken die umlaufenden, oberhalb der Wasserablaufebeleg liegenden Blendrahmenteile (Punkt a). Bei direkter Befestigung der Dachflächenfenster an den Konstruktionshölzern des Dachstuhles (Punkt b) treten auch an diesen erhöhte Wärmeverluste auf. (Bild 4.13-3) zeigt die Lage dieser Wärmebrücken. Die geplanten und realisierten Lösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Luftundichtigkeiten an Dachflächenfenstern selbst traten kaum auf, an den Anschlüssen der Luftdichtungsebene an den Fensterblendrahmen (Punkt b) dagegen fast in jedem Falle. Nur wenn in der Ausschreibung der luftdichte Anschluß des Fensters an die Luftdichtungsebene gesondert aufgeführt war, wurde dieses Detail bearbeitet. Näheres hierzu ist in Kapitel 6 ausführlich dargestellt.

Probleme bei der Realisierung gab es bei den im Untersuchungsgebiete vorkommenden Dachflächenfenstern verhältnismäßig viele:

- Die **Gesamt-k-Werte** der Dachflächenfenster wurden in den meisten Planungen entsprechend der Vorgabe mit 1,5 W/m²K **deklariert**. Spezielle Produkte wurden aber fast nie benannt. Die tatsächlichen k_v - und k_F -Werte, die nur den jeweils aktuellen Produktunterlagen der Hersteller entnommen werden können, waren den Planern zu diesem Zeitpunkt **vermutlich nicht bekannt**.

- Bei einem großen Mehrfamilienhaus sollte die Belichtung der Dachgeschoßräume laut Plan über mehrere Gauben erfolgen. Der Planungszustand für dieses Objekt war bereits vor der Rohbau fertigstellung exakt definiert und vom NEI anerkannt worden. Der Wärmeleistungsbedarf des Objektes lag mit 39,9 Watt pro Quadratmeter Wohnfläche nur noch knapp unter dem Grenzwert. Bei diesem nicht betreuten Objekt wurden **während des Baus zusätzliche DFF** in Sanitär- und Abstellräume eingebaut. Bei Einbeziehung dieser Fenster wird der vorgegebene **Wärmeleistungsbedarf in der gebauten Version überschritten**.
- Die intensive **Werbung** des Dachflächenfenster-Herstellers "Velux" für seine besonders hochwertige Verglasung erweckte bei manchen Investoren den **irreführenden Eindruck**, diese DFF wären bereits mit NEH-gemäßen k-Werten lieferbar. Zu Beginn der Bautätigkeit hielten aber dessen Produkte nur knapp die Anforderungen der WSV 95 ein, aber nicht die strengeren NEH-Anforderungen. Bei Bestellungen wurde dann häufig nur der Herstellername synonym für die erwartete Qualität genannt und tatsächlich wurden DFF geliefert und eingebaut, die den Anforderungen nicht genügten.
- Die NEH-spezifischen Schrägdachaufbauten führten zu Unsicherheiten und **Fehlern beim Anordnen der Dachflächenfenster**. Bei einem Objekt wurde das Fenster in der Höhe den Herstellerempfehlungen entsprechend eingebaut. Die Unterkante der Fensterlaibung lag wegen des insgesamt 30 cm starken dämmenden Aufbaus mit Untersparrendämmung niedriger als die Drenpelabmauerung. Bei einem großen Mehrfamilienhaus mit flacher Dachneigung und großer Drenpelhöhe wurde zum Erreichen des Fenstergriffes unter alle Dachflächenfenster ein Podest angeordnet.
- Bei zwei Objekten wurde ein **Dachflächenfenster mit Dämmzarge** bestellt. Wegen Problemen bei der Montage tauschten die Handwerker bei dem einen Objekt eigenmächtig dieses teure Spezialelement aus Holzweichfaserplatte gegen eine selbst gebaute Zarge aus wesentlich schlechter dämmender Schichtholzplatte aus.
- Bei einem Mehrfamilienhaus mit flacher Dachneigung wurden die acht Dachflächenfenster in zusätzliche **Aufkeilrahmen aus Stahlblech** montiert. Diese waren in der Planung nicht enthalten. In diese extrem gut wärmeleitenden Elemente können nur maximal 5 cm Wärmedämmung montiert werden. Selbst bei besten Dämmstoffen wird die bei Dachflächenfenstern ohnehin schon große **Wärmebrückenwirkung noch verstärkt**.
- Selbst bei sonst aufwendiger **Verarbeitung der Luftdichtungsebenen** wurden die Anschlüsse der Dachflächenfenster an die luftdichtende Folie **nicht korrekt oder gar nicht realisiert**. Bei einem Objekt waren die Handwerker mit Mühe motiviert worden, die Folien an die Wände und sonstigen Durchbrüche anzuschließen. Am Dachflächenfenster waren die Folien schon in der Schrägdachebene, vor Beginn der Laibung abgeschnitten worden. Daß diese offenen Bereiche die ganze sonstige Mühe zunichte machen, wurde zwar begriffen, aber die Forderung nachzubessern wurde weit zurückgewiesen: "Wenn ich so was machen muß, dann wechsel ich den Beruf". Die Bauleitung konnte sich den Handwerkern gegenüber nicht durchsetzen, die Luftdichtung blieb trotz hoher Kosten ungenügend.

Die folgenden Fotos zeigen ausgewählte Details an Dachflächenfenstern aus der Baupraxis:



Bild 4.13- 4: Überbreiter Eindeckrahmen zur Überdeckung der Zargendämmung aus Polystyrol-Blöcken.



Bild 4.13- 5: Bekleidung der seitlichen Laibungen trotz komplett fehlender Luftdichtung fertiggestellt.



Bild 4.13- 6: Dachflächenfenster mit zusätzlichem Metall-Aufkeilrahmen, nur 5 cm Dämmung möglich.



Bild 4.13- 7: Dachflächenfenster mit falschen Verbindungsmitteln der Luftdichtungsebene: das Folienklebeband hält nicht auf Holz.



Bild 4.13- 8: Wärmedämmzarge ausgetauscht gegen selbstgebauten Schichtholz-Rahmen. Die geplante Wärmebrückenvermeidung wurde verfehlt.



Bild 4.13- 9: fehlender Anschluß der Luftdichtungsebene an das Dachflächenfenster



Bild 4.13- 10: Dachflächenfenster mit werkseitig vorbereiteter Montageerleichterung für das Erreichen der Luftdichtheit. Diese besteht aus einer an den Blendrahmen luftdicht angearbeiteten, umlaufenden Folienschürze, die mit der sonstigen Luftdichtungsebene des Daches verbunden werden kann.



Bild 4.13- 11: Dachflächenfenster von (Bild 4.13-10) nach dem Verbinden der Folienschürze mit der Luftdichtungsfolie des sonstigen Schrägdaches. Der Anschluß konnte luftdicht und dennoch zügig hergestellt werden.

4.14 Bodenluken

Thermisch trennende Bodenluken kommen im Untersuchungsgebiet an einem Mehrfamilienhaus und an elf Einfamilienhäusern zwischen Dachgeschoß und nicht ausgebautem Spitzboden vor.

Für sie enthielt der Detmolder NEH-Standard als **Vorgabe** einen **k-Wert von $\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$** wie für Fenster und Außentüren. Zugleich wurde jedoch ein **k-Wert von $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ empfohlen**, der dem der Kehl-balkendecke entspricht, in die die Bodenluke eingebaut wird. Ein k-Wert von $1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ erfordert auf einer Grundkonstruktion aus 15 mm starker Sperrholzplatte eine Zusatzdämmung von 1,5 cm bei üblichem Dämmstoff der WLG 040, ein k-Wert von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ erfordert dagegen 25 cm Dämmstoffschicht. Ein einfacher Lukendeckel ohne Dämmung aus 15 mm Spanplatte, erreicht lediglich einen k-Wert von $3,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Bodenluken haben in den geplanten Ausführungen einen **Anteil an der thermisch trennenden Hüllfläche** der Gebäude im Untersuchungsgebiet von nur etwa 0,2 Prozent. Ihr **Anteil am Transmissionswärmebedarf** beträgt bei korrekter Ausführung je nach k-Wert zwischen 0,1 und 1,2 Prozent, bei mangelhafter Ausführung auch bis zu 3 Prozent. Bei einer Ausführung mit Mindest-k-Wert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ geht über einen m^2 Kehlbalkendecke alleine durch die Transmission gleichviel Wärme verloren, wie durch 10 m^2 Kehlbalkendecke; bei einem k-Wert der Bodenluke von nur $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ dagegen nur gleichviel wie durch eine gleichgroße Deckenfläche.

In den eingereichten **Gebäudeplanungen und den Energiebilanzen** wurde nur bei einem Objekt (8,3%) überhaupt eine Bodentreppe erwähnt und deren Transmissions-Wärmeverluste angerechnet. Ansonsten fehlte dieses Bauteil in den Energiebilanzen und Nachweisen aller Häuser, in denen es als Hüllfläche vorkommt. Das nachträgliche Einberechnen der vergessenen Bodenluken in die Energiebilanzen eines Objektes führte in mehreren Fällen zur Überschreitung des Grenzwerts für den Wärmeleistungsbedarf der Gebäude, der an anderer Stelle ausgeglichen werden mußte.

Als **Konstruktionsvarianten** kommen im Untersuchungsgebiet überwiegend handelsübliche ungedämmte Bodenluken mit Einschubtreppen ohne herstellerseitige k-Wert Angabe mit oder ohne bauseitige Zusatzdämmung vor, sowie in wenigen Fällen Spezialprodukte, die laut Herstellerangabe den vorgegebenen k-Wert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ einhalten. Auch hier wurde teilweise oberseitig noch eine zusätzliche Dämmung angebracht. Eine 1-3 cm starke Zusatzdämmung lies sich häufig auf der Oberseite der Bodenluken-Grundplatte befestigen, ohne die Mechanik der Einschub- oder Klapptreppen zu behindern; dickere Aufbau hätten dagegen nur unterseitig montiert werden können, was nicht vorkam oder wurden unabhängig von der Klapptreppe als eigenständiges Element konstruiert (s.u.). Seitens des NEI wurde für eine sehr wirksame und zugleich einfach herstellbare oberseitige Zusatzdämmung des Deckenausschnittes ein Konstruktionsvorschlag als Anregung verteilt (vgl. Bild 4.14-1), der auch mehrfach so oder ähnlich ausgeführt wurde.

Wärmebrückenprobleme an handelsüblichen und nicht oberseitig zusätzlich gedämmten Bodenluken gab es an deren seitlichen Anschluß an die Konstruktionshölzer der Kehlbalkendecke, da die Luftfüllung in dem Deckenausschnitt der thermisch trennenden Bodenluken bereits kalt ist. Außerdem laufen die Laibungselemente ohne thermische Trennung vom kalten in den warmen Bereich durch. Die nicht weiter definierten "Baumarkt"-Produkte bilden im Vergleich zur hochgedämmten Kehlbalkendecke mit ihrem k-Wert von $3-4 \text{ W/m}^2\text{K}$ schon selbst eine flächige Wärmebrücke. Die im Untersuchungsgebiet aufgetretenen Probleme und Detaillösungen sind in Kapitel 5 dargestellt.

Luftdichtheitsprobleme gibt es an den Bodenluken mehr als an allen sonstigen Bauteilen. Mit Ausnahme eines Falles war bei allen Fertigelementen die Fuge zwischen dem Einbaurahmen und der Klappdeckel gravierend undicht. Nur bei einem Teil der Klappdeckel waren überhaupt Dichtlippen oder ähnlich aussehende andere Kunststoffprofile vorhanden. Diese entfalteteten aber meist nicht die vorgesehene Dichtwirkung, da entweder die Klappen selbst nicht planeben oder gerade eingebaut waren oder die Dichtlippen zu geringe Elastizitäten hatten oder die Anpreßkräfte des Schließmechanismus zu gering waren, um die Klappe allseits ausreichend anzupressen. Mehrfach fehlte an den Scharnieren oder am Verschlußhebel jegliche Luftdichtung. Nachdem diese konstruktionsbedingten Mängel bei den ersten Häusern im Untersuchungsgebiet offenkundig wurden, die auch durch Umbauten an den Bodenluken selbst nicht behebbbar schienen, wurde empfohlen, in jedem Falle eine zusätzliche Luftdichtung ober-

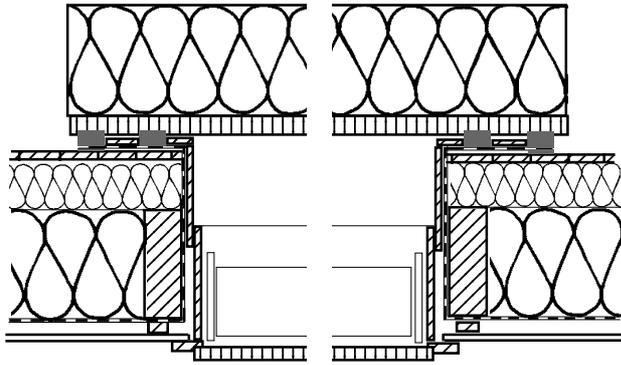


Bild 4.13- 1: Empfohlene wärmebrückenfreie und luftdichte Ausführung einer Bodenluke mit Zusatzdämmung.

halb der Klappe auf der Kehlbalkendecke zu realisieren (Vgl. Bild 4.14-1). Diese besteht aus einem dicken, beschwerten Dämmstoffblock, der über die Deckenöffnung gelegt wird, die Lukenränder allseitig 20 cm überdeckt und auf einem elastischen Dichtband auf der Deckenoberseite aufliegt. Auch diese Konstruktion war bei keinem der gemessenen Objekte luftdicht, da die Luftdichtungsebene der Kehlbalkendecke nicht korrekt bis auf die Oberseite der Decke hochgeführt wurde.

Unterschiede zwischen Planung und Bauausführung waren aus verschiedenen Gründen nicht feststellbar. Zum einen fehlten meist konkrete Planungen, mit denen die Ausführung hätte verglichen werden können.

Zum Anderen war bei vielen Objekten die Montage der Zusatzdämmung durch die Investoren in Eigenleistung vorgesehen, für die aber keine nachvollziehbaren Planunterlagen vorab hergestellt wurden. Ein Teil dieser in Eigenleistung vorgesehenen Zusatzdämmungen wurde während der Projektlaufzeit noch nicht realisiert.

Unterschiede zwischen in der Bauausführung betreuten und nicht betreuten Objekten besteht vor allem hinsichtlich der Luftdichtung der Bodenluken. Die Investoren und Handwerker der erst relativ spät gebauten und im Regelfall nicht mehr während der Bauphase betreuten Objekte hatten an keiner der früheren Luftdichtemessungen im Untersuchungsgebiet teilgenommen und demzufolge die Undichtheiten von Bodenluken bei 50 Pascal Unterdruck noch nie selbst gefühlt. Besondere Maßnahmen zur Sicherstellung der Luftdichtheit an Bodenluken wurden demzufolge bei keinem der nicht betreuten Objekte festgestellt und es ist zu erwarten, daß sie alle stark undicht sind. Wie in Kapiteln 5 und 6 noch erläutert wird, kann der Wärmeverlust über 0,8 m² ungedämmten Klappdeckel und zusätzlich eine z.B. zwei Meter lange und 2 mm breite Fuge gleich hoch sein, wie über die gesamte Kehlbalkendecke. Diese energetische Relevanz des Bauteils Bodenluke in NEH ist normalerweise nicht bekannt.

Komplikationen bei der Planung und Ausführung der Bodenluken im Untersuchungsgebiet gab es relativ viele, weil dieses Bauteil bisher nicht in einer dem NEH-Standard angemessenen Qualität lieferbar ist. Einige der Komplikationen sind nachfolgend aufgelistet:

- Die Energiebilanz eines Achtfamilienhauses wurde ohne Einbeziehung von Bodenluken erstellt und geprüft, da diese ursprünglich nicht thermisch trennend sein sondern im unbeheizten Treppenhaus liegen sollten. Später wurden doch statt der einen im kalten Treppenhaus geplanten Bodenluke zwei Bodenluken in den DG-Wohnungen eingebaut. Obwohl Luken mit der geforderten Mindestdämmung und einem k-Wert von 1,5 W/m²K eingebaut wurden, verfehlte die Energiebilanz dadurch nachher den zuvor knapp eingehaltenen WLB-Zielwert ≤ 40 W/m².
- Bei einem Objekt wurde zur besseren Luftdichtung über der Bodenluke ein ungedämmter Kasten montiert, der mit einem Scharnier heruntergeklappt werden konnte. Er sollte mit auf den Kanten befestigten Moosgummidichtungen gegen die Lafebene der Kehlbalkendecke dicht abschließen. Der kalte Deckel aus beschichteter Spanplatte war in der Heizperiode und bei laufender Abluftanlage jedoch ständig unterseitig mit Kondenswasser beschlagen, da keine Dichtungsebene wirklich funktionierte. Zur Vermeidung von Schäden an der Spanplatte wurde wasserfester Dämmstoff in die Luke montiert, statt für eine korrekte Dichtung zu sorgen.
- Bodenluken werden häufig erst zu einem sehr späten Zeitpunkt eingebaut, oft erst lange nach Bezug des Objektes, weil noch sperrige Sachen wie beispielsweise Dämmstoffpakete für den nachträglichen Ausbau des Spitzbodens durch die Öffnung sollen. Bei der Luftdichtemessungen kam es daher mehrfach vor, daß die Bodenluken noch gar nicht montiert waren. Stattdessen wurde die Öffnung nur provisorisch verschlossen. Hier ist ungewiß, wie die Abdichtung und Dämmung später realisiert wird.

Die folgenden Fotos (Bild 4.14-2 bis Bild 4.14-8) zeigen ausgewählte Details von Bodenluken aus der Baupraxis:



Bild 4.14- 2: Luftdichtungsfolie im Deckenausschnitt nicht über Aufdoppelungsebene gezogen.



Bild 4.14- 3: Zusätzliche Luftdichtung durch Klappdeckel noch ohne Zusatzdämmung.



Bild 4.14- 4: Optisches Foto einer Bodenluke ohne Zusatzdämmung und -dichtung. Provisorische Luftdichtung während der Dichtemessung mit Fensterkitt.

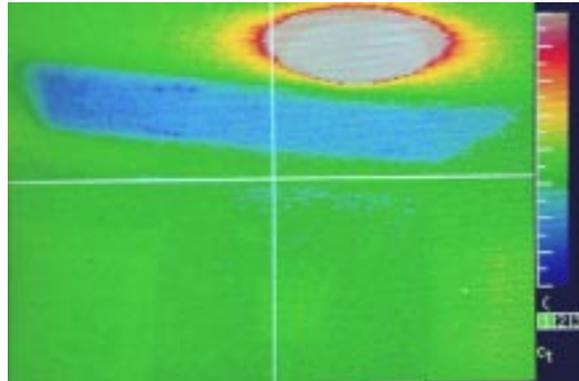


Bild 4.14- 5: Thermographie zu (Bild 4.14-4). Die kalte Oberfläche des ungedämmten Klappdeckels und die warme Deckenlampe sind gut erkennbar.



Bild 4.14- 6: Optisches Foto einer Bodenluke mit ca 20 cm Zusatzdämmung und k-Wert um 0,18 W/m²K

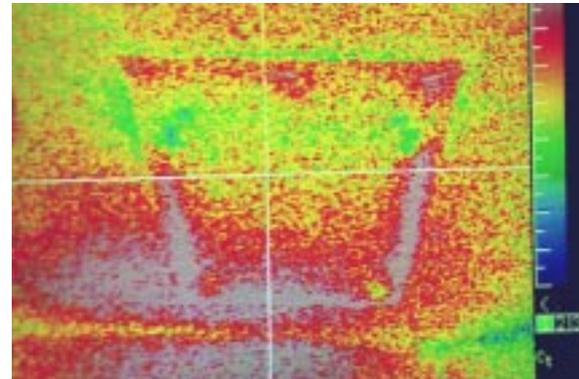


Bild 4.14- 7: Thermographie zu (Bild 4.14-6). Der Klappdeckel hat fast die gleiche Oberflächentemperatur wie die Kehlbalckendecke.



Bild 4.14- 8: Bodenluke mit werkseitig angebrachten ca. 4 cm Weichschaumdämmung und k-Wet um 0,8 W/m²K.

5. Wärmebrücken

Inhaltsübersicht

Eine wärmebrückenarme Gebäudekonstruktion ist wesentliche Voraussetzung für das Erreichen einer gleichmäßigen Temperatur der inneren Raumbooberflächen und damit für das Vermeiden von Kondenswasser an Bauteilen und den daraus folgenden Bau- und Gesundheitsschäden sowie für das tatsächliche Erreichen der eines geringen Heizenergiebedarfs bei großen Bauteil-Dämmstärken.

Im Untersuchungsgebiet, dessen Bebauung 1994 begann und 1997 endete, bestand die Vorgabe einer wärmebrückenfreien Konstruktion der gesamten Gebäudehülle, die durch Planungsunterlagen zu belegen war. In der Ausführungsphase wurde bei etwa der Hälfte der Gebäude die tatsächliche Bauausführung an den Wärmebrücken-Problempunkten kontrolliert, deren optimierte Realisation soweit irgend zumutbar eingefordert und mit Thermographie-Aufnahmen wurde die Wirkung der Vermeidungs-Maßnahmen überprüft. Bei den später realisierten Objekten wurde die Bauausführung an den Wärmebrückendetailpunkten nur dokumentiert.

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an die wärmebrückenarme Konstruktion, die Erfordernisse an die Detailplanung und die Erfahrungen mit deren Umsetzung erläutert, aufgetretene Problempunkte an Mauerfußpunkten, Treppen, Balkonen, Podesten und auskragenden Decken, Fenstern und Rolladenkästen, an in unbeheizte Räume oder nach Außen durchlaufenden Wänden und an der Oberkante der Wände im Dachbereich werden geschildert. Der Aufbau des Kapitels entspricht dem Aufbau eines Hauses. Es beginnt mit der Sohlplatte und endet oben am Dach.

- 5.1. Vorgaben, Wärmebrücken-Vermeidungs-Konzepte und deren Umsetzung
- 5.2. Wärmebrücken an Sohlplatten und Kellerdecken
- 5.3. Wärmebrücken an Treppen
- 5.4. Wärmebrücken an Balkonen, Podesten, auskragenden Bauteilen
- 5.5. Wärmebrücken an Fenstern und Rolladenkästen
- 5.6. Wärmebrücken an kalt-warmen Wanddurchgängen
- 5.7. Wärmebrücken an den Oberkanten von Wänden im Dachbereich

5.1. Vorgaben für Wärmebrücken und deren Umsetzung

Im Untersuchungsgebiet war gemäß Vereinbarung in den Grundstückskaufverträgen der Detmolder NEH-Standard zu erfüllen. Dieser verlangt allgemein eine "wärmebrückenfreie Konstruktion, insbesondere an Übergängen zwischen Keller-, Wand- und Dachdämmung und an Fenstern und Türen". In Anlage 4 des Grundstückskaufvertrages (vgl. Anlage 2) ist diese Anforderung hinsichtlich der Art der Nachweisführung für wärmebrückenarme oder -freie Konstruktionsdetails noch etwas konkretisiert. (Bild 5.1-1 enthält einen Auszug dieses Vertragstextes.

Angaben und Nachweise zur Einhaltung des NEH-Standards (Auszug betreffend Wärmebrücken)

- "Detailzeichnungen von Anschlußpunkten mit evtl. Wärmebrücken im Maßstab 1:10, genauen Materialangaben und Angabe der Lage ggf. vorhandener dampf-, wind- oder wassersperrender Schichten oder anderer Dichtungen. Solche besonderen Anschlußpunkte können z.B. sein:
- Übergänge zwischen Erdreich, Fundamenten, unterster Geschoßdecke und aufstehenden Wänden bei nicht unterkellerten Gebäuden oder Gebäuden mit beheizten Räumen im Keller,
 - Übergänge zwischen Kelleraußen- und Innenwänden sowie EG-Decke und aufstehenden EG-Außen- und Innenwänden bei unterkellerten Gebäuden mit unbeheizten Kellern,
 - Seitliche, untere und obere Anschlüsse von Fenstern und Außentüren sowie von Fenstern und Türen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen einschließlich Dachbodentreppen. Falls Rolläden, Außen- oder Innenschiebeläden vorhanden, ebenfalls deren Anschlüsse und Schnitte,
 - Übergänge von Außenwand zu Schräg- oder Flachdach,
 - Übergänge von Schrägdach zu gedämmten Kehlbalkendecken,
 - Übergänge von Schrägdach/Flachdach/Kehlbalkendecke zu Giebelwand und angeschlossenen oder durchgehenden Innenwänden,
 - Durchdringungen von Schrägdach/Flachdach/Kehlbalkendecke durch Kamine, Entlüftungsrohre, Steigleitungen, etc."

Bild 5.1- 1: Vorgeschriebene Angaben und Nachweise zu Wärmebrücken im Untersuchungsgebiet.

Diese **Anforderungen an Wärmebrücken** sind **qualitativ formuliert** und enthalten keine präzisen materiellen, konstruktiven oder numerischen Einzelvorgaben für die geometrische, material- oder lagebedingte Bestimmung einer Wärmebrücke oder an die Mindest-Überdämmung oder eigene Mindest-Dämmwirkung der betroffenen Bauteile. Die thermischen Effekte von Wärmebrücken wurden bei der Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs **in der Energiebilanz nicht einbezogen**, obwohl sie an einzelnen Bauteilen durchaus Verdoppelungen, teilweise sogar Verdreifachungen der Transmissionswärmeverluste mit sich bringen können, wie in den späteren Teilkapiteln noch dargestellt wird. Der Verzicht auf die quantitative Einbeziehung erfolgte beim im Untersuchungsgebiet geltenden Detmolder NEH-Standard wie auch bei den meisten anderen gängigen Energiebilanzverfahren für Gebäude, weil die dafür verfügbaren Rechenmethoden noch zu wenig bekannt sind und weil für NEH damals noch keine konsensfähigen Grenzwerte für Energiekennzahlen bei Einbeziehung der zusätzlichen Verluste von Wärmebrücken existierten, die hätten herangezogen werden können. Eine Bezugnahme auf die als "Stand der Technik" anzusehenden Mindestanforderungen im Sinne der DINs 4701 oder 4108, die sich vorrangig an dem Ziel der Bauschadensvermeidung und Tauwasserfreiheit orientieren, wäre ebenfalls wenig hilfreich gewesen, da im NEH höhere energetische Anforderungen an Bauteile gestellt werden als nur solche, die zur Bauschadensfreiheit erforderlich sind.

Trotz dieser Hemmnisse war es erforderlich, **klare und verifizierbare Qualitätsmaßstäbe** für hinreichend wärmebrückenarme oder -freie Konstruktionsdetails zu entwickeln, um die Einhaltung der Vertragsbedingungen prüfen zu können. Dazu wurden vom NEI eigenständig sowie unter Heranziehung der damals verfügbaren Fachliteratur über Wärmebrücken an NEH eine Vielzahl von Problemstellen benannt und **Varianten prinzipieller Konstruktionsvorschläge** dargestellt, die in öffentlichen und individuellen Aufklärungs- und Beratungsveranstaltungen als "sehr gut", "gut", "noch akzeptabel" oder "nicht tolerierbar" bewertet wurden. Entsprechend dieser prinzipiellen Lösungsvorschläge sollten die Wärmebrückendetails der einzelnen Objekte bearbeitet werden. Anhand dieser Bewertung erfolgte auch die

formelle Abnahme der Gebäudeplanungen durch das NEI, die die Investoren als Teil-Nachweis ihrer Vertragserfüllung gegenüber der Stadt Werther benötigten. Die für die einzelnen Wärmebrücken entwickelten Detaillösungen sind in den folgenden Einzelkapiteln beschrieben.

Der geplante Ablauf einer rechtzeitigen Detailplanung aller wärmebrückenrelevanter Details, deren Prüfung und ggf. Bemängelung durch das NEI, deren Änderung durch die Planer noch vor Ausschreibung oder zumindest Baubeginn **funktionierte allerdings im wesentlichen nicht**. Nur bei einem von 31 Bauvorhaben wurde eine vollständige und zufriedenstellende Detailplanung vorgelegt. In sieben Fällen beinhalteten die zur Prüfung vorgelegten Planungsunterlagen dagegen gar keine und in den anderen Fällen nur unterschiedlich große Teilmengen der an den jeweiligen Gebäuden vorkommenden Wärmebrückendetails. Im Durchschnitt wurden nur für 35 Prozent der vorkommenden Wärmebrückendetails Lösungsvorschläge eingereicht.

Sofern **Detailzeichnungen** vorgelegt wurden, waren es **oft Kopien aus der Fachliteratur**, die für **abweichende Einbaustuationen** erstellt und damit für den vorgesehenen Anwendungsfall nicht brauchbar waren. Fehlende oder mangelhafte Wärmebrücken-Planungen wurden im Rahmen der Planprüfung zwar vom NEI regelmäßig angemahnt, fehlten aber bei fast allen Gebäuden noch bis zu Beginn der Rohbauarbeiten oder wurden überhaupt nicht erstellt. Nur wenige Planer nahmen das für sie kostenlose Angebot des NEI an, gemeinsam mit ihnen und ihren Handwerkern Wärmebrücken-Detaillösungen zu entwickeln. Ein Hemmnis für die Durchsetzung einer zufriedenstellenden Wärmebrücken-Detailplanung war es auch, daß die Stadt Werther den Investoren zwar deren Erarbeitung und Vorlagefrist vorgegeben, jedoch im Falle der Nichteinhaltung dieser Vorgabe keine Sanktionsmöglichkeit vereinbart hatte.

Da **viele Planungen sowohl mangelhaft als auch verspätet** eingingen, konnte häufig die Beratung, Bemängelung und Änderung erst während des Baus erfolgen. Gute Lösungen waren dadurch deutlich schwieriger zu realisieren als sie es bei rechtzeitiger Planung und Klärung gewesen wären. Die durch solche Planungsmängel entstandenen Ausführungsmängel und Mehrkosten wurden von den Investoren allerdings fast nie den Planern angelastet, die sie zu verantworten hatten, sondern als besonderes Problem der Niedrigenergie-Bauweise interpretiert.

Eine bei sieben der 19 untersuchten EFH vorkommende und für kleinere Bauten heute fast schon typische **Ursache von Detailmängeln** war es, daß die **Architekten nur mit der Erstellung der Genehmigungsplanung beauftragt** wurden, nicht aber mit der der Ausführungsplanung oder mit der Bauleitung. Da das Baugebiet einen gültigen Bebauungsplan aufwies, konnte für die kleinen Gebäude das **vereinfachte Baugenehmigungsverfahren** nach Bauerleichterungsgesetz genutzt werden, in dessen Rahmen auch das örtliche Bauamt und die zuständige Baugenehmigungsbehörde des Kreises Gütersloh keine technischen Baudetails prüften. Die von diesen Architekten erstellten Genehmigungsplanungen enthielten meist keine für die Beurteilung von Wärmebrücken ausreichenden Detailangaben. Häufig wurden nur Pläne im Maßstab 1:100 vorgelegt, anhand derer Wärmebrückendetails bestenfalls errahnt werden konnten. Diese **Details fehlten nicht nur in den gezeichneten Plänen** oder rudimentären Baubeschreibungen, sondern dürften **in den meisten Fällen konstruktiv auch gar nicht durchdacht** worden sein. Wenn dann auch die Bauausführung mit **hohem Eigenleistungsanteil** vorgenommen wurde, fand eine sachkundige Auseinandersetzung mit Wärmebrücken weder in der vorausgehenden Planung noch im Rahmen handwerklicher Berufskompetenz statt. Bei vielen der untersuchten EFH erfolgte die Planung und Erstellung der Objekte zudem nicht über **Architektenverträge**, sondern wurden die Rohbauten, halbfertigen oder schlüsselfertigen Häuser mit **BGB-Verträgen** über Bauträger verkauft. Hier reduziert sich die Gewährleistungshaftung der Verkäufer sogar bis auf diejenigen Qualitäten, die in der den Kaufverträgen beigefügten **Baubeschreibungen** aufgelistet sind, welche typischerweise **eher blumig als konkret** zu sein pflegen und in denen der Begriff der Wärmebrücke nur selten vorkommt.

Eine **zufriedenstellende Bauausführung** von Wärmebrücken-Details konnte in solchen Fällen entweder nur durch einen unverhältnismäßig hohen Aufwand an Sensibilisierung, Fachinformation und Bauüberwachung durch die Energieberatung oder in vielen Fällen auch gar nicht herbeigeführt werden. Die an einzelnen Bauteilen entstandenen Probleme und ermittelten Ergebnisse sind in den folgenden Teilkapiteln beschrieben. Insgesamt konnten an immerhin vier von 31 Objekten sämtliche identifizierten Wärmebrücken vermindert oder vermieden werden. Im Durchschnitt aller Objekte wurden 72 Prozent der Wärmebrücken zufriedenstellen und 28 Prozent nicht, schlecht oder unzufriedenstellend gelöst. (Bilder 5.1-2 und 5.1-3) zeigen in Tabellenform das Vorkommen und die bewerteten Lösungsqualitäten der an den untersuchten NEH geplanten und der gebauten Wärmebrückendetails. Die aus diesen Tabellenwerten ermittelten Häufigkeiten und Prozentangaben sollten dabei zurückhaltend bewertet werden, da

die Vielfalt der bewertungserheblichen individuellen Randbedingungen der jeweiligen Baudetails wesentlich größer ist als es in einer solchen Tabelle differenziert werden kann. Trotzdem lassen sich unterschiedliche Häufigkeiten besserer, schlechterer und mangelhafter Lösungen erkennen.

Die Erfahrung mit der Planung und Bauausführung von Wärmebrücken zeigt einerseits, daß die Bedeutung dieser Details noch lange kein Allgemeingut ist, obwohl sie seit Jahrzehnten zum Standard-Repertoire der Architektenausbildung gehört und obwohl auch gute NEH-spezifische Fachliteratur existiert. Andererseits zeigt sie auch sehr krass, daß der erhoffte administrative Nutzen der Bauerleichterungs-Gesetzgebung und der Ent-Haftung von Planern und Erstellern von Häusern durch das Instrument der BGB-Bauverträge mit bewußter Umgehung des Architekten- wie auch des Handwerksrechts zu erheblichen Qualitätseinbußen von Bauwerken führen kann, was besonders für die Niedrigenergie-Bauweise sehr nachteilig ist. Es soll hier aber auch nicht unerwähnt bleiben, daß trotz all dieser beobachteten Mängel viele Investoren, Planer und Bauausführende ein sehr hohes Engagement für Detailfragen der Wärmebrücken-Vermeidung aufgebracht haben, dessen Erfahrungsgewinn auch künftigen Bauten zugutekommen wird.

Für künftige Projekte, bei denen eine hohe Qualität von Wärmebrücken-Details gewünscht wird, muß aufgrund dieser Erfahrungen **vor allem eine rechtzeitige Vorlage und Prüfung dieser Detailplanungen** erreicht werden und es muß verhindert werden, daß vorab im wesentlichen unbrauchbare Planungen (z.B. solche "nur für die Baugenehmigung") erstellt werden, die nachher erst mühselig wieder korrigiert werden müssen, um funktionierende und kostengünstige Detaillösungen zu erreichen. Sowohl der Planungs- wie auch der Bauaufwand für die Wärmebrücken-Vermeidung war nämlich bei denjenigen Gebäuden letztlich oft geringer, bei denen mögliche Komplikationen schon frühzeitig durchdacht und vermieden wurden als bei jenen, bei denen am Anfang Planungsaufwand "gespart" und nachher unter dem Sachzwang bereits geschaffener Tatsachen nur noch kompliziertere, teurere oder schlechtere Lösungen möglich waren.

Bild 5.1- 2: Geplante Wärmebrücken-Detaillösungen.

5.1 - 4

Geplante Wärmebrücken-Detaillösung																		
Objekt	Detail-Nr:																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	10	11	12	13	14	15	16	
	Außenwand											Innenwände		Treppe	Balkon	Podest		
	1- / 2- schalig	Material	Sohle ja/n/nok	Kellerd. ja/n/nok	Klinker auf EG/OG-Dke ja/n/nok	kalter Dachr. ja/n/nok	Fenster			Rolladenkasten			Luft an Giebel ja/n/nok	Kellerd. ja/n/nok	kalter Dachraum ja/n/nok	IW ja/n/nok	Decke ja/n/nok	KG-Decke ja/n/nok
						seitlich ja/n/nok	unten ja/n/nok	Sturz ja/n/nok	oben ja/n/nok	seitlich ja/n/nok	unten ja/n/nok	innen ja/n/nok						
1	2	GB	-	n	-	n	n	n	-	n	n	n	n	n	n	-	n	-
2	1	KS	-	n	-	n	n	n	-	-	-	-	n	n	n	n	n	-
3	2	HLZ	n	n	n	n	n	n	-	-	-	-	n	n	n	n	n	-
4	1	LHLZ	-	ja	-	ja	ja	ja	-	-	-	-	ja	ja	ok	ja	ja	-
5	2	GB	-	ja	ja	n	ja	ja	-	-	-	-	ja	n	n	n	n	-
6	1	KS	-	ja	-	n	n	ja	-	ja	n	ja	n	n	-	ja	ja	-
8	2	LHLZ	-	ja	n	n	ja	ja	n	-	-	-	ja	n	-	-	-	ja
9	2	GB	-	n	-	ok	n	n	-	n	n	n	n	n	-	n	-	n
10	2	LHLZ	-	ja	n	ja	ja	n	-	n	n	n	n	n	-	n	-	n
11	2	LHLZ	-	n	-	n	n	n	-	n	n	n	n	n	-	n	-	n
12	2	LHLZ	-	n	-	n	n	n	-	n	n	n	n	n	-	n	-	n
13	1	GB	ja	ja	-	n	n	ja	ja	-	-	-	n	n	-	n	n	n
14	2	GB	-	ja	-	-	ja	ja	-	ja	ja	ja	ja	ja	-	n	-	n
15	1	LHLZ	-	ja	-	n	ja	n	-	n	n	n	n	n	-	n	-	n
16	2	LHLZ	-	ja	-	-	ja	ja	ja	-	-	-	ja	n	-	n	-	n
17	2	KS	-	ja	-	-	ja	ja	ja	-	-	-	ja	n	-	n	n	n
18	2	GB	-	n	-	n	n	n	-	n	n	n	n	n	-	n	n	n
19	2	LHLZ	ja	ja	nok	-	ja	ja	-	ja	ja	ja	n	n	-	n	-	n
20	2	GB	-	n	-	-	ja	n	-	n	n	n	n	n	-	n	-	n
21	2	LHLZ	ja	ja	-	-	nok	nok	n	-	-	-	nok	n	-	n	-	n
22	2	GB	ja	ja	-	-	ja	ja	-	ja	n	ja	ja	n	n	-	ja	-
23	2	GB	-	ja	-	-	ja	ja	ja	-	-	-	ja	n	n	n	-	-
24	2	GB	-	nok	n	-	ja	n	-	n	n	n	n	n	-	n	-	n
25	2	LHLZ	ja	ja	-	-	ja	ja	ja	-	-	-	n	n	-	-	-	-
26	1	KS	-	ja	-	ja	ja	ja	ja	-	-	-	ja	ja	-	n	-	n
27	?																	
29	1	KS	ja	ja	-	-	n	n	n	-	-	-	ja	ja	-	-	ja	ja
30	1	KS	ja	ja	-	-	n	n	n	-	-	-	ja	ja	-	-	ja	-
31	2	HLZ	-	nok	-	-	nok	n	nok	-	-	-	ja	nok	-	n	ja	-
32	2	HLZ	-	nok	ja	-	nok	n	nok	-	-	-	ja	nok	-	n	ja	-
33	1	KS	-	ja	-	-	n	n	n	-	-	-	n	ja	-	n	ja	-

Summe	8	30	7	14	30	30	15	13	13	13	13	13	30	29	4	26	14	17
ja	7	19	2	4	15	13	7	3	1	4	4	12	5	1	3	7	2	
Prozent	87,5	63,3	28,6	28,6	50,0	43,3	46,7	23,1	7,7	30,8	30,8	40,0	17,2	25,0	11,5	50,0	11,8	
nein	1	8	4	10	12	16	4	10	12	9	9	17	22	3	23	7	15	
Prozent	12,5	26,7	57,1	71,4	40,0	53,3	26,7	76,9	92,3	69,2	69,2	56,7	75,9	75,0	88,5	50,0	88,2	
nok	0	3	1	0	3	1	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	
Prozent	0	10,0	14,3	0,0	10,0	3,3	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	

ja: Wärmebrückenarm geplant wie empfohlen
n: keine Planung dieses Details
nok: Planung nicht ok

Bild 5.1-3: Gebaute Wärmebrücken-Detaillösungen.

Gebaute Wärmebrücken-Detaillösungen

Objekt	Detail Nr:																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
	Außenwand										Rolladenkasten			Innenwand		Treppe	Balkon	Podest	
1- / 2- schalig	Material	Sohle ok/nok/f	Kellerd. ok/nok/f	Klinker auf EG/OG-Dke ok/nok/f	kalter Dachr. ok/nok/f	Fenster			Rolladenkasten			Luft an Giebel ok/nok/f	Kellerd. ok/nok/f	kalter Dachraum ok/nok/f	IW ok/nok/f	Decke ok/nok/f	KG-Decke ok/nok/f		
					seitlich ok/nok/f	unten ok/nok/f	Sturz ok/nok/f	oben ok/nok/f	seitlich ok/nok/f	unten ok/nok/f	innen ok/nok/f								
1	2	GB	-	nok (1)	-	ok (16)	ok (13)	?	-	ok (22)	n	n (21)	ok (22)	ok	ok (10)	-	nok (30)	ok/f (33)	-
2	1	KS	-	ok	-	f (31)	ok (17)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok (10)	nok (31)	ok (36)	ok (35)	-
3	2	HLZ	f (5)	nok (1),(6)	f (5)	-	ok (14)	?	ok	-	-	-	-	ok	f (3)	-	ok	ok	-
4	1	LHLZ	-	ok (6)	-	ok	ok (17)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok (6)	ok	ok	ok	-
5	2	GB	-	nok (1),(6)	ok	f (31)	ok (13)	ok(13)/f(15)	ok	-	-	-	-	ok	ok(6)	f(31)	ok	ok	-
6	1	KS	-	ok (6)	ok	f (31)	ok (17)	ok	-	ok (22)	ok (20)	f (21)	ok (22)	ok	ok(6)	-	ok (36)	ok	-
8	2	LHLZ	-	ok (6)	nok (5)	f (31)	ok (13)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok(6)	-	-	-	ok (33)
9	2	GB	-	nok (1)	-	ok (16)	ok (13)	ok	-	Ok (22),(23)	ok (20)	f (21)	ok (22)	ok	ok (11)	-	ok (35)	-	ok (32)
10	2	LHLZ	-	ok	-	ok	ok (13)	f	f	ok (20)	ok (20)	ok (20)	ok (20)	ok	ok (1)	-	ok	-	ok
11	2	LHLZ	-	f (1),(2),	-	f (31)	ok (13)	f	-	ok (20)	ok (20)	ok (20)	ok (20)	ok	nok (7)	-	f (31)	-	?
12	2	LHLZ	-	f (2),(7)	-	f (31)	ok (13)	?	f	-	-	-	-	ok	f (3)	-	ok	-	?
13	1	GB	ok	ok	-	ok (16)	ok (17)	ok	ok	-	-	-	-	ok	f (3),(6)	-	ok	-	ok
14	2	GB	f (2)	nok (1)	-	-	ok (18)	ok	-	ok (18)	ok (18)	ok (18)	ok (18)	ok	ok (16)	-	ok (35)	-	-
15	1	LHLZ	-	ok (6)	-	f (31)	ok (17)	?	-	ok (22)	f (21)	?	ok (22)	ok	ok (4)	-	ok	-	f (34)
16	2	LHLZ	-	nok (1),(3)	-	-	ok (19)	ok	ok	-	-	-	-	f	f (3),(6)	-	ok	-	ok (33)
17	2	KS	-	ok (6)	-	-	ok (19)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok(6)	-	ok	ok	ok (33)
18	2	GB	-	nok (8)	-	-	ok (13)	?	-	ok (20)	f (21)	?	ok (22)	ok	ok(6)	-	ok (35)	f (31)	ok
19	2	LHLZ	f (5)	f (1),(2)	-	f (31)	ok (?)	f	-	nok (23)	f (21)	?	ok(22)	?	ok(6)	-	ok(35)	-	f (?)
20	2	GB	-	nok (8)	-	-	f	f	-	ok (20)	ok (20)	ok (20)	ok (20)	ok	ok (10)	-	ok	-	ok
21	2	LHLZ	ok	ok	-	-	ok (13)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok (10)	-	f (31)	-	f (37)
22	2	GB	ok	ok	-	-	ok (13)	ok	-	ok (20)	ok (20)	ok	ok (22)	ok	f (3)	-	ok	-	ok
23	2	GB	-	nok (1)	-	-	ok (13)	ok	nok	-	-	-	-	ok	ok(6)	f	ok	ok	-
24	2	GB	-	ok	f (5)	-	nok	f	-	ok (22)	f (21)	?	ok (20)	ok	ok(6)	-	ok	-	-
25	2	LHLZ	nok (1)	nok (1),(3)	-	-	ok 19	ok/nok	ok	-	-	-	-	ok	nok (3)*	-	-	-	-
26	1	KS	-	f (4), (6)	-	-	ok (17)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok(6)	-	f (31)	-	f (30)
27	?																		
29	1	KS	ok (6)	ok (6)	-	-	ok (17)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok(6)	-	-	ok	ok
30	1	KS	ok (6)	ok (6)	-	-	ok (17)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok(6)	-	-	ok	-
31	2	HLZ	-	ok (9)	ok	-	ok (19)	ok	ok	-	-	-	-	ok/f	f (3)	-	ok	ok	-
32	2	HLZ	-	ok (9)	ok	-	ok (19)	ok	ok	-	-	-	-	ok/f	f (3)	-	ok	ok	-
33	1	KS	-	ok (6)	-	-	ok (17)	ok	ok	-	-	-	-	ok	ok(6)	-	ok	ok	-

Summe	9	30	6	13	30	30	19	12	12	12	12	30	30	4	26	14	16
ok	5	15	3	5	28	19	16	11	7	5	12	27	21	1	22	12	10
Prozent	55,56	50,0	50,0	38,5	93,3	63,3	84,2	91,7	58,3	41,7	100,0	90,0	70,0	25,0	84,6	85,7	62,5
nok	1	10	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0
Prozent	11,11	33,3	16,7	0,0	3,3	3,3	5,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	25,0	3,8	0,0	0,0
f	3	4	2	8	1	5	2	0	5	3	0	2	7	2	3	2	4
Prozent	33,33	13,3	33,3	61,5	3,3	16,7	10,5	0,0	41,7	25,0	0,0	6,7	23,3	50,0	11,5	14,3	25,0
?	0	0	0	0	0	5	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	2
Prozent	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0

Bewertung:

- ok = wärmebrückenarm wie empfohlen
- nok = nicht wärmebrückenarm aber tolerierbar
- f = Wärmebrücke bildet Baufehler
- = Wärmebrücke nicht vorhanden

Details:

- 1: 2-Schaligkeit endet Unterkante Kellerdecke
- 2: Stirnseite der Kellerdecke bleibt ungedämmt
- 3: 1.Steinreihe aus zu gut wärmeleitendem Stein
- 4: TH endet auf Höhe Kellerdecke
- 5: Klinker steht auf warmer Decke auf
- 6: 1. Steinreihe GB
- 7: ober-u.unters. Ziegel
- 8: zu wenig Dämmung in 2-schaliger Kellermauerkrone

- 9: Isomur
- 10: Decke ober und unters. gedämmt
- 11: Kellerdecke aus GB
- 12: IWs aus versch. Materialien
- 13: GB Mauern.m.Dämmstr.
- 14: Ziegelmauern.m.Dämmstr.
- 15: unter.Anschl.Tür falsch
- 16: AW aus GB

- 17: TH auf Blendrahmen
- 18:: Fensterienbauzarge aus Holz
- 19: Fensterienbaurahmen massives Holz
- 20: Fertigteil mit Zusatzdmg.
- 21: Fertigteil ohne Zusatzdmg.
- 22: gutes Fertigteil
- 23: einzelne falsch
- 30: zu geringe Fugen-Dämmung

- 31: keine Tre
- 32: Bauteile z
- 33: Stellenwe
- 34: Isokorb ar
- 35: Wände ar
- 36: Trhs behe
- 37: estrich du
- 38: Holzteile i

5.2. Wärmebrücken an Sohlplatten und Kellerdecken

Am Anschluß von Sohlplatten und Kellerdecken unter beheizten Räumen an oberseitig aufstehende Wände und an unterseitig anschließende Fundamente oder kalte Kellerwände können starke Wärmebrücken entstehen. Dies gilt gleichermaßen für ihre Anschlüsse an Außenwände und an Innenwände. Die Bedeutung der oberen oder unteren Deckenanschlüsse hängt vor allem von der Lage der Dämmschicht der Decke ab, die nur-oberseitig, beidseitig oder nur-unterseitig montiert sein kann. Besonders hoch ist der Wärmeabfluß aus warmen aufstehenden Wänden in Sohlplatten oder Kellerdecken und von diesen weiter in Fundamente oder Kellerwände,

- wenn die Wände und Decken aus gut wärmeleitendem Material (z.B. Beton oder KS) bestehen,
- wenn obere und untere Anschlüsse direkt übereinander liegen und
- wenn die Deckenstirnseiten und/oder unteren Wandanschlüsse nicht nur Keller- oder Erdreich- sondern direkten Außenluftkontakt haben.

(Bild 5.2-1) zeigt die auftretenden Wärmebrücken am Übergang von Erdreich oder unbeheiztem Keller zu Wohnraum:

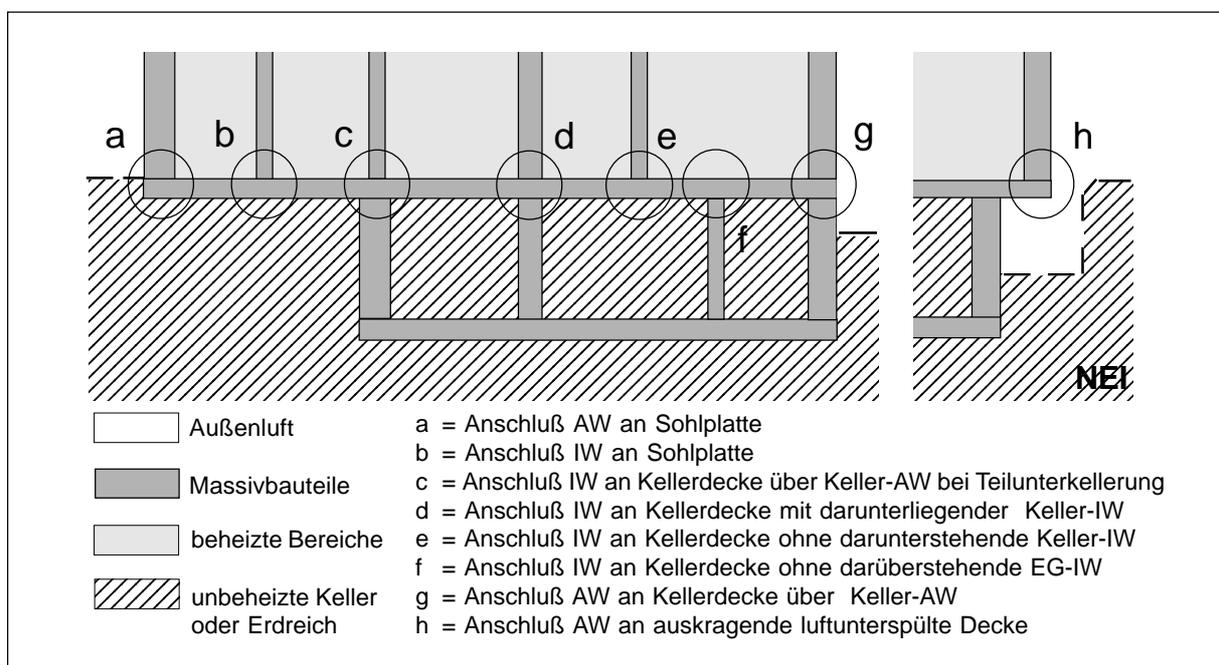


Bild 5.2- 1: Wärmebrücken am Übergang von Erdreich oder unbeheiztem Keller zu Wohnraum.

Die in (Bild 5.2-1) gezeigten Wärmebrücken kommen an allen untersuchten Gebäuden vor und können bereits bei kleinen Einfamilienhäusern Längen von 50-60 Meter erreichen. Ihre **energetische Relevanz** kann bei guter Detail-Planung vernachlässigbar, ohne Maßnahmen zu ihrer Minimierung hingegen erheblich sein. (Bild 5-2.2) zeigt die Höhe der über diese Wärmebrücke abfließenden Wärmemenge anhand eines Beispiel-Einfamilienhauses bei unterschiedlich konstruierten Mauerfußpunkten auf einer "kalten", weil nur oberseitig gedämmten Kellerdecke. Der zusätzliche Wärmeabfluß über diese Wärmebrücke vom EG in den Keller beträgt je nach Mauerwerksart (Porenbeton / Ziegel / KS) zwischen 54 % und 206 % des Wärmeabflusses der gesamten wärmegeprägten Kellerdecke.

Die Wärmebrücken an Sohlplatten und Kellerdecken werden im Folgenden erläutert. Die Darstellung ist jeweils **unterteilt in nur-oberseitig und ober- und unterseitig gedämmte Kellerdecken oder Sohlplatten**. Decken mit nur-unterseitiger Dämmung kamen im Untersuchungsgebiet nicht vor. Als erstes werden die Anschlüsse an **Innenwände** beschrieben, dann die Anschlüsse an **einschalige Außenwände**, als drittes die Anschlüsse an **zweischalige Außenwände**. Bei den Außenwandanschlüssen muß zusätzlich der Einfluß der Außentemperatur in jeweils unterschiedlichem Maß berücksichtigt werden.

Bei **Decken mit nur-oberseitiger Dämmung** mit NEH-gerechtem k-Wert von $\leq 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ trennt die obere Dämmlage die Decke thermisch fast vollständig von dem darüberliegenden warmen Raum ab.

Zusätzliche Wärmeverluste über Wärmebrücken an Mauerfußpunkten

Transmissionswärmeverluste der normalen Kellerdecke

$$100 \text{ m}^2 * 0,3 \text{ W/m}^2\text{K} * 13 \text{ K}$$

$$390 \text{ W} = 100 \%$$

Zusätzliche Wärmebrücken-Verluste

a) unterste Steinreihe aus KS-Mauerwerk (0,99 W/mK)

$$60 \text{ m} * 1,03 \text{ W/mK} * 13 \text{ K}$$

$$+ 807 \text{ W} = +206 \%$$

b) unterste Steinreihe aus Leichthochlochziegel (0,21 W/mK)

$$60 \text{ m} * 0,81 \text{ W/mK} * 13 \text{ K}$$

$$+633 \text{ W} = +162 \%$$

c) unterste Steinreihe aus Porenbeton (0,12 W/mK)

$$60 \text{ m} * 0,27 \text{ W/mK} * 13 \text{ K}$$

$$+211 \text{ W} = +54 \%$$

Rechenannahmen: Kellerdecke 100 m² mit nur-oberseitiger Dämmung und k-Wert von 0,3 W/m²K. Wände jeweils 17,5 cm stark. Außenwände insgesamt 38 m, Innenwände 22 m, zusammen 60 m.

Bild 5.2- 2: Zusätzliche Wärmeverluste über Wärmebrücken an Mauerfußpunkten.

Die Decke hat dadurch annähernd die Temperatur des darunterliegenden Erdreiches oder Kellers. Die aufstehenden Innenwände des darüberliegenden beheizten Wohnraumes sind dagegen warm und geben über ihr Auflager ständig Wärme in diese Platte ab. Am Mauerfußpunkt der die oberseitige Deckendämmung durchstoßenden aufstehenden Wand kann eine Wärmebrücke entstehen.

Bei **Decken mit ober- und unterseitiger Dämmung** trennen die beiden Dämmlagen die Decke thermisch sowohl von dem darüberliegenden beheizten Raum wie auch von dem darunterliegenden Keller oder Erdreich ab. Die Decken selbst hat daher je nach der Stärke der oberen und unteren Dämmlage eine Temperatur zwischen oberer Raumtemperatur und unterer Keller- bzw. Erdreich- oder bei auskragenden Decken Außentemperatur. Wegen ihrer Temperaturdifferenz sowohl zum darüberliegenden wie auch zum darunterliegenden Raum findet bei ober-und-unterseitig gedämmten Decken sowohl ein Wärmeeintrag über die aufstehenden Erdgeschoßwände in die Decke als auch zusätzlich ein Wärmeabfluß in darunterstehende Kellerwände statt, auf denen die Decke aufliegt.

Bei **Decken mit nur-unterseitiger Dämmung** sind nur die unteren Anschlüsse wärmebrückenrelevant. Da solche Decken im Untersuchungsgebiet nicht gebaut wurden, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

(Bild 5.2-3) zeigt schematisch die an Innenwänden auftretenden Wärmeströme zu Kellerdecken oder Sohlplatten mit nur-oberseitiger bzw. ober- und unterseitiger Deckendämmung.

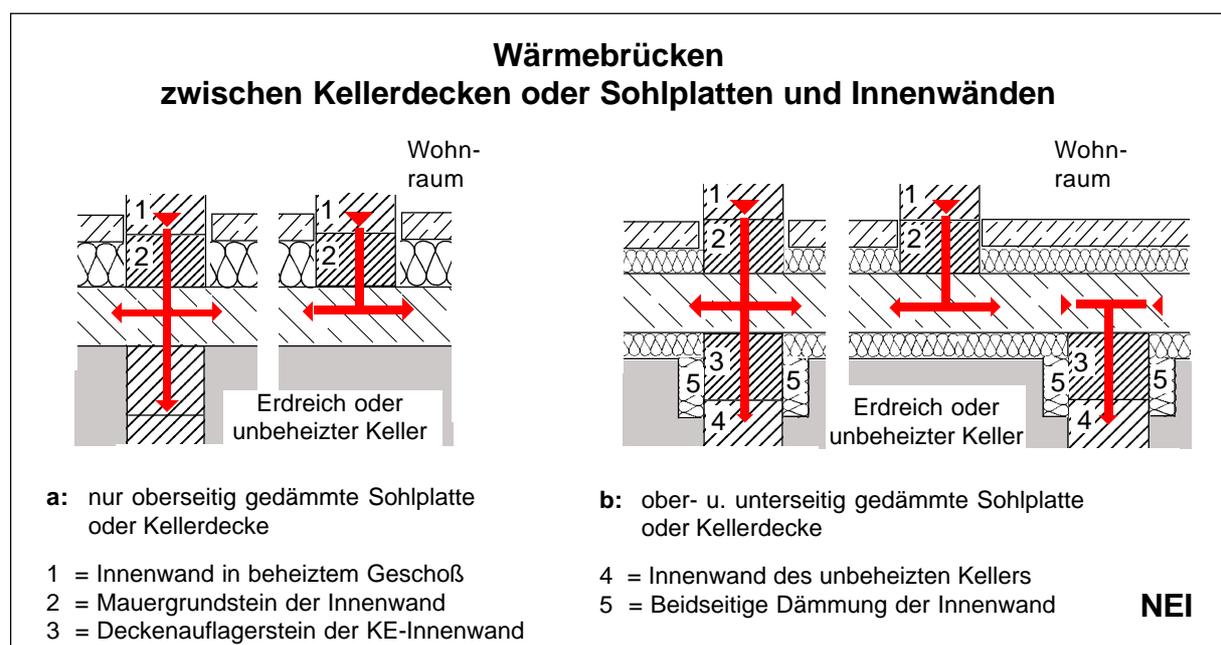


Bild 5.2- 3: Wärmebrücken von Innenwänden zu Kellerdecken oder Sohlplatten.

Zur **Verringerung der Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten und Innenwänden** konnte zwischen drei unterschiedliche Maßnahmen gewählt werden. Entweder

- es sollten alle an die Decke anschließenden anders temperierten Wände aus sehr wenig wärmeleitendem Material ($\leq 0,12$ W/mK) bestehen, oder
- es sollten zwischen der Decke und den anschließenden anders temperierten Wänden Sonderbauteile oder Steine aus sehr schlecht wärmeleitende Material eine thermische Trennung bewirken, oder
- es sollten beidseitig der an die Decke anschließenden, anders temperierten Wände Flanken-dämmungen montiert werden, die den Wärmestrom aus oder in diese Wände verringern.

Diese **Varianten wärmebrückenarmer Anschlüsse von Kellerdecken oder Sohlplatten an Innenwänden** sind in (Bild 5.2-4) dargestellt. Die vorgelegten Wärmebrücken-Detailplanungen wurden nach diesen Vorgaben geprüft. In der Planungsbewertung wurden die als "sehr gut" bezeichneten Lösungen empfohlen, "unbefriedigende" wurden toleriert, "mangelhafte" waren zu überarbeiten.

Lösungsvorgaben für Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten und Innenwänden		
Lösungs- bewertung	Fall a: Kellerdecke mit nur-oberseitiger Dämmung	Fall b: Kellerdecke mit ober- und unterseitiger Dämmung
sehr gut	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) aus Foamglas, Stein oder wärmedämmendem Fertigelement mit $\lambda \leq 0,12$ W/mK.	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) <u>und</u> Deckenaufleger der unterseitigen Wand (3) wie bei Fall a, <u>oder</u> Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) wie bei Fall a <u>und</u> beidseitige Flankendämmung (5) der unteren Wandanschlüsse bis 50 cm unter die Decke.
unbefriedigend	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand aus Stein oder anderem Material mit $\lambda = 0,12$ bis $0,18$ W/mK.	Mauergrundstein der aufstehenden Wand (2) und Deckenaufleger der unterseitigen Wand (3) aus Stein oder anderem Material mit $\lambda = 0,12$ bis $0,18$ W/mK.
mangelhaft	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) aus Stein oder anderem Material mit $\lambda > 0,18$ W/mK.	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) und Deckenaufleger (3) der unterseitigen Wand (4) aus Stein oder anderem Material mit $\lambda > 0,18$ W/mK.

Bild 5.2- 4: Lösungsvorgabe für Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten und Innenwänden.

In den untersuchten **Gebäudeplanungen** wurde die Wärmebrücke zwischen Kellerdecke oder Sohlplatte und Innenwänden nur bei fünf von 30 Objekten (17,2 %) "sehr gut" im Sinne von (Bild 5.2-4) gelöst. Zwei Planungen (6,7 %) waren unbefriedigend, bei den restlichen Objekten (76 %) fehlten Detailangaben ganz.

Erschwerend für die Planung dieses Wärmebrückendetails war mehrfach, daß die Art und Lage der Deckendämmung zu spät festgelegt wurde. Die Planungen enthielten oft zunächst konventionelle Deckenaufbauten und über die Lage der im NEH zusätzlich notwendigen Dämmstoffstärke von bis zu 5 cm wurde erst nach Rohbaufertigstellung entschieden. Die die Wärmebrücken bildenden Mauerwerksteile wurden hier tatsächlich gebaut, bevor sie energetisch durchdacht waren und die nachträgliche Mängelbehebung war in der Regel weder möglich oder zumutbar.

In der Bauausführung wurden sehr gute Lösungen für das Wärmebrückendetail an Innenwänden zu Kellerdecken oder Sohlplatten entsprechend (Bild 5.2- 4) bei 18 von 30 Objekten (60 %) realisiert. Bei 16 Objekten mit nur oberseitig gedämmten Decken wurden sehr gut dämmende Porenbetonsteine als Mauergrundsteine eingesetzt. Bei einem Objekt mit ober- und unterseitiger Deckendämmung wurde

Porenbeton als themischer Trennstein sowohl als oberste Steinreihe der Kellermauer als auch als unterste Steinreihe des aufstehenden Mauerwerks verwendet. Bei einem Objekt war die nur-oberseitig gedämmte Decke selbst sowie das gesamte aufstehende Mauerwerk aus gut wärmedämmendem Porenbeton, so daß materialbedingt keine zu beanstandende Wärmebrücke entstand. Unbefriedigende Lösungen gab es bei drei Objekten (10 %). Zweimal wurden bei nur oberseitig gedämmten Kellerdecken Hochlochziegel als Deckenauflegersteine der Kellerwände und als unterste Steinreihe der aufstehenden Wände verwendet. In einem anderen Fall mit ober- und unterseitig gedämmten Decke waren alle anschließenden Wände nur aus Kalksandstein. Hier wurde nach Bemängelung des mangelhaften Details die unterseitige Dämmung der Kellerdecke an allen Kellerwänden als Flankendämmung heruntergeführt, so daß die Wärmebrückeneffekte immerhin verringert wurden. Bei neun Objekten (30 %) waren die Detaillösungen mangelhaft, da jegliche Maßnahme zur Verringerung der Wärmebrückeneffekte an Innenwänden zu Kellerdecken oder Sohlplatten fehlten.

Bei **Anschlüssen von Kellerdecken oder Sohlplatten an Außenwände** gbt es grundsätzlich dieselben Wärmebrücken wie bereits bei Innenwänden beschrieben. Die absolute Höhe der Wärmeabflüsse kann jedoch deutlich höher sein als bei Innenwänden, da hier an der kalten Seite der Keller- oder Fundamentbauteile wesentlich niedrigere Temperaturen anstehen. (Bilder 5.2-5 und 5.2-7) zeigen schematisch die an einschaligen und zweischaligen Außenwänden auftretenden Wärmeströme jeweils getrennt für Deckenausführungen mit nur- oberseitiger oder mit ober- und unterseitiger Dämmung für erd- oder außenluftberührte Kelleraußenwände.

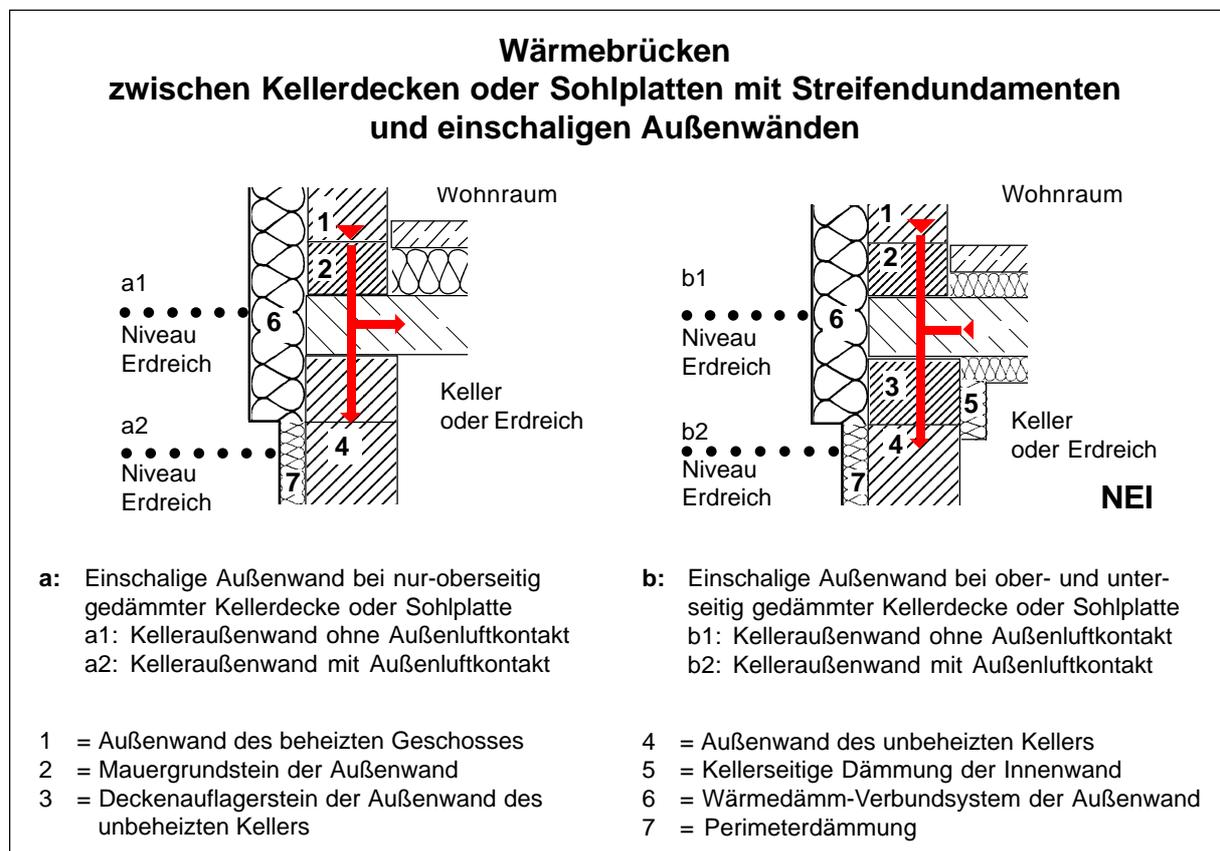


Bild 5.2- 5: Wärmebrücken an Sohlplatten und Kellerdecken bei einschaligen Außenwänden.

Bei **einschaligen Außenwänden** lassen sich die Wärmebrückeneffekte fast auf die an Innenwänden auftretenden Verluste verringern. Dazu müssen einerseits die bei Innenwänden bereits erläuterten Materialvorgaben an den Decken-Wand-Anschlüssen eingehalten werden. Andererseits muß die Außenwanddämmung bei nur-oberseitig gedämmten Kellerdecken oder Sohlplatten ca. 50 cm und bei ober- und unterseitig gedämmten Decken etwa 70 cm unter die Kellerdecke oder Sohlplatte herabgeführt werden. Je nach Höhe der Erdanschüttung (Fälle a1/a2 und b1/b2 in Bild 5.2.-5) kann dies die normale AW-Dämmung oder auch eine etwas dünnere Kelleraußenwand- oder Perimeterdämmung sein.

Die Vorgaben für die Minimierung der Wärmebrückeneffekte an einschaligen Außenwänden zu Kellerdecken oder Sohlplatten zeigt (Bild 5.2-6).

Lösungsvorgaben für Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten mit Streifenfundamenten und einschaligen Außenwänden

Lösungs- bewertung	Fall a: Kellerdecke oder Sohlplatte mit nur-oberseitiger Dämmung	Fall b: Kellerdecke oder Sohlplatte mit ober- und unterseitiger Dämmung
sehr gut	<p>Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) aus Foamglas, Stein oder wärmedämmendem Fertigelement mit $\lambda \leq 0,12$ W/mK.</p> <p><u>zusätzlich</u> bei a1: Herabführen der Außenwanddämmung (6) bis ca 50 cm ins Erdreich.</p> <p>bei a2: Herabführen der Außenwanddämmung (6) bis ca 30 cm unter die Kellerdecke bei zusätzlicher Dämmung der Kelleraußenwand (7).</p> <p>Bei erdberührten Sohlplatten mit nur-oberseitiger Dämmung ist eine sehr gute Lösung nur möglich, wenn die Sohlplatte mindestens 50 cm unter Erdniveau liegt.</p>	<p>Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) <u>und</u> Deckenaufleger (3) der unterseitigen Wand aus Foamglas, Stein oder wärmedämmendem Fertigelement mit $\lambda \leq 0,12$ W/mK.</p> <p><u>zusätzlich</u> bei b1: Herabführen der Außenwanddämmung (6) bis 50 cm ins Erdreich.</p> <p>bei b2: Herabführen der Außenwanddämmung (6) bis ca 30 cm unter die Kellerdecke und zusätzliche Dämmung der Kelleraußenwand (7).</p> <p>Bei Sohlplatten mit ober- und unterseitiger Dämmung muß die Außendämmung direkt an die unterseitige Dämmung anschließen.</p>
unbefriedigend	<p>Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) nur aus mäßig dämmenden Materialien mit $\lambda = 0,12 - 0,18$ W/mK. <u>und zusätzlich</u> bei a1 und a2 Außendämmung wie bei obigen sehr guten Lösungen.</p> <p><u>oder</u></p> <p>Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) zwar wie bei sehr guter Lösung <u>jedoch</u> bei a1: Außendämmung (6) nur bis OK der Erdanschüttung bzw. bei a2: ohne Außendämmung der Kellerwand.</p>	<p>Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) <u>sowie</u> Deckenaufleger (3) der unterseitigen Wand aus mäßig dämmenden Material mit $\lambda = 0,12 - 0,18$ W/mK. <u>und zusätzlich</u> bei b1 und b2 Außendämmung wie bei "sehr guter" Lösung.</p> <p><u>oder</u></p> <p>Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) und Deckenaufleger (3) der unterseitigen Wand wie bei "sehr guter" Lösung <u>und zusätzlich</u> bei b1: Außendämmung (6) der unterseitigen Wand nur bis OK der Erdanschüttung bzw. bei b2: ohne Außendämmung der unters.Wand.</p>
mangelhaft	<p>Mauergrundsteine der aufstehenden Wände mit $\lambda > 0,18$ W/mK und Außendämmung nicht ausreichend herabgezogen.</p>	<p>Mauergrundstein der aufstehenden Wände und Deckenaufleger der unterseitigen Wände mit $\lambda > 0,18$ W/mK und Außendämmung nicht ausreichend herabgezogen.</p>

Bild 5.2- 6: Lösungsvorgaben für Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten. und einschaligen Außenwänden.

In den **Detailplanungen** wurde die Wärmebrücke am Anschluß von Kellerdecken oder Sohlplatten an einschalige Außenwände am Übergang zur bei acht von neun Objekten (89 %) entsprechend den Vorgaben in (Bild 5.2-6) "sehr gut" bearbeitet, indem die Außenwände auf eine unterste Reihe wenig wärmeleitende Mauergrundsteine aufgestellt und die Außenwanddämmung bis weit unter die Kellerdecke oder bis tief ins Erdreich hinab montiert werden sollte. Bei einem Mehrfamilienhaus fehlte die gesamte Wärmebrücken-Detailplanung noch bei Fertigstellung des EG-Rohbaus. In zwei Objekten mit auf einer Sohlplatte aufstehender erdberührter Außenwand war das Detail korrekt gelöst, bei einem anderen Objekt mit auskragender Erkerbodenplatte war es gar nicht planerisch bearbeitet.

Die **Bauausführung der Wärmebrücken** zwischen Kellerdecke oder Sohlplatte und **einschaligen Aussenwänden** entsprach im wesentlichen der Planung und damit den Vorgaben. Mangelhafte Lösungen wurden bei dem bereits genannten Mehrfamilienhaus realisiert, bei dem die Wärmebrückenplanung

erst nach teilweiser Fertigstellung des Rohbaus erfolgte. Hier schlossen die EG- und KG-Außenwände aus Kalksandstein direkt an die ober- und unterseitig gedämmte Beton-Kellerdecke an. Weiterhin endete bei einem Zweifamilienhaus die Außenwand-Dämmung entgegen der Planung an der Unterkante der Kellerdecke und wurde nicht weiter herabgeführt. Die korrekte Ausführung dieses Wärmebrückendetails war durchweg unproblematisch. Selbst bei fehlender, unzufriedenstellender oder fehlerhafter Planung konnte die Dämmung des oberen Bereiches der Kelleraußenwand meist noch ohne viel Aufwand montiert oder nachgebessert werden.

Die **Wärmebrücken am Anschluß zwischen Kellerdecke oder Sohlplatte und zweischaligen Außenwänden** führen selbst bei sehr guter Konstruktion zu höheren Energieverlusten als bei einschaligen Außenwänden. Dies ergibt sich aus dem zusätzlichen Wärmeabfluß aus der Kellermauerkrone, Kellerdecke oder Sohlplatte in die darauf aufstehende Vormauer aus Klinker oder anderem Verblender, die meist aus stark wärmeleitenden Steinen besteht, direkten Außenluftkontakt hat und teils sogar mit Außenluft hinterlüftet ist. (Bild 5.2-7) zeigt schematisch die an zweischaligen Außenwänden auftretenden Wärmeströme, jeweils mit nur-oberseitiger Dämmung sowie mit ober- und unterseitiger Dämmung der Kellerdecke oder Sohlplatte mit darunterliegendem Streifenfundament. Die Variante einer bis auf die Höhe der Kellerdecke reichenden Erdanschüttung und damit einer verringerten Temperaturdifferenz an diesem Detail kam im Untersuchungsgebiet bei zweischaligem Mauerwerk nicht vor, der Anschluß einer zweischaligen Außenwand an eine thermisch trennende Sohlplatte ohne darunterliegende Streifenfundamente oder Wände kam nur an einer Erkerbodenplatte vor.

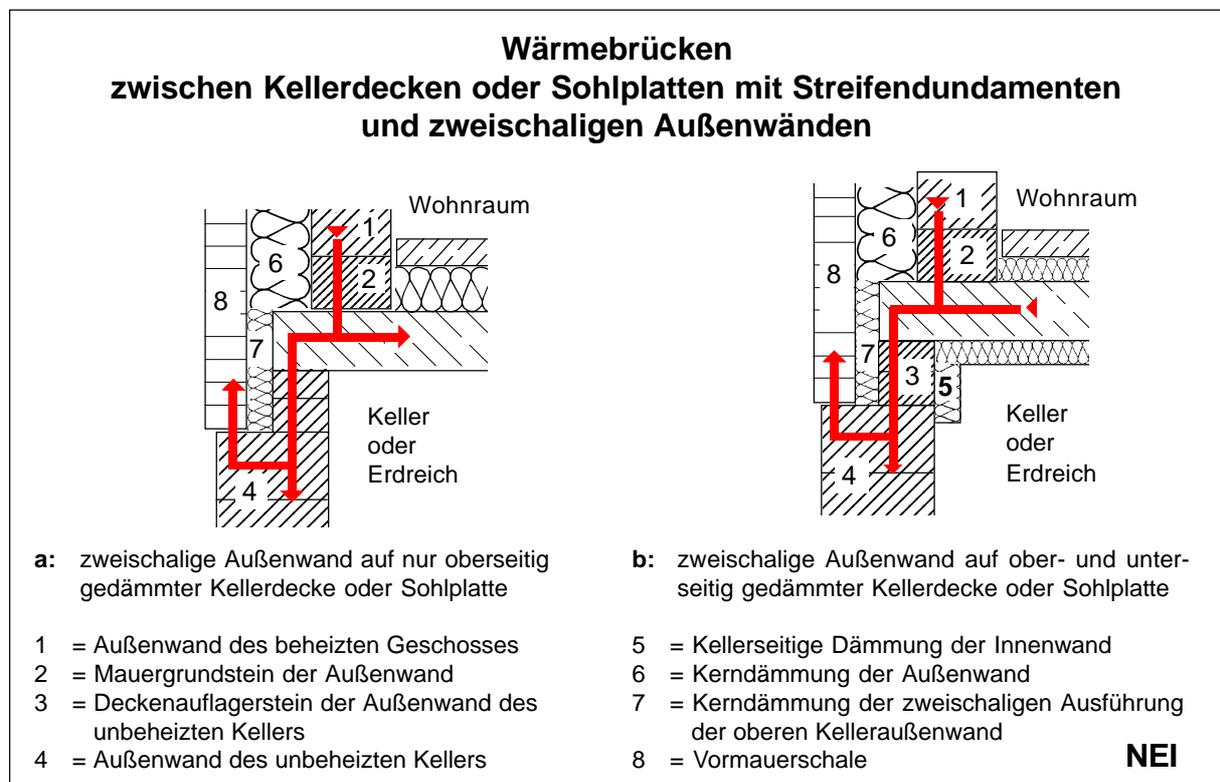


Bild 5.2- 7: Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten und zweischaligen Außenwänden.

Zur **Verringerung der Energieverluste** über die Vormauerschale sollten bei Außenwandanschlüssen an Kellerdecken oder Sohlplatten zunächst die schon bei Innenwänden in (Bild. 5.2-4) dargestellten Konstruktionsdetils realisiert werden. Zusätzlich sollte die Außenwand bereits etwa 30 cm unterhalb der Kellerdecke, also in der Krone der Kellermauer oder im oberen Bereich des Fundamentstreifens zweischalig ausgeführt und dazwischen mindestens 8 cm stark gedämmt sein. Dadurch wird der Wärmeabfluß von der Deckenstirnseite in die Vormauer stark verringert. Dieses Detail läßt sich bei $\geq 36,5$ cm starken Kellerwänden oder Fundamentstreifen relativ leicht ausführen, indem das Deckenauflager auf 17,5 cm begrenzt wird und dann noch 8 cm Breite für Kerndämmung und 11,5 cm für die Vormauer verbleiben. Bei schmalere Kellermauern oder Fundamentstreifen müssen entweder noch schmalere Deckenauflager gewählt, nach außen auskragende Auflager für die Vormauer hergestellt oder höherwertige Dämmstoffe für die Kerndämmung eingesetzt werden, die bei geringerer Schichtdicke gleiche

Dämmwirkung haben. Die Vorgaben für die Minimierung der Wärmebrücken an zweischaligen Außenwänden zu Kellerdecken oder Sohlplatten zeigt (Bild 5.2-8).

Lösungsvorgaben für Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten mit Streifenfundamenten und zweischaligen Außenwänden		
Lösungs- bewertung	Fall a. Kellerdecke oder Sohlplatte mit nur-oberseitiger Dämmung	Fall b: Kellerdecke oder Sohlplatte mit ober- und unterseitiger Dämmung
sehr gut	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Innenmauerschale (1) aus Foamglas, Stein oder wärmedämmendem Spezial- element mit $\lambda \leq 0,12 \text{ W/mK}$. <u>zusätzlich</u> oberste 30 cm der Kelleraußenwand oder des Streifenfundaments (4) in zweischaliger Ausführung mit Kern- dämmung (7).	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Innen- mauerschale (1) <u>sowie</u> Deckenaufleger (3) der unterseitigen Wand Materialien wie bei Fall a. <u>zusätzlich</u> oberste 30 cm der Kelleraußenwand oder des Streifenfundaments (4) in zweischaliger Ausführ- ung mit Kerndämmung (7).
unbefriedigend	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Innenmauerschale (1) aus nur mäßig wärmedämmendem Material mit $\lambda = 0,12 - 0,18 \text{ W/mK}$. <u>zusätzlich</u> oberste 30 cm der Kelleraußenwand oder des Streifenfundaments (4) in zweischaliger Ausführung mit Kern- dämmung (7). <u>oder</u> Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) zwar wie bei obiger sehr guter Lösung, <u>jedoch ohne</u> zweischalige und gedämmte Ausführung der Kellermauerkrone oder des Streifenfundaments (8) unter- halb der UK der Kellerdecke/Sohlplatte.	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Innen- mauerschale (1) und Deckenaufleger (3) der un- terseitigen Wand (4) aus mäßig wärme- dämmenden Material mit $\lambda = 0,12 - 0,18 \text{ W/}$ mK. <u>zusätzlich</u> oberste 30 cm der Kelleraußenwand oder des Streifenfundaments (4) in zweischaliger Ausführ- ung mit Kerndämmung (7). <u>oder</u> EG-Innenmauerschale und KG-Wand (1-4) zwar wie bei obiger sehr guter Lösung, <u>jedoch ohne</u> zweischalige und gedämmte Aus- führung der Kellermauerkrone oder des Streifen- fundamentes unterhalb der Kellerdecke bzw. der Sohlplatte
mangelhaft	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) aus gut wärmeleitendem Ma- terial mit $\lambda > 0,18 \text{ W/mK}$ <u>unabhängig von</u> der Ausführung der Kellermauerkrone bzw. der Oberkante des Fundamentstreifens.	Mauergrundstein (2) der aufstehenden Wand (1) und Deckenaufleger der Kellrdecke bzw. Sohlplatte aus gut wärmeleitendem Material mit $\lambda > 0,18 \text{ W/mK}$ <u>unabhängig von</u> der Ausführung der Keller- mauerkrone bzw. der Oberkante des Fundamentstreifens.

Bild 5.2- 8: Lösungsvorgaben für Wärmebrücken zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten mit Streifen-
fundamenten und zweischaligen Außenwänden.

In den **Detailplanungen** wurde die Wärmebrücke zwischen Kellerdecke oder Sohlplatte und zweischaligen Außenwänden bei elf von 21 Objekten (52 %) entsprechend den Vorgaben in (Bild 5.2- 8) sehr gut bearbeitet. Fast alle Planungen mußten allerdings zuvor überarbeitet werden, teilweise sogar mehrfach, um den Vorgaben zu entsprechen. Bei drei Objekten (14 %) wurden nicht zufriedenstellende Lösungen akzeptiert, hier wurde die zweischalige Ausführung des Details als zu aufwendig abgelehnt. Bei sieben Objekten (33 %) wurden keine Zeichnungen dieses Wärmebrückendetails erstellt. Hier handelt es sich in der Mehrzahl der Objekte um Fälle, bei denen die Investoren den Architekten nur mit der Genehmigungsplanung beauftragt hatten und die Ausführungsplanung dann einem Generalunternehmer übertragen oder selbst vornahmen.

Die **Bauausführung der Wärmebrücken an zweischaligen Außenwänden** am Übergang zur Keller-
decke oder Sohlplatte unterschied sich in vielen Fällen von der Planung. Wärmebrückenfrei entspre-

chend den Vorgaben in (Bild 5.2-8) wurden nur acht Objekte (38 %) realisiert. Für zwei dieser Objekte hatte gar keine Planung des Details vorgelegen, die Investoren hatten den Anschluß der Klinkerschale nach Empfehlung des NEI korrekt gebaut. Unbefriedigende Lösungen wurden bei zehn Objekten (48 %) realisiert. Bei neun dieser Objekte endete die Zweischaligkeit bereits auf Höhe der Unterkante der Kellerdecke, bei einem Objekt wurde eine zu geringe Dämmung im unteren Bereich zwischen beiden Mauer-schichten realisiert. Für fünf dieser Objekte war eine sehr gute Planung mit gedämmter Zweischaligkeit bis mindestens drei Steinreihen unter die Kellerdecke vorgelegt worden, die aber nicht realisiert wurde. Mangelhafte Lösungen gab es in drei Fällen. Trotz intensiver Beratung blieb bei diesen Objekten die Stirnseite der Kellerdecke komplett ohne Dämmelage. Bei zwei dieser Objekte war die Kellerdecke sogar ober- und unterseitig gedämmt, so daß hier erhöhte Verluste aus der "lauwarmen" Decke über die unvermeidenden Wärmebrücken nach außen zu erwarten sind.

Insgesamt stieß diese **doppelte Anforderung** an die Wärmebrücken-Verringerung,

- daß erstens unter allen aufstehenden Außenwänden eine Sondersteinreihe aus gut dämmenden Steinen den Wärmeabfluß aus den Außenwänden in die Decken verringern sollte und
 - daß zweitens eine zweischalige Ausführung der Kellermauerkrone den Wärmeabfluß aus der Kellerdecke bzw. Sohlplatte über deren Auflagerpunkt nach außen verringern sollte,
- meist auf Unverständnis. Daß die Realisierung nur einer dieser Maßnahmen zu erhöhten Verlusten und zu niedrigeren Oberflächentemperaturen im unteren Bereich der EG-Wände führt, war schwer vermittelbar.

Die **Planung und Herstellung** wärmebrückenarmer Anschlüsse zwischen Kellerdecken oder Sohlplatten und **zweischaligen Außenwänden** war insgesamt **deutlich fehleranfälliger als bei einschaligen Außenwänden** mit Wärmedämmverbundsystem. Besonders am Detail des Klinkerauflagers hatten viele Planer Probleme mit dem bei NEH für die Wärmedämmung erforderlichen ca. 15 cm großen Abstand zwischen innerer Mauer-schale und Vormauer. Bei fünf Objekten mußte nachträglich das Klinkerauflager verbreitert werden, um den für die Dämmung notwendigen Schalenabstand zu erhalten.

Folgende Bilder zeigen ausgewählte Ausführungs-details der Vermeidung von Wärmebrücken an Kellerdecken und Sohlplatten:



Bild 5.2- 9: Thermische Trennung der auf einer kalten Kellerdecke aufstehenden Innenmauerschale durch ein Spezialbauteil (Schöck "Isomur").



Bild 5.2- 10: Thermische Trennung der auf einer kalten Kellerdecke aufstehenden EG-Mauern durch unterste Steinreihe aus wenig wärmeleitendem Porenbeton ($\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$).



Bild 5.2- 11: Schalungshalter mit integrierter Stirnseitendämmung für Beton-Kellerdecke.



Bild 5.2- 12: Sonderschalung für zweischalige Beton-Kellermauerkrone mit Kerndämmung.



Bild 5.2- 13: Randaufmauerung aus Porenbeton als thermisch trennende Seitenschalung der kalten Kellerdecke im warmen Treppenhaus.



Bild 5.2- 14: Zweischalig ausgebildete Kellermauerkrone mit Steinwolle-Kerndämmung der oberen 30 cm.



Bild 5.2- 15: Zweischalig ausgebildete Kellermauerkrone mit PS-Kerndämmung der oberen 20 cm.



Bild 5.2- 16: Zweischalig ausgebildete Kellermauerkrone mit PS-Kerndämmung bis 60 cm unter Kellerdecke.



Bild 5.2- 17: Abgetreppte Kellermauerkrone für abgestufte Außendämmung mit wärmedämmendem Mauergrundstein unter EG-AW.



Bild 5.2- 18: Abgestufte Dämmung der EG-AW und KE-AW auf abgetrepter Kellermauerkrone.



Bild 5.2- 19: Thermische Trennung zwischen Kellerdecke unter Wohnung bzw. unter Wintergarten.

Bild 5.2- 20: Unbefriedigende thermische Trennung zwischen Kellermauerkrone und Kellerdecke durch Deckenaufleger aus einer Lage Hochlochziegel (1 vertikal ca 0,36 W/mK) bei geplanter teils ober- und teils unterseitiger Deckendämmung



5.3. Wärmebrücken an Treppen

Wärmebrücken zwischen Treppen und angrenzenden Bauteilen können entstehen, wenn

- unterschiedliche Temperaturen in Treppenhäusern und angrenzenden Räumen bestehen,
- Treppenläufe oder Treppenpodeste aus gut wärmeleitendem Material wie Beton hergestellt sind und
- die Treppenbauteile an ihren Auflagern oder seitlichen Anschlüssen thermische Trennschichten durchstoßen bzw. direkt an anders temperierte Bauteile anschließen.

(Bild 5.3-1) und (Bild 5.3-2) auf der folgenden Seite zeigen solche Wärmebrücken an Treppen und jeweilige Lösungsvorgaben.

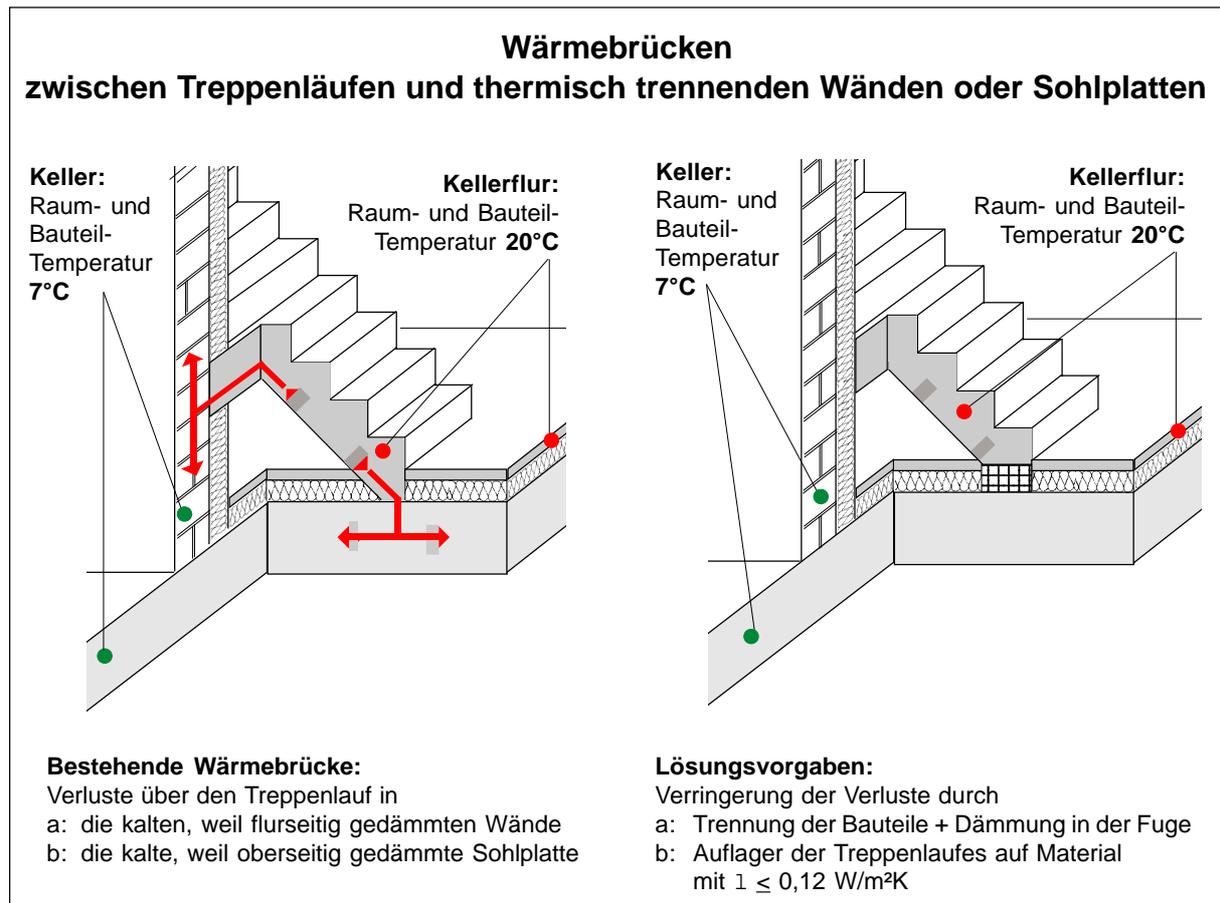


Bild 5.3- 1: Wärmebrücken an Treppenläufen und Vorgaben zu deren Vermeidung.

Bereiche **unterschiedlicher Temperaturen zwischen Treppenhäusern und angrenzenden Räumen** als erster Ursache für Wärmebrücken an Treppen gibt es im Untersuchungsgebiet in den meisten Gebäuden. So haben 16 EFH beheizte zum EG hin luftoffene Kellertreppenabgänge, die seitlich an unbeheizte Kellerräume und unterseitig an eine kalte, nur oberseitig gedämmte Sohlplatte angrenzen. In sechs MFH gibt es umgekehrte Temperaturdifferenzen, indem hier unbeheizte Treppenhäuser an beheizten Wohnraum grenzen. Die nach Detmolder NEH-Standard anzunehmende Temperaturdifferenz zwischen beheizten Treppenhäusern (+20°C) und Kellern (+7°C) bzw. zwischen beheizten Räumen (+20°C) und unbeheizten, aber zur Außenluft hin abgeschlossenen Treppenhäusern (+7°C) beträgt jeweils 13 Kelvin. Nur in vier MFH gibt es keine Temperaturdifferenzen zwischen Treppenhäusern und Wohnungen und infolgedessen auch keine Wärmebrücken an Treppen, da hier die Treppenhäuser beheizt sind und warme Treppen an warme Wohnungstrennwände und -decken grenzen. Außenluftverbundene Treppenhäuser, an deren Anschlüssen zu beheizten Räumen 32 Kelvin Temperaturdifferenz zwischen Außentemperatur (-12°C) und Raumtemperatur (+20°C) anzunehmen wären, kommen im Untersuchungsgebiet nicht vor.

Gut wärmeleitende Materialien der Treppen und angrenzenden Massivbauteile als zweite Ursache für mögliche Wärmebrücken sind ebenfalls in fast jedem Gebäude vorhanden. So sind die meisten

Treppen und Treppenpodeste der untersuchten NEH entweder aus Ortbeton gegossen oder Fertigbetontreppen. In drei Fällen wurden Stahltreppenläufe mit Holzstufen eingebaut, bei denen nur an den punktuellen Auflagern Wärmebrücken bestehen. Auch die überwiegende Mehrzahl der in EFH an Kellertreppen angrenzenden Kellerwände sowie alle in MFH an Treppenhäuser angrenzenden Wohnungstrennwände sind aus statischen und Schallschutz-Gründen aus schwerem und gut wärmeleitendem Mauerwerk (meist aus KS) hergestellt. Bis auf ein EFH mit Porenbeton-Kellerdecke sind auch alle an Treppenhäuser angrenzenden Sohlplatten oder Etagendecken aus Ortbeton.

Die hohe Wärmeleitfähigkeit der Treppen-, Decken- und Wandbaumaterialien muß dabei im Verhältnis zur **Wärmedämmung der ungestörten thermischen Trennflächen** zwischen Treppenhäusern und angrenzenden, anders temperierten Räumen beurteilt werden. Der Detmolder NEH-Standard verlangt von allen thermischen Trennflächen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen einen k-Wert von $\leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$, der bei KS-Mauerwerk oder Betondecken eine zusätzliche Dämmschicht von 10-12 cm bei Dämmstoffen der WLG 040 erfordert (vgl. Kapitel 4.1, 4.2 und 4.5). Die Wärmebrücken an den Treppen der untersuchten NEH sind insofern nicht nur im Verhältnis zu sonst häufigen reinen KS-Wohnungstrennwänden mit k-Werten von 1,2 - 1,8 $\text{W/m}^2\text{K}$ zu bewerten, sondern gegenüber Wänden und Decken mit einem um **75 bis 84 Prozent niedrigeren** Wärmedurchgang in der ungestörten Fläche.

Die **Lage der thermischen Trennschichten** zwischen den Treppenläufen oder Podesten und den angrenzenden anders temperierten Bauteilen, deren Durchdringung dritte Ursache für Wärmebrücken an Treppenbauteilen ist, ist bei den untersuchten NEH unterschiedlich. Systematisch ist dabei zwischen den unteren Treppenauflagern, den seitlichen Anschlüssen der Treppenläufe an Wände und den Anschlüssen der Treppenpodeste an Etagendecken zu unterscheiden.

Am unteren Auflager von Beton-Treppenläufen auf Sohlplatten oder Decken entstehen Wärmebrücken, wenn die Decken oberseitig gedämmt sind und die Treppenläufe direkt auf die Sohlplatten oder Decken gestellt oder gegossen werden und dabei die oberseitige Dämmschicht durchdringen (vgl. Bild 5-3.1). Diese Wärmebrücke kann erheblich reduziert werden, wenn auf der Sohlplatte auf ein wärmedämmendes Auflager eingebaut wird, z.B. ein Porenbeton-Stein, ein Schaumglas-Streifen oder ein "Isomur"-Stein, wie in der rechten Hälfte von (Bild 5.3-1) skizziert und in (Bild 5.3-3) gezeigt. Solche oder andere gleich wirksame Lösungen entsprachen der Vorgabe.

Am seitlichen Anschluß von Beton-Treppenläufen an Wände kann es Wärmebrücken geben, wenn diese Wände treppenhauseitig gedämmt sind, also selbst andere Temperaturen haben als das Treppenhaus und die Treppenläufe und wenn die Treppenläufe ohne wärmedämmende Zwischenlage direkt an solche Wände angegossen oder angelegt werden, so daß die Wanddämmung hier unterbrochen ist. Treppenhauseitige Dämmungen der Treppenhaus-Wände wurden bei einigen EFH und bei allen MFH mit unbeheizten Treppenhäusern im Untersuchungsgebiet realisiert. Bei einigen anderen EFH wurden Trennwände zwischen warmem Treppenhaus und kaltem Keller aus 36,5 cm starken Porenbeton mit sehr geringer Wärmeleitfähigkeit ($0,12 \text{ W/mK}$) hergestellt, womit ebenfalls ein k-Wert von $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht wird. Hier gibt es wegen der starken Eigendämmung der Wand selbst bei direktem Anschluß des Treppenlaufs keine Wärmebrücke. Ebenfalls keine Wärmebrückenprobleme am Wandanschluß der Treppenläufe gab es bei wenigen weiteren EFH, bei denen die Trennwände zwischen warmem Kellertreppenhaus und kaltem Keller kellerseitig gedämmt sind, da hier Treppe und Trennwand gleich warm sind. In diesen EFH entstanden aber teils starke Wärmebrücken am Anschluß an die oberseitig gedämmte Sohlplatte und am Anschluß von weiteren Kellerwänden an die kellerseitig gedämmte Treppenhauswand, weil dort die Dämmung unterbrochen wurde.

Zur Vermeidung bzw. Verringerung der Wärmebrücke zwischen Treppenläufen und treppenhauseitig gedämmten Wänden wurde vorgegeben, daß Treppenläufe hier nicht direkt bis an die Wände angegossen oder angelegt werden dürfen, sondern zwischen diesen Bauteilen eine Fuge von mindestens 6 cm Breite gelassen und mit Dämmstoff gefüllt werden muß. Dieses Detail ist in (Bild 5.3-1) skizziert; ausgeführte Beispiele sind in (Bildern 5.3-4 und 5.3-5) dokumentiert.

Am **horizontalen Anschluß zwischen Treppen-Podesten und warmen Decken** unter oder über beheizten Wohnungen kann es starke Wärmebrücken geben, wenn zwischen den Stirnseiten der Podestplatten und den Wohnungsdecken keine thermische Trennung erfolgt oder die Decken sogar durchgegossen sind (vgl. Bild 5.3-2). Zur Verringerung solcher Wärmebrücken, die vor allem in MFH-Treppenhäusern vorkommen, wurde vorgegeben, daß die Treppenläufe und Podeste nicht bis an anders temperierte thermisch trennende Wände zu den Wohnräumen oder bis an warme Decken heran gegossen werden dürfen. Vielmehr sollen sie entweder mit Isokörben angebunden oder nur punktuell aufgelagert

werden (vgl. Bild 5.3-8). Zwischen den Podesten und den Wänden sollen ansonsten ausreichende Fugen gelassen werden, durch die die treppenhausseitige Dämmung der Wohnungstrennwände möglichst in voller Stärke hindurchgeführt wird. Da es bei MFH aus Schallschutzgründen meist ohnehin notwendig ist, Podeste und Geschoßdecken voneinander zu trennen, mußte hierzu theoretisch nur die ohnehin vorzusehende Fuge zwischen diesen Bauteilen größer bemessen werden. Als weitere Konstruktionsalternative wurde eine komplett zweischalige Ausführung der Treppenhauswände mit Kerndämmung empfohlen, bei der die Podeste nur auf der treppenhausseitigen Mauerschale aufliegen. Diese Variante hätte eine komplette schall- und wärmetechnische Trennung ermöglicht, wurde aber wegen der höheren Kosten und des stärkeren Wandaufbaus in keinem Fall eingeplant.

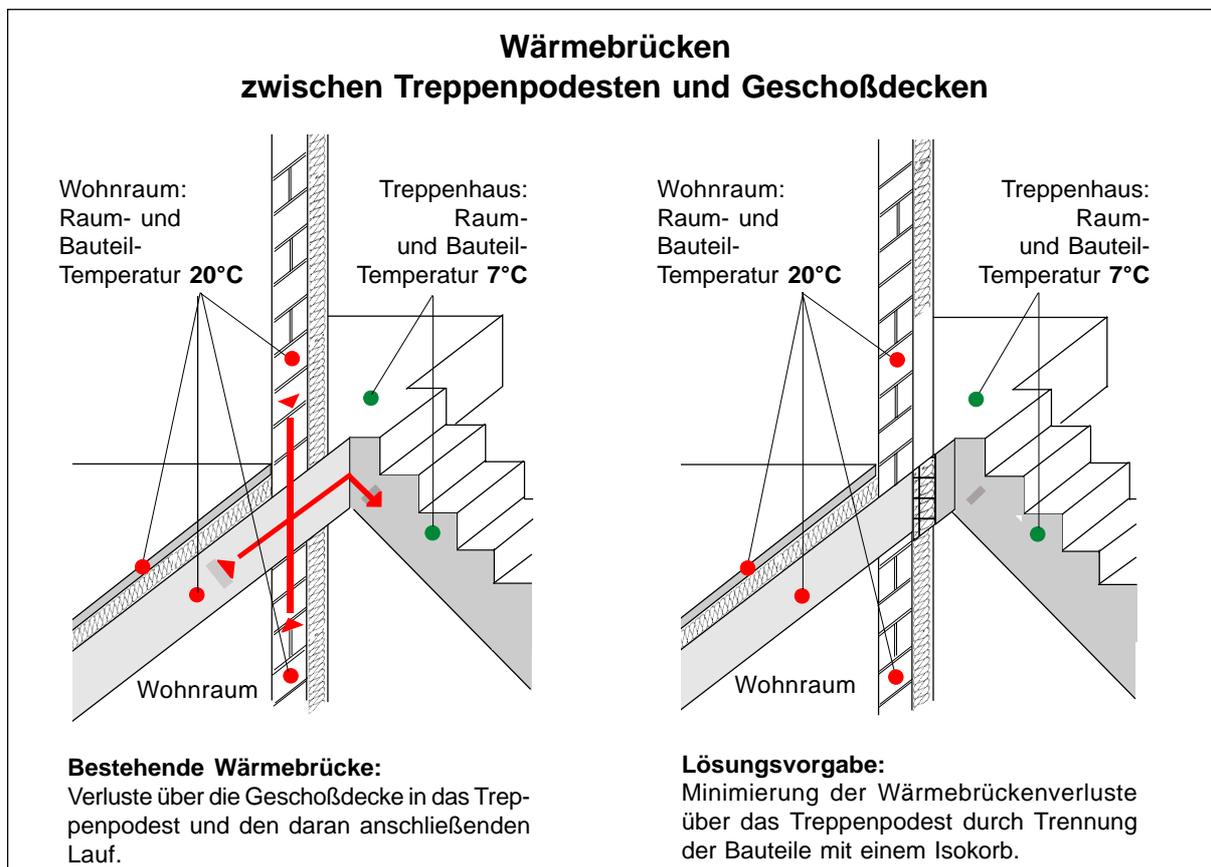


Bild 5.3- 2: Wärmebrücken an Treppenpodesten und Vorgabe zu deren Vermeidung.

Trotz dieser relativ klaren Vorgaben enthielten die **vorgelegten Gebäudeplanungen** für die Wärmebrücken an Treppen nur selten Detaillösungen. Ein wärmebrückenarmer Anschluß zwischen warmem Treppenlauf und kalter Sohlplatte wurde bei keinem der 16 EFH und der zwei MFH geplant, bei denen es vorkommt. Ein wärmebrückenarmer Anschluß zwischen Treppenläufen und treppenhausseitig gedämmten Wänden wurde nur für zwei von 18 Objekten (11 %) entsprechend den Vorgaben geplant. Bei einem dieser zwei Objekte war die thermische Trennung der Treppe aber nur ein Nebeneffekt ihrer gut geplanten Schalltrennung. Der wärmebrückenarme Anschluß des Treppenpodestes an die Geschoßdecke wurde nur für zwei von sechs MFH (33 %) planerisch bearbeitet. Bei allen anderen Objekte fehlten Wärmebrücken-Detailplanungen für Treppenanschlüsse vollständig. In vielen Fällen bemühten sich die Planer oder Investoren aber noch nach Baubeginn oder während der Rohbauerstellung aufgrund von Mängelhinweisen des NEI, absehbare Wärmebrücken an Treppen zu verringern.

In der Bauausführung wurde ein wärmebrückenarmer Anschluß des Treppenlaufes an die Sohlplatte immerhin bei zwei der 16 EFH (12,5 %) und bei beiden MFH, in denen er vorkommt, korrekt realisiert. Ein wärmebrückenarmer Anschluß zwischen Treppenlauf und treppenhausseitig gedämmter Wohnungs- oder Kellerwand wurde bei elf von 18 Objekten (61 %) den Vorgaben in (Bild 5.3-1) entsprechend ausgeführt, und zwar bei sieben von zwölf EFH (58 %) und bei vier von sechs MFH (66 %). Nur unbefriedigende Lösungen mit hilfswisen Dämmungen auf der Keller- oder Wohnungsseite der Treppenhauswände oder großen Wärmebrücken an Wänden, die von warmen in kalte Bereiche durchlaufen, wurden bei fünf EFH realisiert. Hier fehlte teils wegen zu später Planung der Platz für die treppenhausseitige

Dämmung oder/und die Treppe war bereits vor entsprechendem Hinweis an die Wand gegossen worden, so daß eine nicht mehr behebbare Wärmebrücke entstanden war. Ein wärmebrückenarmer Anschluß der Treppenpodeste an die Geschoßdecken erfolgte nur bei drei der sechs MFH (50 %) so wie in (Bild 5.3-2) beschrieben. Bei einem MFH, das zu großen Teilen von den Investoren in Eigenleistung gebaut wurde, hatte jegliche diesbezügliche Detailplanung gefehlt. Bei dem anderen MFH sollte eine thermische Trennung dadurch erreicht werden, daß auf die Treppenpodeste im unbeheizten Treppenhaus die gleiche (auch wärmedämmende) Trittschalldämmung aufgebracht wird wie in den angrenzenden Wohnungen. Da die Podeste im Treppenhaus aber unterseitig ungedämmt bleiben, haben sie tatsächlich doch nur Treppenhaustemperatur und die Wärmebrücke bleibt in vollem Umfang erhalten.

Erschwerend für die Planung von Wärmebrückendetails an Treppenläufen und Podesten war bei mehreren EFH und MFH, daß die Stärke und Lage der Wärmedämmung der umfassenden Bauteile nicht rechtzeitig, d.h. vor der Festlegung der Rohbaumaße und vor den statischen Konstruktionsentscheidungen für die Treppe festgelegt wurde. In einigen Gebäuden war der Keller schon fertiggestellt und die Kellertreppe bis direkt an alle angrenzenden Wände gegossen, bevor feststand, ob diese Wände und welche Teile der Decken thermisch trennend sein sollen und auf welchen Seiten jeweils die Wärmedämmung liegen soll. Vielfach wurde auch noch während der Bauzeit die Notwendigkeit der Wärmedämmung der Treppenhauswände angezweifelt und in mehreren Fällen wurde vermutlich sogar abgewartet, ob die Ausführung der Dämmung dieser Wände, durch die der direkte Wandanschluß der Treppe erst zu einer relevanten Wärmebrücke werden würde, auch wirklich eingefordert wird. Die dann nachträglich nur noch kellerseitig realisierbare Dämmung der Treppenhauswände war aus den oben genannten Gründen dann aber auch unzufriedenstellend. Bei den untersuchten MFH wurde die Notwendigkeit der Dämmung der Treppenhauswände leichter akzeptiert. Die Festlegung der Dämmstärke erfolgte aber mehrfach auch erst zu spät, so daß z.B. die Fuge zwischen Wand und Treppenlauf zu schmal ausfiel und dadurch die thermische Trennung suboptimal war und die Montage der zwei verschiedenen Dämmstoffstärken Mehraufwand bei der Anarbeitung längs der Treppenläufe mit sich brachte

Die folgenden Bilder zeigen Details der Wärmebrückenvermeidung an Treppen:



Bild 5.3- 3: Wärmedämmender Porenbeton-Stein als Auflager zwischen warmem Kellertreppenlauf und kalter Sohlplatte.



Bild 5.3- 4: 6 cm Fuge für nachträgliches Einbringen von Wärmedämmung zwischen warmer Kellertreppe und kalter (später treppenhausseitig gedämmter) Kellerwand.



Bild 5.3- 5: Bereits vor dem Gießen der Treppe eingelegte Hartschaumplatten zwischen warmem Treppenlauf und später kalter (treppenhausseitig gedämmter) Kellerwand.

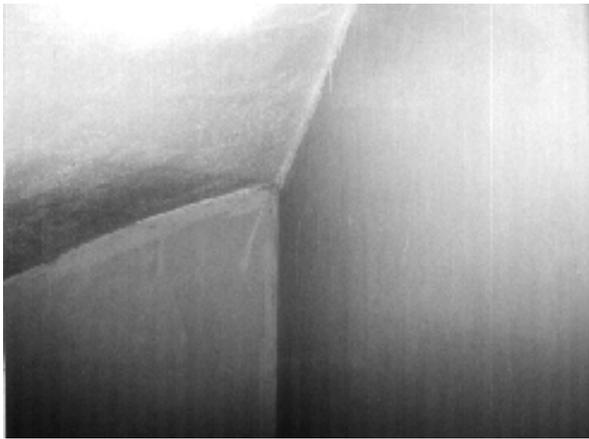


Bild 5.3- 6: Ansicht der Innenecke eines Treppenhauses mit direkt an die treppenhausseitig gedämmte Treppenhauswand gegossener Treppe zwischen EG und OG, hier von unten sichtbar. Die Wärmebrücke ist in (Bild 5.3-7) in der Thermographie erkennbar.

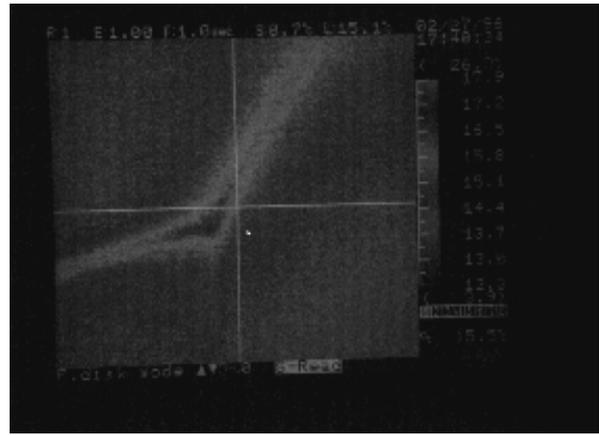


Bild 5.3- 7: Thermographische Ansicht von Bild 5.3-6. Die infolge der Wärmebrücke erhöhte Temperatur am direkten Anschluß des Treppenlaufs an die sonst gedämmte Wand ist hell erkennbar.



Bild 5.3- 8: Wärmebrückenarme Verbindung zwischen kaltem Treppenpodest und warmer Geschoßdecke durch Treppenpodest mit Isokorb.

5.4 Wärmebrücken an Balkonen, Podesten und auskragenden Decken

Am Anschluß von Balkonen, Podesten und auskragenden Decken an Sohlplatten, Kellerdecken und Decken zwischen beheizten Geschossen können starke Wärmebrücken entstehen. Besonders hoch ist der Wärmeabfluß

- wenn beide Bauteile aus gut wärmeleitendem Material wie z.B. Beton oder Stahl bestehen
- wenn der Bauteilanschluß große Querschnitte hat, weil er statische Kräfte übertragen muß und
- wenn zwischen beiden Bauteilen eine große Temperaturdifferenz ansteht, wie dies z.B. zwischen außenluftumspülten Balkonplatten und inneren Decken zwischen beheizten Räumen der Fall ist.

(Bild 5.4- 1) zeigt die Lage solcher Wärmebrücken im Gebäudeschnitt.

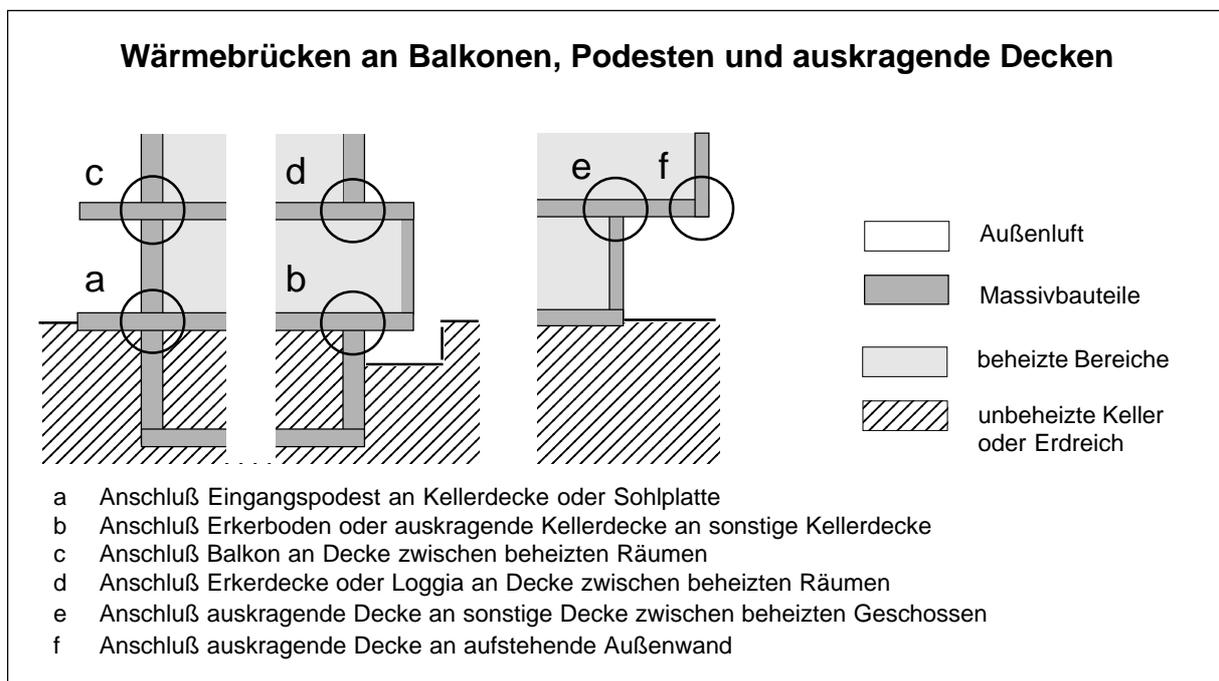


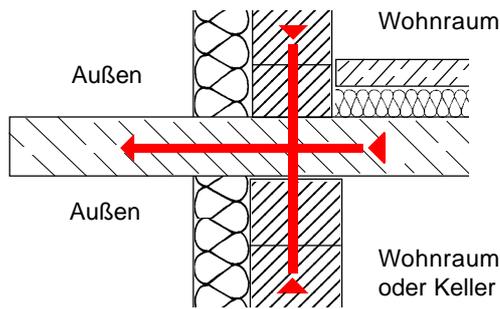
Bild 5.4- 1: Wärmebrücken an Balkonen, Podesten und auskragende Decken.

Beispiele der an diesen Anschlüssen auftretenden Wärmeströme und **prinzipielle Möglichkeiten zur deren Verringerung oder Vermeidung** zeigt (Bild 5.4-2). In Teilbild (a) ist die klassische Wärmebrücke der von innen nach außen durchgegossenen Balkonplatte dargestellt. Teilbild (b) zeigt die konventionelle Lösung mit einem isolierenden Verbindungselement (Isokorb), das zwar die Betonkörper voneinander trennt, dessen durchgehende Edelstahlstreben aber durchaus noch Wärmebrücken darstellen. Teilbild (c) zeigt eine punktuelle Balkonaufhängung am Gebäude, die nur in Verbindung mit einer zusätzlichen äußerer Abstützung des Balkons möglich ist und Teilbild (d) zeigt ein komplett thermisch getrenntes separates Auflager des äußeren Bauteils am Beispiel eines Treppenpodests.

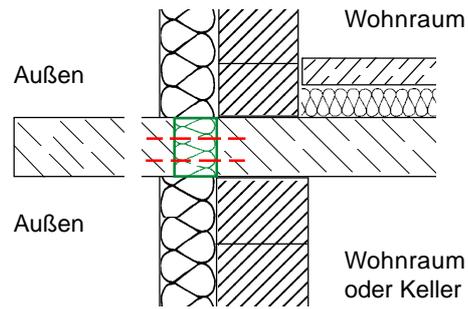
Bei allen untersuchten Gebäuden kam mindestens eines der in (Bild 5.4-1) gezeigten wärmebrückenrelevanten Details vor. Die hierbei möglichen Wärmebrücken wurden in der Planung und Bauausführung unterschiedlich erkannt und reduziert.

Balkone kamen insgesamt an zwei EFH und allen elf MFH vor. Wärmebrückenarme oder -freie Planungen der Balkonanbindung mit Isokörben, nur-punktuellem Auflager oder separater Aufständigung wurden für keines der EFH, jedoch für sieben der elf MFH (64 %) vorgelegt. In der späteren Bauausführung wurde das Balkondetail immerhin bei einem der zwei EFH richtig gelöst, beim anderen wurde die Betondecke durchgegossen. Bei diesem EFH wurde als nachträglicher Lösungsversuch ein bautechnisch mangelhafter und risikobehafteter Eigenbau-Isokorb realisiert, indem über die Trennfuge hinweg normale Stahlarmierung verlegt wurde, jedoch von Hand Polystyrolklötze in den Beton eingelegt wurden.

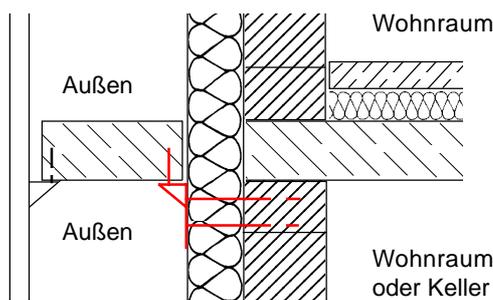
Lösungsmöglichkeiten für Wärmebrücken an Balkonen, Podesten und auskragenden Decken



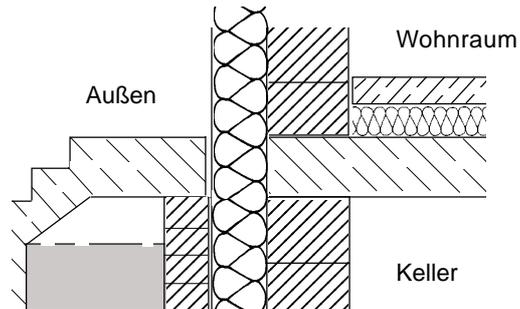
(a)
Wärmebrücke zwischen innerer Geschoßdecke und auskragender Balkon- oder Podestplatte. Wärme fließt aus der Raumluft über die Wände oder direkt in die Decke und längs der Decke nach außen ab.



(b)
Ein Isokorb ist heute die Standardlösung für solche Anschlüsse. Die Betonplatte ist auf voller Kantenlänge 6-8 cm breit durch einen Streifen Hartschaum-Dämmstoff (grün) unterbrochen; alle statischen Kräfte werden von durchgehenden Edelstahl-Zug- und Druckstreben (rot) übertragen, die selbst allerdings auch Wärmebrücken darstellen.



(c)
 Ein **nur punktueller Auflager** von Balkon- oder Podestplatten an der Hausseite auf Stahlkonsolen und eine zusätzliche Abstützung auf frei vor dem Gebäude aufgestellten Stützen kann die thermisch durchgehenden Metallquerschnitte von Balkon-aufhängungen gegenüber einem Isokorb noch als erheblich verringern.



(d)
 Eine **komplett getrennte Konstruktion** mit separatem Auflager des Podests (Bild) oder Balkons ist eine wärmebrückenfreie Lösung. Hierbei ist auch ein problemloser Übergang der Außenwand in die Perimeterdämmung möglich.

Bild 5.4- 2: Wärmebrücken zwischen Balkonen oder Podesten und Kellerdecken, Sohlplatten oder Decken zwischen beheizten Geschossen.

Hier ist zu befürchten, daß durch den Sauerstoffeintrag rund um das Polystyrol die blanke Eisenarmierung im Lauf der Zeit rosten und der Balkon irgendwann abbrechen wird. Die Bauleute wurden auf den Mangel und das Risiko hingewiesen und ihnen wurde empfohlen, den Balkon vorsorglich wieder abzusägen, was sie aber bisher unterließen. Bei den MFH wurde das Balkondetail an zehn von elf Objekten (91 %) zufriedenstellend gelöst. In acht Fällen wurden Isokörbe eingebaut, in zwei Fällen wurden die Balkone nur punktuell aufgelagert und zusätzlich außen abgestützt und in einem Falle wurden die Balkone frei vorgestellt. In einem MFH ohne vorher geprüfte Detailplanung war der erste Balkon bereits durchgegossen, bevor der Fehler auffiel und bemängelt werden konnte, nach entsprechender Bemängelung wurden die weiteren Balkone dann mit Isokorb gebaut.

Eingangspodeste, die direkt an Kellerdecken anschließen, kommen im Untersuchungsgebiet an 15 EFH und einem MFH vor. Eine wärmebrückenarme Planung wurde nur für eines der Einfamilienhäuser

und für das MFH (jeweils mit Isokorb) vorgelegt, für alle anderen EFH (93 %) dagegen nicht und es wären ohne Bemängelung bzw. Beratung vermutlich alle anderen EFH-Podeste als durchgegossene Auskragungen der Kellerdecke hergestellt worden. In der späteren Bauausführung wurde dieses Detail immerhin an neun EFH (60 %) und dem einen MFH richtig gelöst, wobei in sieben Fällen Isokörbe eingesetzt wurden und drei Eingangspodeste auf eigene Fundamente gestellt und dadurch vom warmen Baukörper völlig getrennt wurden. Bei sechs EFH (40 %) wurde das Eingangspodest als thermisch ungetrennte Decke mit voller Wärmebrückenwirkung hergestellt.

Durch **Montagefehler** wurde bei drei EFH der positive Effekt einer grundsätzlich wärmebrückenarmen oder -freien Anbindung des Eingangspodests mit Isokorb nachher wieder verringert. Bei einem EFH wurde zu wenig Dämmung in der Anschlußfuge des Isokorbs eingebaut. Bei einem zweiten wurde der Isokorb falsch plaziert, so daß er weit außerhalb der Flucht der Außenwand-Dämmung liegt und die Außenkante der warmen Kellerdecke innenseitig des Isokorbs bereits in der kalten Außenluft liegt. Beim dritten EFH wurde über den korrekt eingebauten Isokorb der 6 cm starke Estrich von innen nach außen durchgegossen. Dadurch entstanden entweder am Rand, am Seitenanschluß oder oberhalb des Isokorbs neue starke Wärmebrücken. Auch bei den drei Objekten mit vorgestelltem Podest war nach Fertigstellung nicht mehr sicher verifizierbar, ob die Dämmung zwischen Außenwand und dem davorstehenden Podestfundament fugenfrei verlegt ist oder ob der Vorteil der vermiedenen Podest-Wärmebrücke durch eine größere Fehlstelle der Außendämmung hinter dem Podest kompensiert wird.

Luftunterspülte Erkerbodenplatten, die aus der Kellerdecke auskragen (Detail (b) in Bild 5.4-1) gibt es an sechs EFH im Untersuchungsgebiet. Solche auskragenden Deckenstücke bilden am Anschluß an die Kellerdecke Wärmebrücken, wenn sie an eine anders temperierte Kellerdecke oder Sohlplatte anschließen und luftunterspült sowie nicht unterseitig zur Außenluft hin wärmegeklärt sind.

Bei den untersuchten Objekten waren zunächst keine solche kalten luftunterspülten Erkerbodenplatten geplant, sondern entweder unterseitig erdberührende oder unterseitig wärmegeklärt ausgeführt. Die Herstellung der erdberührend geplanten Platten erfolgte aber tatsächlich nicht durch Ortbeton-Guß direkt auf das Erdreich oder eine Sauberkeitsschicht, sondern als über die Kellermauer auskragende Fertigdecken. Diese Decken haben praktisch keine Erdberührung, da das Erdreich unter ihnen zunächst für den Kellerbau abgegraben und vor ihrer Verlegung auch nicht wieder angeschüttet worden war. Die vollflächige Erd-Unterfüllung hätte also nachträglich erfolgen sollen, was aber meist unterblieb oder nur teilweise erfolgte, so daß eine Luftunterspülung erhalten blieb. Auch die mit unterseitiger Dämmung geplanten Platten wurden überwiegend mangelhaft ausgeführt, da es vielfach baupraktisch nicht gelang, die unterseitige Dämmung nachträglich einwandfrei zu montieren. Insofern waren die meisten dieser Platten tatsächlich unterseitig wesentlich kälter als geplant und die ursprünglich nicht sehr relevante Wärmebrücke an ihrem Anschluß an die Kellerdecke bekam stärkere Bedeutung. Die bei einigen Objekten eingebauten Isokörbe an ihrem Anschluß an die Kellerdecke, die bei einwandfreier Ausführung gar keine Funktion gehabt hätten, erhielten dadurch wieder einen Nutzen.

Weitere Wärmebrücken an Erkerbodenplatten gab es in einem EFH am Auflager der kalten Klinkerschale des Erkers auf dessen "lauwarmer", weil teilweise unterseitig gedämmt Bodenplatte (vgl. hierzu Kap. 5.2). In einem anderen EFH wurde die Wärmebrücke am Erker-Klinkerauflager dagegen stark verringert, indem rund um die Erkerbodenplatte ein mit Isokorb angebundener Betonrandstreifen als Klinkerauflager montiert wurde (siehe Skizze und Foto in Bildern 5.4-3 und 5.4-13).

Auskragende **Erkerdecken oder Loggiaböden** über beheizten Räumen mit oberseitigem Außenluftkontakt (Beispiel (d) in Bild 5.4-1) kamen bei neun NEH im Untersuchungsgebiet vor. Da solche Decken gegen Außenluft einen k-Wert von 0,15 W/m²K erreichen mußten, benötigten sie einen sehr hohen Dämmstoffaufbau. Da aus gestalterischen Gründen bei keinem Objekt eine Höhenstufe an der Deckenunteransicht gewünscht war, erfolgte ihre Dämmung in allen Fällen nur oberseitig. Insofern waren diese Decken selbst "warm" und an ihrem Anschluß an die ebenfalls warme Geschoßdecke entstand keine Wärmebrücke. In zwei EFH und einem MFH wurden diese Deckenanschlüsse trotzdem unnötigerweise mit Isokörben ausgerüstet.

Wärmebrücken an solchen massiven Erkerdecken oder Loggiaböden entstanden allerdings an sieben NEH mit zweischaligen Außenwänden **am Auflagerpunkt des kalten Klinkers** auf diese warmen Decken, da hier das Klinkerauflager in allen Fällen die oberseitige Dämmschicht der Decken durchdringt. (Bild 5.4-3) zeigt dieses Detail. Bei vier NEH gab es gute Detaillösungen dieser Wärmebrücke. Bei ihnen ist der aufstehende Klinker auf eine unterste Reihe thermischer Trennsteine aufgestellt, die nur

Lösungsmöglichkeiten für Wärmebrücken zwischen auskragenden Decken und Vormauerschalen

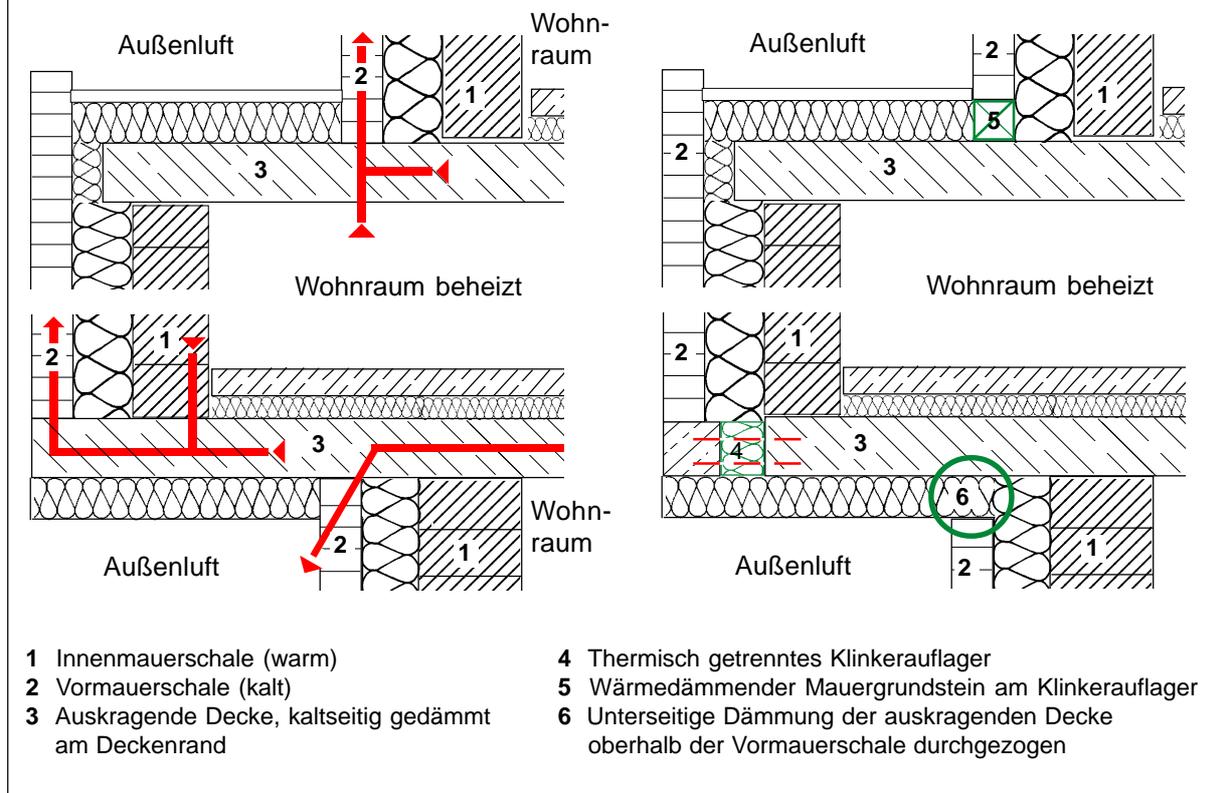


Bild 5.4- 3: Lösungsmöglichkeiten für Wärmebrücken zwischen auskragenden Decken und Vormauerschalen.

etwa 1/6 der Wärmeleitfähigkeit von Klinker haben. In zwei Fällen wurden hierfür leichte Porenbeton-Steine, in zwei anderen Fällen Isomur-Elemente verwendet. In zwei EFH und einem MFH mit aufstehendem zweischaligem Mauerwerk auf solchen auskragenden Decken steht der Klinker dagegen direkt auf der kalten Decke auf und bildet auf seiner gesamten Auflagerlänge eine starke Wärmebrücke.

Auskragende Decken über Luft unter beheizten Räumen (Detail (e) in Bild 5.4-1) kommen im Untersuchungsgebiet in vier Objekten (3 EFH, 1 MFH) vor. Ein EFH und ein MFH haben einschalige Außenwände mit Außendämmung durch Wärmedämmverbundsystem, welches an solchen Anschlüssen auch unterseitig der Decken montiert und damit nahtlos und wärmebrückenfrei um die Gebäudehülle geführt werden konnte. Bei den zwei EFH mit zweischaligem Außenwandaufbau gab es dagegen Probleme am inneren Anschluß dieser Decke an die unterseitige Wand wie auch ihrem äußeren Anschluß an die oberseitige Wand. In einem Fall wurde die auskragende Decke unterseitig mit Mineralwolle zwischen Lattung Zusatzgedämmt, wodurch sie "warm" und am Deckenanschluß wärmebrückenfrei werden sollte. Da die Verklinkerung der unterseitig anschließenden Wand aber bis direkt unter die auskragende Decke hochgemauert (und nicht wieder entfernt) wurde, wurde diese unterseitige Zusatzdämmung unmittelbar neben dem wärmebrückenrelevanten Deckenanschluß unterbrochen und die Wärmebrücke besteht trotz der unterseitigen Dämmung in fast voller Höhe. Dieses Detail ist in (Bild 5.4-3) in der linken Bildhälfte unten dargestellt. Die sehr simple richtige Lösung, die in (Bild 5.4-3) rechts unten gezeigt und grün umrandet ist, wurde nicht realisiert. Bei dem anderen EFH wurde eine unterseitige Zusatzdämmung der auskragenden Decke überhaupt nicht montiert, oberseitig liegt auf der Decke nur eine normale Trittschalldämmung und an der Außenkante der Decke ist als Klinkerauflager ein Metallwinkel angeschraubt. In diesem Fall kumulieren sich die negativen Effekte der Wärmebrücken am äußeren und inneren Deckenanschluß mit denen der nach DT-NEH-Standard unzulässig geringen Wärmedämmung der Decke, deren k-Wert ca. 0,65 statt 0,15 W/m²K beträgt. Selbst bei nachträglicher unterseitiger Dämmung wäre der Wärmebrückeneffekt des angeschraubten Klinkerauflagers nicht mehr zu beseitigen.

Insgesamt wurden an diesen Wärmebrücken-Details, für die es seit langem in der Fachliteratur gute und auch relativ einfache Lösungsvorschläge gibt, vermeidbar viele Mängel produziert, die vor allem auf fehlende Detailüberlegungen und Gedankenlosigkeit zurückzuführen sind.

Die folgenden Bilder zeigen ausgewählte Details der Anschlüsse von Balkonen, Podesten und auskragenden Decken:



Bild 5.4- 4: Fertiggeländer mit an der gesamten Längskante werksseitig angebrachtem Isokorb. Die vielen Edelstahl-Streben stellen auch Wärmebrücken dar.



Bild 5.4- 5: Fertiggeländer mit nur 3 Isokorb-Aufhängungen. Die statisch geprüfte weitgehende Reduzierung der Isokorb-Streben verringert die Wärmebrücke nochmals.



Bild 5.4- 6: Fertiggeländer mit nur punktueller Auflager, dessen meiste Oberfläche später unter dem Wärmedämmverbundsystem eingeschäumt wurde.



Bild 5.4- 7: Wärmebrücke zwischen Balkon und Stahlsturz über einem Fenster.



Bild 5.4- 8: Betonaussparung für wegen verspäteter Anlieferung erst nachträglich einsetzbar gewesenen Isokorb.



Bild 5.4- 9: Die vom Isokorb gewünschte thermische Trennung kann durch Beton-Überguß an der Oberseite und späteren Estrichüberguß wieder stark verringert werden.



Bild 5.4- 10: Eingangspodest mit Isokorb.



Bild 5.4- 11: Eingangspodest mit separatem Auflager.



Bild 5.4- 12: Luftunterspülte Erkerbodenplatte.



Bild 5.4- 13: Thermisch getrenntes Klinkerauflager am Erker mit Isokorb-Randstreifen.



Bild 5.4- 14: Loggiabau mit ungeklärten Wärmebrücken an Übergängen zwischen Decken, zweischaigen Wänden und Betonstützen.



Bild 5.4- 15: Thermisch getrenntes Klinkerauflager auf Loggia-Decke.



Bild 5.4- 16: Starke Wärmebrücken an auskragender unterseitig ungedämmter Decke mit Klinkerauflager aus Stahl.

5.5. Wärmebrücken an Fenstern, Türen und Rolladenkästen

Wärmebrücken an Fenstern und Türen können einerseits **im inneren Aufbau** dieser Bauteile entstehen und andererseits **durch die Art ihrer Montage** in der umgebenden Wand, wozu auch die Vorkehrungen zählen, die an der Wand für ihren Einbau getroffen werden. **Rolladenkästen** wurden im Untersuchungsgebiet nicht als Bauteile mit Wärmebrücken abgesehen, sondern **als komplette Wärmebrücke**, da alle bekannten Rolladenkästen an allen Trennflächen zwischen kalt und warm und nicht nur an bestimmten Stellen eine so geringe Dämmung aufweisen, daß sie die vom DT-NEH-Standard gestellten k -Wert-Anforderungen an Außenwände von $\leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ weit verfehlen. An sie wurden deshalb insgesamt besondere Anforderungen gestellt. Nachfolgend werden zunächst die Wärmebrücken an Fenstern und Fenstertüren, dann die an Wohnungs- und Haustüren und als drittes die an Rolladenkästen behandelt.

Wärmebrücken an Fenstern und Fenstertüren selbst gibt es konstruktionsbedingt an den Verglasungen, den Fensterflügeln und den Blendrahmen. Montagebedingte Wärmebrücken kann es durch in die Hohlräume zwischen Blendrahmen und Mauerwerk eingebrachte Füllstoffe geben. Eine weitere wichtige, hier den Fenstern zugerechnete Wärmebrücke gibt es dann noch beim zweischaligen Mauerwerk an den Fenstermauernasen, also den Vorsprüngen der inneren Mauerschale in den Schalenzwischenraum hinein, die extra zur Befestigung der Fenster hergestellt werden und gegenüber der sonst reinen Dämmstoff-Füllung des Schalenzwischenraums eine deutlich erhöhte Wärmeableitung von der warmen Innenmauer nach außen bewirken.

Als **Verglasungen** wurden Untersuchungsgebiet in senkrecht eingebauten Fenstern und Fenstertüren ausschließlich Zweischeiben-Wärmeschutzgläser mit k_v -Werten von $0,9 - 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingeplant; bei Dachflächenfenstern kamen auch Gläser mit k_v -Werten von $1,5 - 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ vor, die teils den gestellten Anforderungen nicht mehr genügten. Bei Gläsern mit solchen k_v -Werten stellt der **metallische Randverbund der Scheiben** eine relativ große Wärmebrücke dar, der den mittleren k_v -Wert der Scheiben spürbar beeinflusst. **Kleine Scheiben mit verhältnismäßig viel Randlänge pro Fläche** haben durch diese Wärmebrücke tatsächlich schlechtere k_v -Werte als die ca. $80 \times 130 \text{ cm}$ großen "Normalscheiben", an denen die veröffentlichten Glasdaten gemessen werden, größere Scheiben dafür niedrigere. Da in allen Häusern verschiedene Scheibengrößen vorkommen und weder die Glaser noch die Gashändler üblicherweise in der Lage sind, hierüber belastbare Daten zu liefern, wurde eine quantitative Analyse dieser Effekte nicht vorgenommen. In der Bauberatung wurde jedoch **von Verglasungen mit echter Sprossenunterteilung abgeraten**, da sich dabei diese Wärmebrücken-Effekte stark auswirken.

Als **Rahmenmaterial** wurden bei normalen Fenstern und Fenstertüren in allen bis auf ein MFH entweder Kunststoff- oder Holzrahmen der **Rahmengruppe 1** eingesetzt. In dem einen MFH wurden thermisch getrennte Aluminiumrahmen der **Rahmengruppe 2.1** eingebaut und als Sonderfall wurde noch in einem EFH ein vorgebauter **Glaserker aus Aluminiumprofilen unbekannter Qualität** hergestellt. Rahmen der Rahmengruppe 1 haben gegenüber Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen mit k_v -Werten von $\leq 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ bereits einen **mäßig bis stark erhöhten Wärmedurchgang** und stellen insofern bereits geringe bis mittlere Wärmebrücken dar. Sie wurden aber nicht beanstandet und auch nicht weiter untersucht, da eine bessere Rahmenqualität weder vorgeschrieben noch verfügbar war. Die Aluminiumrahmen der Rahmengruppe 2.1 und der Aluminiumprofil-Erker stellten dagegen Verstöße gegen die Bauteil-Vorgaben dar, über die sich die Investoren nicht klar waren.

Durch **Hohlraum-Füllstoffe** der Fugen zwischen der Außenseite der Fenster-Blendrahmen und dem umgebenden Mauerwerk entstanden bei mehreren NEH Wärmebrücken und zwar immer dann, wenn steinerne Fensterbänke so auf den Brüstungsmauern montiert wurden, daß ihre Außenseite unterhalb des Fensterrahmens lag und dort ein Stück weit nach außen ragten. Die Einstecktiefe dieser Fensterbänke beträgt zwar nur zwischen zwei und etwa 6 Zentimetern, verdrängt in dieser Tiefe aber die im Brüstungsbereich ohnehin nur geringe Wärmedämmung und bewirkt dadurch erhöhte Wärmeabflüsse. In einigen Objekten wurde in dem beengten Raum hinter solchen eingesteckten Fensterbänken überhaupt kein Dämmstoff eingebaut, so daß sich insgesamt eine sehr starke Schwachstelle ergab.

In mehreren NEH wurden die Fugen zwischen Blendrahmen und Oberkante der Brüstungsmauer bzw. bei bodentiefen Fenstern die Fugen zwischen Unterkante des Blendrahmens und der Rohdecke sogar nur mit kleinformatigem Mauerwerk verfüllt, so daß hier sehr starke Wärmebrücken entstanden. Bei Füllstoffen der Fugen an den seitlichen Laibungen und im Sturzbereich von Fenstern und Fenstertüren traten solche Probleme nicht auf.

Die wichtigsten Wärmebrücken gab es an den für die Fensterbefestigung vorgesehenen **Mauernasen zweischaliger Wandkonstruktionen**. Zu deren Verringerung oder Vermeidung wurde deshalb auch der meiste Planungs- und Beratungsaufwand aufgebracht. Das Grundproblem besteht hier darin, daß für die Herstellung dieser Mauervorsprünge meist kleinformatige Steine mit 11,5 cm Stärke verwendet werden, die bei KS- und Ziegelmauerwerk eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit (λ-Werte zwischen 0,6 und 1,0 W/mK) haben und auch bei Porenbeton (λ-Werte zwischen 0,12 und 0,18 W/mK) noch einen mehrfach höheren Wärmeabfluß bewirken als die sonstige Dämmstofffüllung des Schalenzwischenraums (λ-Werte zwischen 0,035 und 0,045 W/mK). Diese Steine ragen von ihrem direkten Anschluß an die warme Innenmauer durch die Dämmschicht hindurch bis an die kalte Vormauer hinaus und bilden dadurch in den konventionellen Bauweise eine sehr starke Wärmebrücke.

Möglichkeiten zur Minderung dieser Wärmebrücke bestehen zunächst darin, daß die Mauernasen statt aus gut wärmeleitendem aus weniger wärmeleitendem Mauerwerk hergestellt werden. Diese Lösung wurde in insgesamt sechs sonst aus KS- oder Ziegel gemauerten Häusern praktiziert, indem diese Vorsprünge aus Porenbeton-Steinen hergestellt wurden. Hierbei entsteht allerdings ein Mischmauerwerk mit eventuell anderen Folgeproblemen. Weiterhin kann man die Mauernase nicht ganz bis an den kalten Klinker hinausmauern, sondern etwa 4-6 cm innenseitig der Vormauer enden lassen und den verbleibenden Spalt mit einem Hartschaum-Dämmstreifen überbrücken, der bei gleicher Dicke eine etwa vierfach höhere Dämmwirkung als ein leichter Porenbeton hat. Diese Variante wurde in acht NEH angewandt. Schließlich kann man auf die Mauernase auch ganz verzichten, wenn man eine andere Überbrückung des Schalenzwischenraums einbaut, die sich auch zur Fensterbefestigung eignet. Diese Idee wurde auch mehrfach realisiert. In fünf NEH im Untersuchungsgebiet wurde statt einer Mauernase ein imprägnierter ca. 14 x 10 cm starker Massivholzrahmen als Schalenüberbrückung eingebaut, in einem weiteren eine etwa 22 mm starke Brett-Zarge. Die in der Beratung auch vorgeschlagene Lösung, eine industriell gefertigten Kunststoff-Zarge einzubauen, die bei gleichem thermischem Effekt wie bei einer Brettschichtholz-Zarge den Vorteil höherer Umempfindlichkeit gegen Feuchte oder Nässe gehabt hätte, wurde dagegen nicht realisiert. Völlig unzufriedenstellende Lösungen für diese Wärmebrücke gibt es insgesamt nur eine, wo bei bei einem sonst insgesamt aus Porenbeton-Mauerwerk hergestellten Haus die Mauernasen aus kleinformtigem KS hergestellt wurden, womit gegenüber dem Verbauen des sonstigen Porenbetons eine wesentliche Verstärkung der Wärmebrücke erreicht wurde. (Bild 5.5-1) zeigt die realisierte Variantenvielfalt im Überblick.

Variantenhäufigkeit der Wärmebrücken-Vermeidung an Fenstermauernasen						
Material der inneren Mauerschale	Zarge		Mauernase aus Porenbeton		Mauernase aus Ziegel	
	aus Brett	aus Balken	ohne zus. Dämmlage	mit zus. Dämmlage	ohne zus. Dämmlage	mit zus. Dämmlage
Kalksandstein	-	1 Objekt	-	-	-	-
Ziegel	1 Objekt	4 Objekte	1 Objekt	5 Objekte	-	3 Objekte
Porenbeton	-	-	-	5 Objekte	-	-

Bild 5.5- 1: Variantenhäufigkeit der Wärmebrücken-Vermeidung an Fenstermauernasen.

Wärmebrücken an Wohnungsabschluß- oder Haustüren wurden vielfach beobachtet. Neben den Wärmebrücken, die auch bei Fenstern vorkommen, haben Türen oft zusätzliche Wärmebrücken durch mehr und stärkere innere Stahl- oder Holzstreben, schwerere Metallbeschläge, anders konstruierte Zargen und andere Bauteilanschlüsse im Schwellbereich, da sie üblicherweise keinen unteren Blendrahmen haben. Da von der Mehrzahl der geplanten und eingebauten Türen weder Konstruktionsbeschreibungen noch belastbare energetische Daten vorgelegt wurden, kann die Analyse nur aufgrund

der Beobachtungen bei den Thermographie-Aufnahmen erfolgen. Diese wurden gemeinsam mit dem Meßteam von Prof. Heidt vom Fachbereich Physik der GH/Uni Siegen im Februar 1996 bei 5-10°C Außentemperatur im Untersuchungsgebiet gemacht. Sie zeigen an Streben und Verglasungs-Randverbänden vieler Türen Temperaturdifferenzen von 3 - 5 Kelvin gegenüber direkt benachbarten ungestörten Holz-, Kunststoff- oder Glasflächen. Bei Haustürelementen mit echter Sprossenteilung sind diese Temperaturspreizungen besonders stark ausgeprägt. Die im Tür-Schwelbereich erkennbaren teils noch größeren Temperaturspreizungen sind dagegen vermutlich nicht nur auf die Wärmebrücken der Türen und darunterliegenden Estrichübergänge zwischen innen und außen zurückzuführen, sondern auch auf die hier häufigen Luftundichtheiten. (Bild 4.7- 2) im Kapitel 4.7 zeigt die Thermographie einer solchen Türe. Andersartige erstaunlich starke Wärmebrücken wurde an sämtlichen Wohnungsabschlußtüren eines MFH beobachtet, welches ein unbeheiztes Treppenhaus mit sehr gut wärmegeämmten Wohnungstrennwänden hat. Hier waren wegen ihrer Robustheit Metalltürzargen eingebaut worden, die nun hervorragend Wärme aus den Wohnungen ins Treppenhaus leiten. Solche Metallzargen sind an thermisch trennenden Türen in Niedrigenergie-Häusern fehl am Platze.

Wärmebrücken durch Einbaufehler von Türen wurden vor allem im Estrichbereich in großer Zahl ermittelt. Die wegen des hohen wärmedämmenden EG-Bodenaufbaus stets notwendige besonders hohe Unterfangung umlaufender Terrassentürrahmen wie auch von Haus- und Wohnungstüren ohne unteren Blendrahmen erfolgte vielfach thermisch-mangelhaft nur durch kleinformatige und zudem gut wärmeleitende Mauersteine, die starke Wärmebrücken bildeten. In mehreren Objekten wurden solche Unterfangungen recht ordentlich aus leichtem Porenbeton-Mauerwerk, in einigen sogar aus Isomur-Spezialelementen hergestellt, die dafür eher überdimensioniert sind. An einigen Kunststofftüren mit umlaufenden Blendrahmen wurden vom Türhersteller gelieferte untere Verlängerungsprofile aus Kunststoff-Hohlkörpern montiert, die relativ wärmebrückenarm (jedoch nicht luftdicht) waren. Bei einigen Holztüren wurden handwerklich unterseitige Verlängerungs-Hohlkörper aus Kantholzrahmen und Sperrholzbeplankung hergestellt, die mit Steinwolle gefüllt wurden und insofern auch zumindest wärmebrückenarm sind.

Wärmebrücken an Rolladenkästen waren ein besonderes Thema, da der Wärmeschutz dieser Kästen nicht nur an einzelnen Seiten oder Kanten, sondern generell fast immer so gering ist, daß diese insgesamt als Wärmebrücke angesehen wurden. Wenn Rolladenkästen unbedingt gewünscht waren und zugleich aus gestalterischen Gründen nicht wärmebrücken-vermeidend völlig außenseitig der Dämmschicht der Außenwand befestigt werden sollten, wurde als **Vorgabe** gemacht, daß sie **an allen warmen Seiten mit mindestens 6 cm Wärmdämmung der WLG 030** zu überdämmen seien. "An allen Seiten" bedeutet dabei, daß sowohl die raumseitige vertikale Innenfläche, die raumseitige horizontale Unterfläche, die obere Fläche zum Fenstersturz hin, die beiden seitlichen Flächen zum Mauerwerk hin und die Auflagerpunkte des Kastens in der Mauernische wärmezudämmen waren. Der Effekt des Riemen- oder Kurbeldurchgangs durfte dagegen vernachlässigt werden.

Die **handwerkliche Herstellung solcher wärmebrückenarmer Rolladenkästen war relativ einfach**. Wichtigster Teilaspekt war, daß der Mauerausschnitt und der über ihm ggf. liegende Sturz breiter, die untere Auflagerkante tiefer und der Sturz selbst höher angelegt werden mußten, um die zusätzlichen Dämmlagen unterbringen zu können. Eine innenseitig evtl. störende größere Dicke des Kastens konnte in mehreren Fällen durch die Platzierung im Wandaufbau vermieden, in anderen Fällen hinreichend ansprechend kaschiert werden. Die größere Dicke der unteren inneren Abdeckplatte machte es teils erforderlich, die oberen Blendrahmen der Fenster mit 3-4 cm Überhöhe herzustellen, was bei rechtzeitiger Planung kein Problem war. Bei einigen Objekten konnte ein Teil der verlangten Zusatzdämmung entfallen, da Kästen eingesetzt wurden, die immerhin an zwei oder drei **Teilflächen** schon **serienmäßig hinreichend wärmegeämmt** waren. Das verlangte wenig wärmeleitende Kastenaufleger am Wandausschnitt wurde meist in Form eines leichten Porenbetonsteins hergestellt. Diese Zusatzdämmung erforderte in jedem Falle eine detaillierte Abstimmung von Rohbauöffnung, Format und Einbauposition des Kastens, des Fensters, der Führungsschiene und des Antriebs.

Die folgenden Bilder zeigen Wärmebrücken-Details von Fenstern, Türen und Rolladenkästen.



Bild 5.5- 2: Fenstermauernase mit verringerter Wärmebrücke durch Porenbeton-Stein.



Bild 5.5- 3: Fenstermauernase mit verringerter Wärmebrücke durch 5 cm Hartschaum-Überdämmung.



Bild 5.5- 4: Fenstermauernase mit verringerter Wärmebrücke durch 2 cm Hartschaum-Überdämmung.



Bild 5.5- 5: Fenstermauernase mit verringerter Wärmebrücke durch Porenbeton.



Bild 5.5- 6: Fenstermauernase mit starker Wärmebrücke aus KS-Steinreihe ohne Dämmung.



Bild 5.5- 7: Schalenüberbrückung mit geringer Wärmebrücke aus Kantholz-Rahmen.



Bild 5.5- 8: Schalenüberbrückung mit geringer Wärmebrücke durch Schichtholz-Zarge.



Bild 5.5- 9: Keine Wärmebrücke durch Überdeckung des Blendrahmens mit Außendämmung.



Bild 5.5- 10: Starke Wärmebrücke an der Brüstung durch auskragende Brüstungssteine aus KS als Unterfütterung der Steinfensterbank.



Bild 5.5- 11: Starke Wärmebrücke an der Unterfangung der Terrassentür durch ungedämmte 11,5er Steinreihe aus KS (Innenansicht).



Bild 5.5- 12: Starke Wärmebrücke an der Unterfangung der Terrassentür durch ungedämmte 11,5er Steinreihe aus KS (Außenansicht).



Bild 5.5- 13: Starke Wärmebrücke an der Türschwelle durch 6 cm Estrichüberdeckung des als thermische Trennung vorgesehenen Isomur-Steins unter der Tür.



Bild 5.5- 14: Selbstgebaute allseitige Zusatzdämmung eines Rolladenkastens.



Bild 5.5- 15: Seitliche Zusatzdämmung eines Rolladenkastens.



Bild 5.5- 16: Seitliche und obere Zusatzdämmung eines nur innenseitig serienmäßig ausreichend gedämmten Rolladenkastens



Bild 5.5- 17: Üblicher Rolladenkasten mit nur innenseitig ausreichender Dämmung.



Bild 5.5- 18: Gut wärmegeämmte untere Revisionsdeckel von Rolladenkästen.



Bild 5.5- 19: Wenig wärmeleitender Porenbeton-Auflagerstein und ordentliche innere Dämmung eines Rolladenkastens.



Bild 5.5- 20: Stärke einer sehr guten Zusatzdämmung eines einfachen Rolladenkastens.

5.6. Wärmebrücken an kalt-warmen Wanddurchgängen

Wärmebrücken an Wanddurchgängen von kalten zu warmen Bereichen können in horizontaler und in vertikaler Richtung bestehen. **In horizontaler Richtung** kommen kalt-warme Wanddurchgänge an Innen- und Außenwänden vor, die innerhalb des gleichen Geschosses Zonen verschiedener Temperatur durchlaufen oder die die Außenwand durchstoßen. Beispiele sind Sichtschutzwände oder an Gebäudeeingängen Träger eines Vordaches. **In vertikaler Richtung** kommen kalt-warme Wanddurchgänge an Innen- und Außenwänden vor, die vom unbeheizten Keller in beheizte Geschosse laufen (diese wurden in Kapitel 5.2 behandelt) und an Innen- und Außenwänden, die von beheizten Geschossen in unbeheizte Spitzböden führen. An solche Wände wurden deshalb besondere Anforderungen gestellt.

Wärmebrücken an kalt-warmen Wanddurchgängen bewirken **besonders hohe Verluste**, wenn die an den Wandteilen wirksame Temperaturdifferenz und die Wärmeleitfähigkeit des Mauermaterials hoch sind und wenn das Detail in großen Längen vorhanden ist, beispielsweise weil es mehrfach an einem Gebäude vorkommt.

Möglichkeiten zur Minderung der Wärmebrückeneffekte an kalt-warmen Wanddurchgängen bestehen in der Trennung der Bauteile und dem Einbau eines dämmenden Zwischenmaterials zwischen den Wandteilen in Bereichen unterschiedlicher Temperatur, sowie in der Verwendung nur gering wärmeleitender Mauersteine für die gesamte Wand.

Nachfolgend werden zunächst die Wärmebrücken an horizontalen, dann die an vertikalen kalt-warmen Wanddurchgängen behandelt.

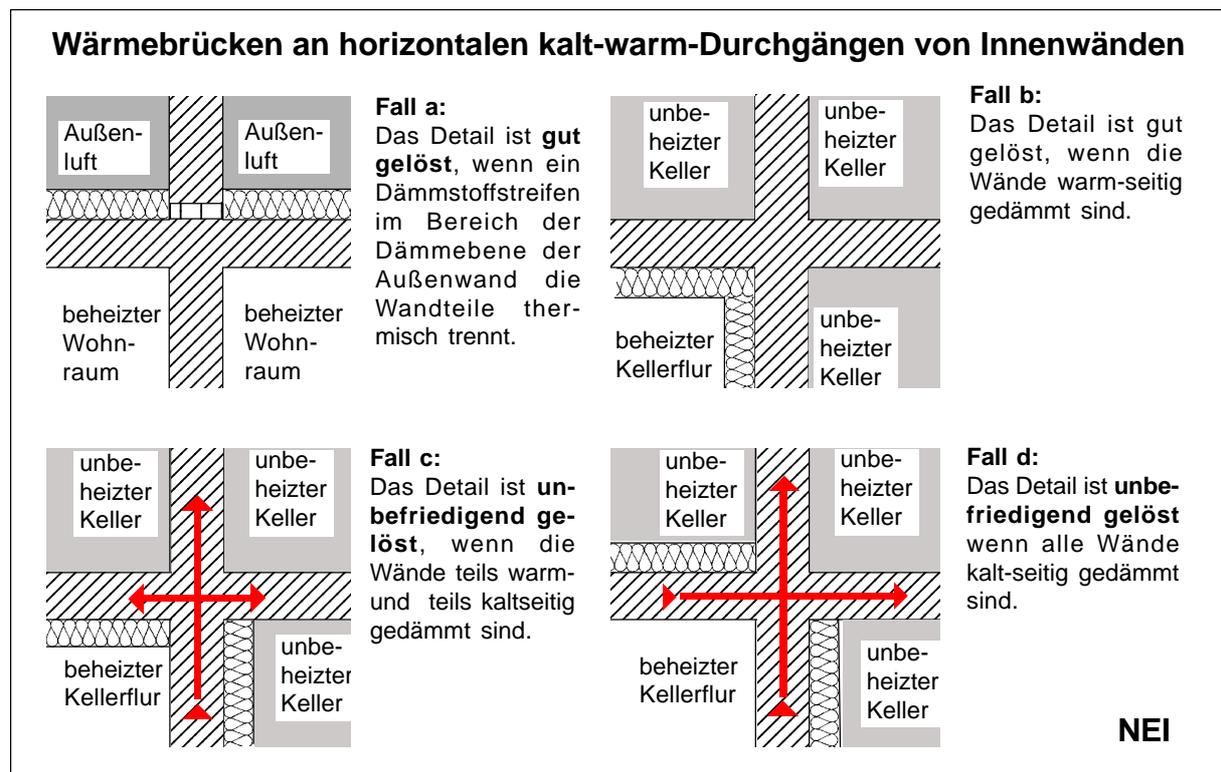


Bild 5.6- 1: Beispiele von Wärmebrücken an horizontalen kalt-warm-Durchgängen von Innenwänden.

Die Wärmebrücken an fast allen horizontalen kalt-warmen Wanddurchgängen können bei sorgfältiger Wärmebrückenplanung allein dadurch **vollkommen vermieden werden**, daß die Anordnung der gesamten Dämmebene des Bauteils konsequent auf einer Seite erfolgt, an der keine störenden Wandanschlüsse existieren. Bei horizontalen kalt-warmen Wanddurchgängen im Keller ist dies meist möglich durch die Dämmung des Bauteils auf der warmen Seite, in beheizten Geschossen am Übergang zum unbeheizten Treppenhaus hingegen auf der kalten Seite, indem jeweils eine Innendämmung des ge-

samt den beheizten Kellerraum oder des unbeheizten Treppenhauses realisiert wird. So bleibt die massive Wand auf dem Temperaturniveau der daran anschließenden Bauteile desselben Geschosses. (Bild 5.6-1) und (Bild 5.6-2) zeigen Details an kalt-warmen Durchgängen von Innen- und Außenwänden und deren Bewertung. Lediglich bei dem in Bild 5.6-1 dargestellten Fall a einer in die Außenluft durchlaufenden Innenwand ist es auch bei optimaler Anordnung der Dämmung immer notwendig, die Bauteile zu trennen und die Fuge zu dämmen, da hier die große Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenluft am Bauteil wirkt.

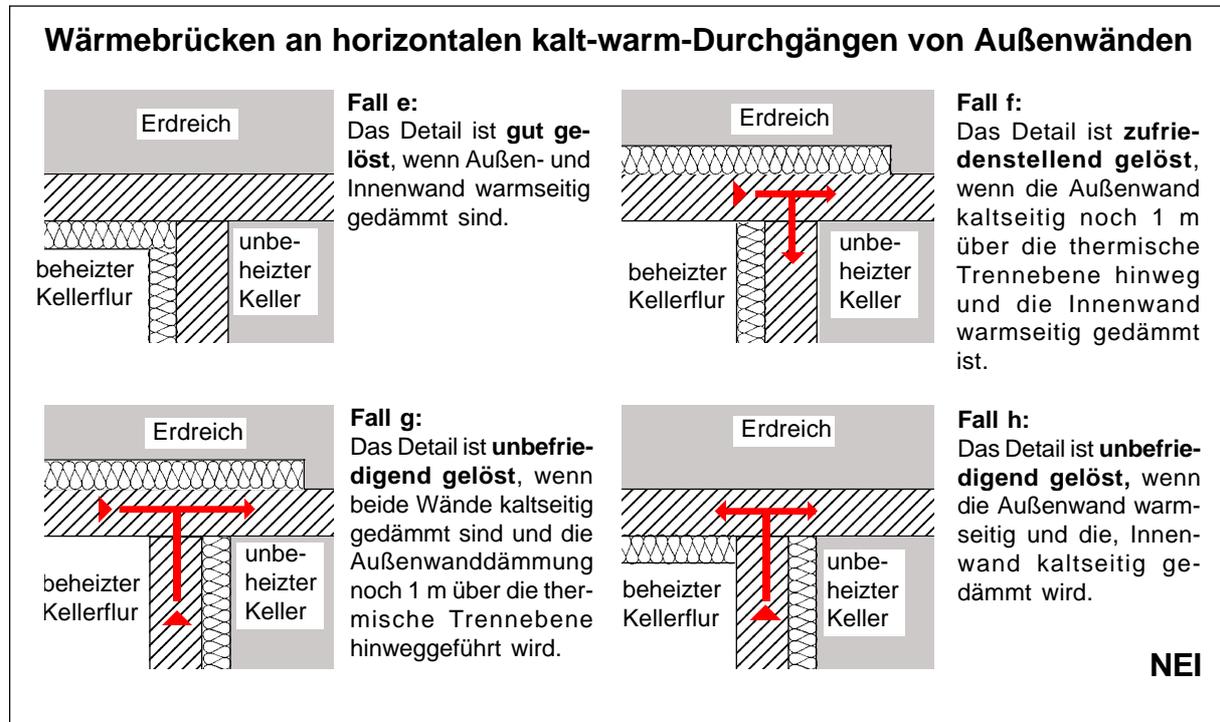


Bild 5.6- 2: Wärmebrücken an horizontalen kalt-warm-Durchgängen von Außenwänden.

Vom Innenraum nach Außen durchlaufende Innenwände kommen im Untersuchungsgebiet nur bei einem Mehrfamilienhaus als Sichtschutzwand eines Balkons vor. Diese Wand aus Kalksandstein wurde durch einen acht cm dicken Polystyrol-Streifen in der Ebene des Wärmedämm-Verbundsystems der Außenwand getrennt. Beide Wandteile sind durch Maueranker miteinander verbunden.

Von beheizten in unbeheizte Räume durchlaufende Wände kommen bei fast allen untersuchten Objekten vor, bei den Einfamilienhäusern an den Umfassungswänden des beheizten Kellerflures und bei den Mehrfamilienhäusern an den Umfassungswänden der unbeheizten Treppenhäuser oder am Übergang von beheizten zu unbeheizten Kellerbereichen.

Bei den **Einfamilienhäusern mit beheiztem Kellerflur** innerhalb des ansonsten unbeheizten Kellergeschosses wurden die hier möglichen Wärmebrücken in der Planung und Bauausführung fast nie erkannt und reduziert. Aus den Planungen waren eventuell vorhandene Wärmebrücken meist noch gar nicht erkennbar, weil der Verlauf der Dämmung der thermischen Trennflächen im Keller in der Regel noch nicht geplant war, der erst zur unterschiedlichen Temperierung der Bauteile im Kellergeschoß führt. In den Beratungsgesprächen und in der Planungsbewertung wurde meist eine warmseitige Anordnung der Dämmung an allen Umfassungsflächen des Kellerflures empfohlen und auf die ansonsten möglichen oder die bereits bestehenden Probleme an horizontalen kalt-warmen Wanddurchgängen hingewiesen. Bei Eingang der Planungsunterlagen erst nach Baubeginn fehlte in der Regel in den Kellertreppenhäusern der Platz für die Dämmung. Die möglichen Lösungen der Wärmebrückendetails waren dann in allen Fällen suboptimal. Die Wärmebrückenproblematik wurde von den Planern vollkommen nachrangig behandelt.

Gute Lösungen mit warmseitiger Dämmung oder aus 36,5 cm Porenbeton bestehenden Kellerinnenwänden sowie warmseitiger Dämmung der Kelleraußenwände wurden bei fünf Objekten (31 Prozent) realisiert. Bei diesen Objekten hatten die Planungsunterlagen frühzeitig vor Baubeginn vorgelegen, so daß die Details gemeinsam mit dem NEI gelöst werden konnten. Zufriedenstellende Lösungen mit warmseitiger Dämmung der Innenwände und kaltseitiger Dämmung der Kelleraußenwand wurden bei

drei Objekten (18 Prozent), unbefriedigende Lösungen mit Dämmungen teils kalt- und teils warmseitig wurde bei acht von 16 Objekten (50 Prozent) realisiert.

Bei den **Mehrfamilienhäusern mit unbeheizten Treppenhäusern** innerhalb beheizter Geschosse wurde in allen Fällen eine gute Lösung der Wärmebrückendetails an horizontalen kalt-warmen Wanddurchgängen mit treppenhauseseitiger Dämmung aller umfassenden Innenwände realisiert. Hier blieb jedoch ebenfalls bei allen Objekten die Wärmebrücke der aus der beheizten Wohnung in das unbeheizte Treppenhaus durchlaufenden Außenwand ungelöst.

Über vertikale kalt-warme Wanddurchgänge vom beheizten Obergeschoß in den unbeheizten Spitzboden entstehen hohe Wärmebrückenverluste, wegen der großen Temperaturdifferenz zwischen dem Obergeschoß und dem kalten Spitzboden und v.a. bei Mehrfamilienhäusern wegen der hier häufig verwendeten stark wärmeleitenden Wandmaterialien sowie der großen Länge dieser Wände. Dieses Wärmebrückendetail wurde zunächst in keiner Gebäudeplanung erkannt oder gelöst. Die Ähnlichkeit der Wärmebrücke von ins Kalte durchlaufenden Wänden mit als Balkonen auskragenden Decken war den Planern nicht bewußt. Oft erfolgte die Wärmebrückenplanung anhand von Grundrißplänen statt anhand von Gebäudeschnitten, so daß die vertikalen Übergänge nicht erkannt wurden.

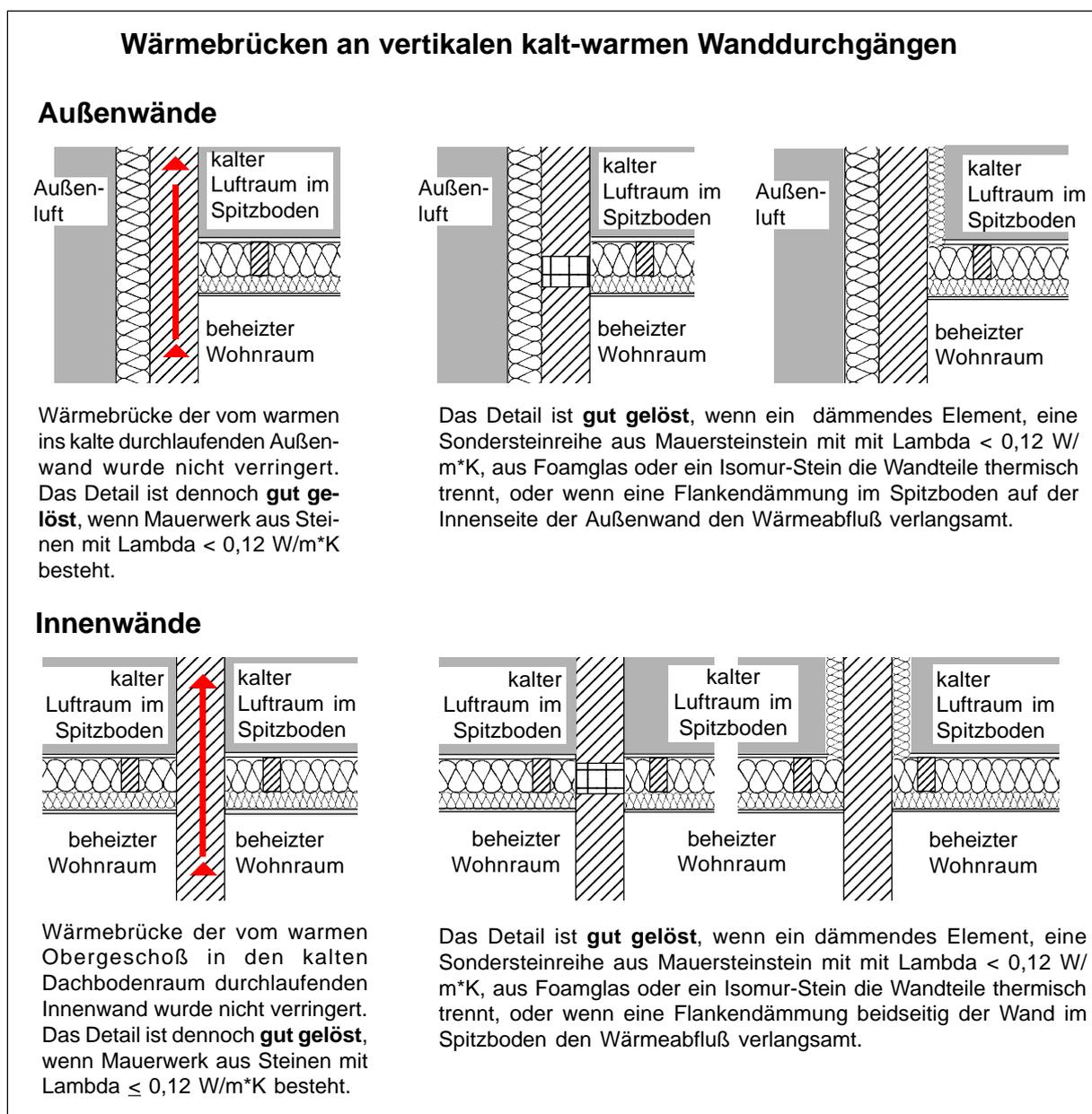


Bild 5.6- 3: Wärmebrücken an vertikalen kalt-warmen Wanddurchgängen von Innen- und Außenwänden.

Vertikale kalt-warme Außenwanddurchgänge vom beheizten Obergeschoß in den unbeheizten Spitzboden wie im oberen Bilderpaar in (Bild 5.6-3) dargestellt kamen bei 18 Objekten vor. (Bild 5.6-4) zeigt die Variantenhäufigkeit der realisierten Wärmebrückenvermeidung. Von den zehn Objekten, bei denen gesonderte Maßnahmen zur Minimierung der Wärmebrückeneffekte notwendig waren, wurde bei zwei Objekten (20 Prozent) mit Außenwänden aus Hochlochziegeln eine gezielte Wärmebrückenvermeidung realisiert, indem jeweils eine Sondersteinreihe aus Porenbeton in der Ebene der Kehlbalkendecke als Trennelement eingemauert wurde.

Variantenhäufigkeit der Wärmebrücken-Vermeidung an vertikalen Wanddurchgängen von Außenwänden vom Dachgeschoß-Wohnraum zum unbeheizten Spitzboden				
Material der Innenmauerschale der Außenwand	Wärmebrückenvermeidung			
	durch Sondersteinreihe aus Porenbeton $\lambda \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$	fehlt, Mauerwerk ohne Trennung durchlaufend	gesamt, Spitzboden warm	nicht notwendig, Wand aus Porenbeton $\lambda \leq 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$
Kalksandstein	-	2 Objekte	4 Objekte	-
Ziegel	2 Objekte	5 Objekte	7 Objekte	-
Porenbeton	-	1 Objekt	-	8 Objekte

Bild 5.6- 4: Variantenhäufigkeit der Wärmebrücken-Vermeidung an vertikalen Außenwanddurchgängen vom DG-Wohnraum zum unbeheizten Spitzboden.

Vertikale kalt-warme Innenwanddurchgänge vom beheizten Obergeschoß in den unbeheizten Spitzboden wie im unteren Bilderpaar in (Bild 5.6-3) dargestellt kamen nur bei drei Mehrfamilienhäusern mit Innenwänden aus Kalksandstein vor. Davon wurden nur bei einem Objekt gesonderte Maßnahmen zur Minimierung der Wärmebrücken realisiert, indem eine Sondersteinreihe aus Porenbeton in der Ebene der Kehlbalkendecke als Trennelement eingemauert wurde. Mehrfach wurden Innenwände bis unmittelbar unter die Lauffebene der Kehlbalkendecke hochgemauert, so daß diese zwar nicht als durchlaufende Innenwände gelten können, jedoch vergleichbare Verluste bewirken wie die in Kapitel 5.7 dargestellten Wärmebrücken an den Oberkanten von Wänden im Dachbereich.

Die folgenden Bilder zeigen Lösungsbeispiele für Wärmebrücken an horizontalen und vertikalen kalt-warmen Wanddurchgängen.



Bild 5.6- 5: Sichtschutzwand mit Dämmstoffstreifen von der Innenwand abgetrennt.



Bild 5.6- 6: Giebelwand des unbeheizten Spitzbodens mit Porenbetonstreifen in der Ebene der Kehlbalkendecke von OG-Außenwand abgetrennt.



Bild 5.6- 7: Giebelwand des unbeheizten Spitzbodens mit Porenbetonstreifen in der Ebene der Kehlbalckendecke von OG-Außenwand abgetrennt (Innenansicht zu Bild 5.6-6).



Bild 5.6- 8: Dachgeschoß-Innenwand ragt mit Betonaufleger der Mittelpfette in kalten Luftraum des Spitzbodens. Allseitige Dämmung verringert die Wärmebrücke.

5.7. Wärmebrücken an den Oberkanten von Wänden im Dachbereich

An den Oberkanten von Wänden beheizter Räume können starke Wärmebrückeneffekte auftreten, wenn diese mit der Außenluft in Kontakt kommen. Besonders hoch ist der Wärmeabfluß

- wenn die Wände selbst oder deren oberer Abschluß aus gut wärmeleitendem Material bestehen, wie schweren Ziegeln, Kalksandstein, Beton oder Mörtel und
- wenn zwischen Wand und nebenliegendem Sparren ein luftdurchspülter, ungedämmter Spalt offenbleibt.

Bezogen auf das Gesamtgebäude sind die Effekte besonders hoch, wenn das Detail an mehreren Innen- und Außenwänden vorkommt.

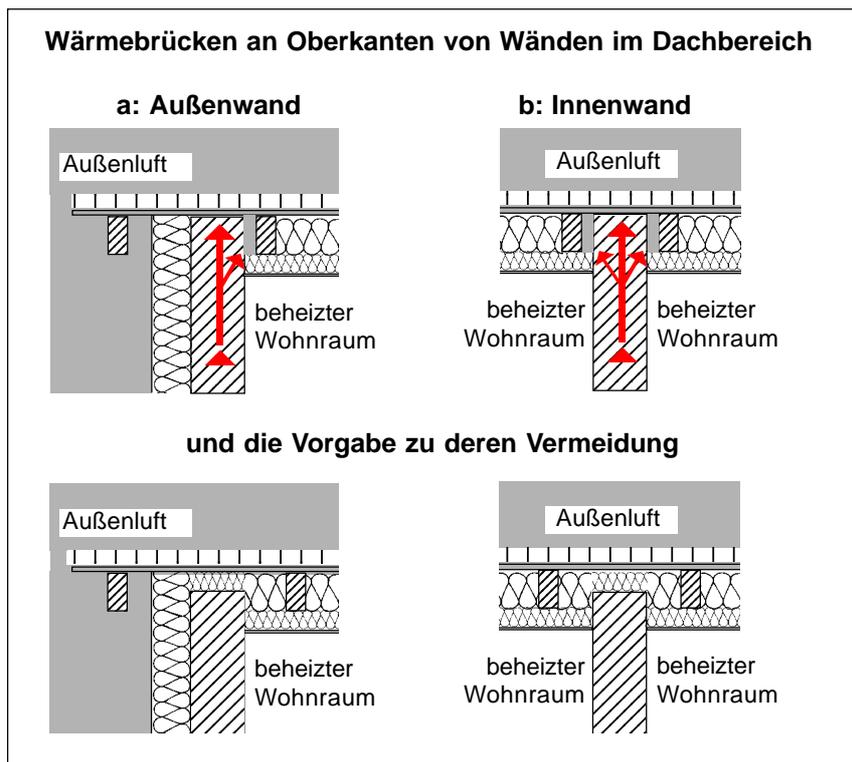


Bild 5.7- 1: Wärmebrücken an Oberkanten von Wänden im Dachbereich und die Vorgabe zu deren Vermeidung.

Beispiele solcher Wärmebrücken und **die Vorgabe zur deren Verringerung oder Vermeidung** zeigt (Bild 5.7-1). In Teilbild (a) ist die Wärmebrücke der von innen nach außen durchgehenden Giebelmauerscheibe der Außenwand dargestellt. Teilbild (b) zeigt dasselbe Detail an einer Innenwand. Die in (Bild 5.7-1) unten dargestellte Verringerung der Wärmebrückeneffekte besteht aus einer oberseitigen Dämmung der Mauerkrone von ≥ 8 cm Stärke sowie der Dämmung des Zwischenraumes zwischen Sparren und Wand. Die derartige Vermeidung der Wärmebrücke an Oberkanten von Wänden im Dachbereich wurde im Untersuchungsgebiet verlangt. Die hier dargestellte Lösung wurde in Vorträgen erläutert und in den Planungsbewertungen wurden entsprechende Detailzeichnungen angefordert. Selbst bei Verwendung von nur wenig wärmeleitendem Mauerwerk wurde eine derartige Dämmung eingefordert.

Bei allen untersuchten Gebäuden kamen die in (Bild 5.7-1) Teilbild (a) und (b) dargestellten wärmebrückenrelevanten Details vor. Sie wurden in der Planung und Bauausführung unterschiedlich erkannt und reduziert.

In den Gebäudeplanungen wurde die Wärmebrücke an der Oberkante von Außenwänden zur Außenluft (Bild 5.7-1, Teilbild a) bei dreizehn (43 Prozent) von 30 Objekten den Vorgaben entsprechend bearbeitet, eine Detailplanung entsprach nicht den Vorgaben und für 16 Objekte (53 Prozent) fehlte die Planung des Außenwanddetails. Die Wärmebrücke an der Oberkante von Innenwänden zur Außenluft (Bild 5.7-1, Teilbild b) wurde nur bei einem (drei Prozent) von 30 Objekten planerisch bearbeitet. Die

Effekte dieses Detailpunktes an Innenwänden sind vermutlich gravierend unterschätzt worden, so daß die Wärmebrücke fast nie überplant wurde, obwohl die Innenwände im Dachgeschoß in der Regel mehr Meter luftberührte Kantenlänge aufweisen als die Außenwände und obwohl diese Wände bei der Mehrzahl der Objekte aus sehr gut wärmeleitendem Kalksandstein bestehen.

Die **Bauausführung** der Wärmebrücke an der Oberkante von Außen- und Innenwänden wurde bezüglich Dämmung auf der Oberkante der Wand und Dämmung des Zwischenraumes zwischen Sparren und Wand unterschiedlich bearbeitet.

Die **Oberkante von Außenwänden zur Außenluft** wurde bei 28 von 30 Objekten (93 Prozent) mit einer hinreichenden oberseitigen Dämmung versehen. Bei drei dieser Objekte mit Außenwänden aus wenig wärmeleitendem Porenbeton wurden die Giebelmauern zuerst fehlerhaft bis zu Oberkante der Sparren gemauert. Nach Bemängelung dieser Ausführung wurden dann die Wände gekürzt und die oberseitige Dämmung wurde noch montiert. Bei einem Objekt mit Außenwänden aus Leichthochloch-Ziegeln unterblieb die oberseitige Dämmung, für ein Objekt fehlen die Daten zur Ausführung dieses Details. Ein genügender **Abstand zwischen Außenwand und Sparren mit Dämmung des Zwischenraumes** wurde bei 21 von 30 Objekten (70 Prozent) realisiert, bei sieben Objekten (23 Prozent) war dieser Abstand weniger als 2 cm groß, so daß in der Fuge keine Dämmung montiert werden konnte. Bei zwei Objekten fehlt die Dokumentation dieses Details.

Die **Ausführung der Wärmebrückenvermeidung an Oberkanten von Innenwänden zur Außenluft** entspricht im wesentlichen der oben beschriebenen bei Außenwänden. Bei drei Mehrfamilienhäusern mit guter Wärmebrückenbearbeitung der Außenwände wurden jedoch die Innenwände aus sehr gut wärmeleitendem Kalksandstein nicht mit oberseitiger Dämmung versehen.

Die folgenden Bilder zeigen **Lösungsbeispiele** an den Oberkanten von Wänden im Dachbereich.



Bild 5.7- 2: Schneeabtauung an Giebelmauer wegen fehlender Wärmebrückenvermeidung.



Bild 5.7- 3: Giebelmauer endet ca 8 cm unter Sparrenoberkante, Sparren liegt mit hinreichendem Abstand zur Innenmauerschale.



Bild 5.7- 4: Oberkante der Giebelmauer mit 8 cm Polystyrol-Dämmplatten im Mörtelbett belegt.



Bild 5.7- 5: Giebelmauer mit ca. 8 cm Mineralwolle-Dämmung belegt, Dämmung zwischen Wand und Sparren wegen zu geringen Abstandes nicht möglich.



Bild 5.7- 6: Innenansicht von Detail 5.7-4, Sparren liegt mit hinreichendem Abstand zur Giebelmauer.



Bild 5.7- 7: Dämmung zwischen Sparren und Giebelmauer konnte montiert werden.



Bild 5.7- 8: Zwischensparrendämmung wird in voller Stärke über eine KS-Innenwand geführt.



Bild 5.7- 9: Innenwand reicht bis in den Luftraum und kann nicht überdämmt werden, beide Sparren liegen zu nah neben der Wand.



Bild 5.7- 10: Innenwand wird bis unmittelbar gegen den Sparren gemauert, Holz als einzige Dämmung zwischen Innen und Außen.

6. Luftdichtheit

Inhaltsübersicht

Die hohe Luftdichtheit des Gebäudes ist wesentliche Voraussetzung für einen geringen Heizenergiebedarf, für lange schadensfreie Standzeiten feuchteempfindlicher Bauteile und für das effektive Funktionieren von Lüftungsanlagen, besonders von solchen mit Wärmerückgewinnung.

Im Untersuchungsgebiet, dessen Bebauung 1994 begann und 1997 endete, bestanden Vorgaben für die Luftdichtheit der gesamten Gebäudehülle, die auf dem damals in der Schweiz und in Schweden bereits eingeführten Stand der Technik basierten und der deutschen Normung vorgriffen. Eine Qualitätskontrolle der luftdichten Gebäude-Ausführung durch Differenzdruckmessung fand bei etwa der Hälfte der Gebäude statt.

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an die Luftdichtheit sowie die planerischen Erfordernisse an Luftdichte-Konzepte und die Erfahrungen mit deren Umsetzung erläutert. Es werden allgemeine und aufgetretene Problempunkte sowie festgestellte Undichtheiten an Massivbauteilen, Leichtbauteilen, Gebäudeöffnungen und Installationen und die numerischen Ergebnisse der Luftdichtemessungen dargestellt.

- 6.1. Vorgaben, Normentwicklungen, Luftdichte-Konzepte und deren Umsetzung
- 6.2. Luftdichtheit an Massivbauteilen
- 6.3. Luftdichtheit an Leichtbauteilen
- 6.4. Luftdichtheit an Gebäudeöffnungen
- 6.5. Luftdichtheit an Installationen
- 6.6. Ergebnisse der Luftdichtemessungen

6.1. Vorgaben, Normentwicklung, Luftdichte-Konzepte und deren Umsetzung

Der Detmolder NEH-Standard gibt für die Luftdichtheit der thermischen Gebäudehülle einen **maximal dreifachen Luftaustausch pro Stunde** durch bauliche Undichtigkeiten bei Differenzdruckmessung nach ISO 9972 mit **50 Pascal Unterdruck** vor. Diese Vorgabe basiert auf schwedischen und schweizerischen Baurechts-Regelungen, die in Deutschland seit 1985 hilfsweise herangezogen wurden. Die Wertheraner Vorgabe ist als SOLL-Bestimmung formuliert, wurde aber sehr ernst genommen. Als planerischer Nachweis war vorab verlangt, daß in den Detailzeichnungen der Bauteile der Verlauf der luftdichtenden Schichten darzustellen, die luftdichtenden Materialien zu benennen und geeignete Randbedingungen für tatsächliche Luftdichtemessungen zu schaffen sind.

Zum Projektbeginn 1994 waren Zielwerte und Meßverfahren für die Luftdichtheit von Wohngebäuden noch **nicht verbindlich in deutschen Normen** verankert. Im Normenwerk gab es lediglich für Einzelbauteile (z.B. Fenster) schon länger Einzelanforderungen. Die Anfang 1995 in Kraft getretene neue Wärmeschutzverordnung enthält in § 4 sowie in Anlage 4 lediglich eine generelle Vorgabe vollflächiger Luftdichtungsebenen und dauerhafter Fugendichtungen nach Stand der Technik, aber keine präzisen Zielwerte oder Meßverfahren für die gesamte Luftdichtheit eines Gebäudes. Gesamt-Vorgaben wurden in Deutschland erst im **November 1996 in der V-DIN 4108/7 "Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen"** veröffentlicht. Als Meßverfahren ist darin das in ISO 9972 beschriebene Differenzdruckverfahren mit einer Blower-Door genannt. Es gibt bei einem Meßdruck von 50 Pascal als Zielwerte für Gebäude ohne Lüftungsanlage eine maximal dreifache und für Gebäude mit Lüftungsanlage eine maximal einfache Luftwechselrate durch Gebäudeundichtigkeiten vor. Da alle untersuchten Gebäude mit Lüftungsanlagen ausgerüstet sind, war der im Detmolder NEH-Standard vorgegebene Zielwert eines maximal dreifachen Luftwechsels pro Stunde bei 50 Pascal Differenzdruck somit einfacher zu erfüllen als der der neuen V-DIN 4108/7. Aber auch die geringere Anforderung eines maximal 3-fachen Luftwechsels durch bauliche Undichtigkeiten erfordert generell und insbesondere bei Gebäudekonstruktionen mit vielen Materialwechseln und komplizierter Formgebung große Sorgfalt bei Planung und Ausführung.

Die Realisierung eines luftdichten Gebäudes erfordert idealtypisch, daß zunächst im Rahmen der Entwurfs- und Detailplanung ein **Luftdichte-Konzept** erstellt wird. Dies heißt insbesondere, daß der Verlauf der luftdichtenden **Ebenen**, die Art der flächen- und fugendichtenden **Materialien**, die **Verbindungs-mittel**, die **Montagetechniken** und die für die sachgerechte **Herstellung** erforderliche **Bauabfolge** geplant und festgelegt werden. Diese Ergebnisse des Luftdichte-Konzepts sind dann eindeutig und klar abgegrenzt in Ausschreibung und Auftragsvergabe für die Herstellung der einzelnen luftdichtenden Schichten und der Anschlüsse an die einzelnen Gewerke zu übertragen. Bisher kann im Regelfall noch nicht erwartet werden, daß das angestrebte Qualitätsniveau ohne eine solche Vorplanung und Koordinierung seitens der ausführenden Firmen bei der Kostenkalkulation, Materialdisposition und Ausführungsqualität berücksichtigt wird oder daß die betroffenen Gewerke sich aus eigener Initiative ausreichend über sinnvolle Bauabfolgen abstimmen.

Im Rahmen der Bauleitung ist die sachgerechte **Ausführung intensiv zu kontrollieren**, da eine freiwillig ausgeführte hohe Ausführungsqualität der Luftdichtung bisher noch selten ist. Bauorganisatorisch ist sicherzustellen, daß ein geeigneter Bauzwischenzustand für eine Luftdichtheitsmessung zustandekommt, zu der die luftdichtenden Schichten zwar fertiggestellt, aber noch zugänglich sind und nachher nicht mehr beschädigt werden. Alle durchdringenden Installationen sollten schon eingebaut sein. Die **Luftdichtemessung** ist die einzige wirklich funktionierende Form der Qualitätskontrolle und Voraussetzung für eine korrekte Teilabnahme. Sie sollte in Anwesenheit der betroffenen Gewerkevertreter vorgenommen werden, so daß Mängel einvernehmlich identifiziert, Verursachern zugeordnet und Nachbesserungen direkt beauftragt werden können. Bei erheblichen oder diffusen Mängeln kann zur Feststellung ihrer erfolgreicher Nachbesserung eine reine Sichtkontrolle nicht ausreichen. Hier ist gegebenenfalls eine Nachmessung nach erfolgter Nachbesserung vorzunehmen.

Eine derart **konsequente Planung und Umsetzung der Luftdichte-Anforderungen** fand im Untersuchungsgebiet **in keinem Falle statt**. Die zur Prüfung vorgelegten Planunterlagen beinhalteten sowohl bei den ersten als auch bei vielen späteren Bauvorhaben entweder gar keine oder nur pauschale oder unvollständige Angaben zu Verlauf, Materialwahl und Anschlußdetails der luftdichtenden Schichten.

Sofern Detailzeichnungen vorgelegt wurden, waren es oft Kopien aus der Fachliteratur, die für abweichende Einbausituationen erstellt und für den vorgesehenen Anwendungsfall nicht oder nur teilweise brauchbar waren. Fehlende oder mangelhafte Luftdichte-Planungen wurden im Rahmen der Planprüfung zwar vom NEI regelmäßig angemahnt, fehlten aber bei fast allen Gebäuden noch bis zu Beginn der Trockenbauarbeiten oder wurden überhaupt nicht erstellt. Nur wenige Planer nahmen das für sie kostenlose Angebot des NEI an, gemeinsam mit ihnen und ihren Handwerkern Detaillösungen und Materialkonzepte zu entwickeln. Die Durchsetzung der Erarbeitung und Vorlage von Luftdichtungskonzepten scheiterte auch daran, daß zwischen der Stadt Werther und den Investoren **keine Sanktionsmöglichkeiten für** nicht fristgerecht vorgelegte oder **mangelhafte Pläne** vereinbart war.

Eine konsequente **Umsetzung der Luftdichte-Planungen in Ausschreibungen und Aufträge** fand im Untersuchungsgebiet ebenfalls kaum statt. In allen dem NEI bekanntgewordenen Ausschreibungs- und Auftragsunterlagen **fehlten klare Vorgaben** zur Ausführung der Luftdichtung. Rückfragen ergaben, daß einem großen Teil der Planer wohl die fachlichen Kenntnisse für deren Formulierung fehlten. Andere gaben an, durch Nicht-Nennung besonderer Luftdichte-Vorgaben vermeiden zu wollen, daß für deren Mehraufwand von Anfang an höhere Preise oder Angstzuschläge verlangt werden. Die (unüblich) hohe Qualität sollte jedoch nachher als selbstverständlich eingefordert werden. Solche Strategien führten bei den betroffenen Handwerkern zu Verärgerung und Unwillen gegenüber hohen Luftdichte-Qualitätsanforderungen.

Die **Qualitätssicherung** der Luftdichtung **durch die Bauleitung**, sofern diese überhaupt vorhanden und nicht wegen Eigenleistung bei den Dichtarbeiten unzuständig war, war vielfach **unbefriedigend**. Den meisten Planern und ausführenden Firmen fehlte anfangs ein Gefühl für die Bedeutung vieler kleiner Undichtigkeiten für das Erreichen der Luftdichte-Zielwerte. Im Rahmen der vom NEI geleisteten begleitenden Bauleitung ergingen zwar bei oder unmittelbar nach den Ortsterminen eine Fülle von Mängelmeldungen an die Investoren und Planer, die Diskussionen, Lerneffekte und Nachbesserungen im Einzelfall anregten. Für die praktische Qualitätssicherung der Luftdichtheit wäre aber ein höheres Maß an motivierter und kompetenter Bauleitung mit regulären Zwischenabnahmen unverzichtbar gewesen.

Die vom NEI meist öffentlich durchgeführten **Luftdichtemessungen** sollten neben der Qualitätskontrolle auch eine größere Sensibilität für das Thema der Luftdichtigkeit bewirken. Die praktische Demonstration der bei 50 Pascal Druckdifferenz direkt fühlbaren Undichtigkeiten machte auch fast allen anwesenden Planern, Bauherren und Handwerkern des Baugebietes zum ersten mal deutlich, welche Bedeutung sonst eher geringgeschätzte "kleine" Leckagen haben und welche Verantwortung ihnen jeweils selbst für das Erreichen der geforderten Dichtheit zufällt. Obwohl ein schlechtes Luftdichte-Meßergebnis die Einhaltung des NEH-Standards wegen der "Soll"-Vorgabe nicht gefährdet hätte, führte nach solchen Vorerfahrungen die Ankündigung von Luftdichte-Messungen bei allen Beteiligten zu deutlich erhöhtem Bemühen um eine im Detail sorgfältige Bauausführung. Nach öffentlichen Messungen nahm die Nachfrage nach Know-How zum Thema Luftdichtung seitens der Planer und Investoren jeweils stark zu und immer weniger Handwerker wollten Leckagen selbst verschulden. Der mit der Öffentlichkeit der Messungen angestrebte **Sensibilisierungseffekt** wurde insofern erreicht, die öffentliche Durchführung auch künftiger Messungen ist trotz des hohen organisatorischen Aufwandes unbedingt empfehlenswert.

Luftdichtemessungen und deren Meßergebnisse erreichen nur dann ihren vollen Nutzen und Aussagewert, wenn sie **zum richtigen Zeitpunkt** erfolgen. Möglichst alle luftdichtenden Ebenen, beim Massivbau die Decken und Putzoberflächen, beim Leichtbau die Platten, Folien oder Pappen, im Ausbaubereich die Türen, Fenster und Bodenluken und bei den Installationen alle Durchdringungen sollten fertiggestellt und verbunden bzw. abgedichtet, aber zugleich noch offenliegend bzw. zugänglich sein. Nur dann können Mängel leicht entdeckt und mit zumutbarem Aufwand nachgebessert werden. Erfolgt die Messung zu früh, müssen noch vorhandene Öffnungen und Fehlstellen (Außenwand-Ventile, Kellertüren oder Dachbodenluken) provisorisch abgedichtet werden, um den erforderlichen Meß-Unter- oder Überdruck überhaupt herstellen zu können. Dies führt oft zu nicht zufriedenstellenden Meßergebnissen und es bleibt unsicher, mit welcher tatsächlichen Dichtheit diese Komponenten später hergestellt werden. Erfolgt die Messung zu spät, ist die Bereitschaft meist gering, fühlbare, aber inzwischens unzugängliche Leckagen noch zu reparieren, wenn dazu Estriche, Abseitenmauern, Gipskartonplatten oder Abkastungen wieder demontiert werden müßten.

Die organisatorische Herbeiführung eines **für die Luftdichtemessung geeigneten Bauzustandes** war den Investoren im Untersuchungsgebiet formell vorgegeben und auf die dazu erforderlichen Vorbereitungen war mit Informationsblättern hingewiesen worden. Bei vielen untersuchten Objekten gab es je-

doch zu keinem Zeitpunkt einen für die Messung geeigneten Bauzustand. Dieser war anfangs im Bauzeitenplan nicht einbezogen worden und nachher wurden keine Verzögerungen bestimmter Gewerke mehr in Kauf genommen, um einen geeigneten Bauzustand an bestimmten Teilflächen solange beizubehalten, bis er auch an anderen Flächen geschaffen war (z.B. kein Gipskarton montieren, solange nicht alle Türen eingebaut sind). So gab es **gleichermaßen zu frühe als auch zu späte Messungen**. Bei zu frühen Messungen mußten noch fehlenden Türen, Bodenluken oder andere Öffnungen provisorisch mit Folien verschlossen werden, was einerseits aufwendig war und andererseits ungewiß ließ, welche Dichtheit nach dem späteren Einbau dieser noch fehlenden Bauteile zustandekommen würde, da **in keinem Falle Nachmessungen** vorgenommen wurden. Bei mehreren zu späten Messungen wurden spürbaren Leckagen aus diffusen Quellen hinter bereits vorhandenen Verkleidungen ermittelt, denen aber aus den schon genannten Gründen nicht mehr nachgegangen wurde, so daß die Mängel bestehen blieben.

Bei den 21 gemessenen Objekten im Untersuchungsgebiet konnte durch die Beratung und Messung eine sicherlich weit überdurchschnittliche Sensibilität für die Luftdichtheits-Anforderungen und infolgedessen auch eine **überwiegend zufriedenstellende Ausführungsqualität** erreicht werden. **Bei den 22 später errichteten Gebäuden**, bei denen planmäßig keine Baubegleitung und Luftdichtemessung, sondern nur eine Planungsüberprüfung stattfand, war es dagegen deutlich schwieriger, eine sorgfältige Luftdichtungsplanung zu erhalten und auch die Ausführung wies **stärkere Mängel** auf, soweit dies durch Sichtkontrollen feststellbar war. Dies gilt besonders für solche Objekte, bei denen Planer und Handwerker tätig waren, die an keiner der vorigen Messungen und den daran entstandenen Diskussionen teilgenommen hatten.

Für die Zukunft ist eine klarere Vorgabe der vorausgehenden Planungs- und Organisationspflichten bei der Herbeiführung geeigneter Meß-Randbedingungen erforderlich, da nur bei frühzeitiger Planungsprüfung konstruktive Problempunkte und kommunikative Mißverständnisse über Liefer- und Leistungspflichten vermieden werden können und nur bei einwandfreien Meß-Randbedingungen belastbare Meßwerte möglich sind. Dies ist insbesondere für die Durchsetzung von Gewährleistungsansprüchen und für die Nachweisführung bei der Gewährung öffentlicher Fördermittel wichtig, sofern letztere Vorgaben für die Luftdichtheit enthalten. Bei der Formulierung solcher Meßbedingungen sollte auch klargestellt werden, wie der Wirkungsbeitrag sekundärer Luftdichtungsebenen (z.B. dicht geschlossene Abseitentür vor stark undichter Folienebene) und der von offensichtlich nur kurzfristig wirksamen, aber für eine dauerhafte Luftdichtung nicht taugenden Verbindungsmitteln und Montagetechniken (z.B. Paketklebeband oder frischer Ortschaum) zu würdigen sind. Solche Einflußfaktoren können zwar zu guten Luftdichtigkeits-Meßwerten führen, sind aber zugleich einwandfreies Indiz, daß die Anforderungen an die dauerhafte Wirkung der eigentlichen Luftdichtungsebene nicht erfüllt sind. Die Sorge vieler Investoren vor hohen Meßkosten scheint dabei weniger bedeutsam zu sein, denn Luftdichtheits-Messungen werden über kurz oder lang von den verarbeitenden Firmen als Selbstkontrolle während der Ausführung mit eigenem Gerät vorgenommen werden und im Mangelfalle gehen die Kosten der Nachweisführung ohnehin zu Lasten der betroffenen Firmen, wie bei allen anderen Baumängeln auch. Insgesamt ist mit der Einführung der V-DIN 4108/7 zwar das vorgegebene und erwartbare Qualitätsniveau in Zukunft eindeutig definiert, seine praktische Umsetzung aber noch lange nicht sichergestellt.

6.2. Luftdichtheit an Massivbauteilen

Daß Massivbauteile aus Beton oder Mauerwerk nicht selbstverständlich luftdicht sind, ist vielen Bau-schaffenden nicht bewußt. Das Wort massiv wird oft als Synonym für dicht verwendet, obwohl vieles Massive durchaus nicht luftdicht ist. Unterschiede in der Luftdichtheit massiver Bauteile bestehen vor allem zwischen gegossenen und zusammengesetzten Bauteilen.

Betondecken und -wände sind durch die Homogenität des Materials in der Fläche luftdicht. Das gleiche gilt für Elementdecken aus Ziegel- oder Porenbeton, wenn diese durchgehende Flächen bilden oder mit Beton übergossen sind. Stöße und Dehnfugen solcher Decken oder Wände können Luftundichtigkeiten bilden, die mit gesonderten Dichtmitteln verschlossen werden müssen.

Aus einzelnen Teilen zusammengesetzte Mauerwerke werden erst durch das vollflächige innere Verputzen luftdicht, da die Steinfugen sonst an vielen Stellen Innen- und Außenluft verbinden. Auch übliche Mörtel oder Kleber dichten diese Fugen nicht ausreichend ab. Häufig bleiben Stoßfugen im Mauerwerk sogar ganz unverfüllt. Nachträgliches Verspachteln von Fugen ist zur Luftdichtung meist nicht ausreichend. Sowohl bei einschaligem Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem als auch beim zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung dichtet der Innenputz das Mauerwerk sowohl in der Fläche als auch an den Anschlüssen zu anderen Bauteilen, soweit diese für ihn ausreichenden Haftuntergrund bieten. Kerndämmung und Vormauerwerk beim zweischaligen Wandaufbau bringen dagegen keine Beiträge zur Luftdichtheit. Selbst außenseitig vollflächig verputzte Wärmedämmverbundsysteme auf einschaligen Außenwänden, die bei Neubauten im Regelfall auf unverputztes Mauerwerk aufgebracht werden, stellen keine sichere Luftdichtung dar, da sie durch die Art ihrer Verarbeitung häufig in Teilbereichen lufthinterströmt sind. Die Luftdichtung erbringt beim Mauerwerk daher meist allein der Innenputz, der dazu lückenlos alle massiven, das beheizte und belüftete Gebäudevolumen umschließenden Außen- und Innenwände bedecken muß, auch an später nicht mehr einsehbaren Stellen.

Neben der vollständigen Putzoberfläche hat auch die **Homogenität der Mauersteine** Einfluß auf die Luftdichtheit von Mauerwerk. Wenn bei Lochsteinen die Setz- und Lagerfugen des Mauerwerks nicht vollständig mit Mörtel verfüllt werden, entstehen weitläufige verzweigte und durchströmte Luftwege-netze zwischen innen und außen. Luftwege bilden dabei neben den Steinelochungen und Mörtelfehlstellen in den Fugen auch Schlitze oder Schächte für Unterputzinstallationen sowie Installations-durchdringungen der Außenwände.

Im Untersuchungsgebiet kamen luftdichtende Betonbauteile als Decken und luftdichtendes Mauerwerk von Innen- und Außenwänden in jedem Haus vor, da alle Häuser in konventionellen massive Mauerwerkskonstruktionen errichtet wurden. Luftdichtende Betonwände kamen in zwei Gebäuden als Außenwände beheizter Kellerräume vor. Luftundichtheiten innerhalb der Betonbauteile einschließlich ihrer Dehn- oder Dichtungsfugen wurden in keinem Falle festgestellt, Luftundichtheiten an Gebäudeöffnungen oder Installationsdurchdringungen von Betonbauteilen sind in Kapiteln 6.4 und 6.5. behandelt. Mängel an der Luftdichtheit von verputzten Mauerwerks-Oberflächen gab es dagegen bei jedem Objekt in unterschiedlichem Umfang.

Die **Planung der luftdichten Herstellung massiver Bauteile** beschränkte sich in der Regel auf die Zustimmung zu dem "Gebot" des vollflächigen Verputzens der Innenoberflächen von Mauerwerken. Wie sich bei der Baubegleitung und bei den Luftdichtemessungen allerdings herausstellte, wurde diese Anforderung oft nur teilweise verstanden und häufig auch nicht in der erforderlichen Eindeutigkeit an die betroffenen Handwerker weitergegeben. Weiterhin wurde oft unterschätzt, daß das Verputzen mancher spezieller Teilflächen aus Gründen des Bauablaufs früher oder später als das allgemeine Verputzen der großen Wandflächen erfolgen muß und insofern eine besondere Berücksichtigung im Bauzeitenplan erfordert. Für die Luftdichtheit bedeutsame zu verputzende Sonderflächen sind sonst evtl. gar nicht mehr zugänglich oder auch noch nicht vorhanden. Diese Probleme traten vor allem bei den ersten Bauten und bei solchen auf, deren Planer oder Rohbauhandwerker sich hinsichtlich Luftdichte-Konzept nicht hatten beraten lassen und auch bei keiner der frühen Luftdichtemessungen teilgenommen hatten.

Nachfolgend sind einige **besondere und typische Luftdichte-Mängel** genannt:

- Die **innenseitig nur verspachtelten Fugen** der Außenwände eines EFH aus großformatigen verklebten Porenbeton-Steinen mit Wärmedämmverbundsystem waren trotz großer Sorgfalt beim Ver-

spachteln nicht luftdicht. Bei der Luftdichte-Messung waren an Steckdosen und Einbauleuchten der inneren Gipskarton-Bekleidung der Außenwände erhebliche Luftströme fühlbar.

- **Die luftdichtenden Trennwände aus unverputztem KS-Sichtmauerwerk** zwischen beheiztem Treppenhaus und Keller sowie die ebenso hergestellte Außenwand des beheizten Kellertreppenhauses eines EFH hatten trotz sorgfältiger Herstellung eine Vielzahl kleiner Luftundichtheiten.
- **Drempelmauern**, vor denen später noch Leichtbau-Abkleidungen montiert werden sollten, wurden in vielen Objekten nicht oder erst nach Bemängelung verputzt, obwohl die Leichtbauabkleidungen von ihrer Ausführung her ebenfalls nicht luftdicht geplant waren. An solchen Objekten konnten bei Luftdichtemessungen starke Luftströme an den Abseitentüren, Steckdosen und Bodenanschlüssen der vorgestellten Leichtbauwände ermittelt werden.
- **Hinter Sanitärobjekten** (Badewannen, Duschwannen, Spülkästen oder komplette Vorwandinstallationen), die an Außenwänden plaziert sind, wurde mehrfach nicht verputzt, weil die Anforderung des Putzes hier nicht bewußt war oder weil die Installateure bereits vor den Putzern tätig wurden. In zwei Fällen wurden nach Bemängelung Teile der Installationen wieder entfernt, um diese Teilflächen der Außenwände gesondert zu verputzen.
- **Hinter Elektro- und Heizungsverteilerkästen**, die an Außenwänden oder an luftdichtenden Innenwänden wie Wohnungstrennwänden zum unbeheizten Treppenhaus oder Trennwänden zum unbeheizten Keller montiert sind, wurde häufig aus denselben Gründen nicht verputzt. Hier kumulieren sich die Effekte von Putzfehlstellen der Wände mit Luftundichtheiten der Durchdringungen von Rohr- und Leitungsbündeln durch Trenndecken oder Trennwände (vgl. Kap. 6.5).
- **Hinter Abkastungen von Wasser- oder Lüftungsleitungen**, die längs Außen- oder Innenwänden verlaufen und sogar aus dem luftdichten Innenbereich in den Außenbereich von Kellern oder Dachböden weiterführen, war vielfach nicht verputzt, so daß diese Abkastungen außenluftdurchströmte Kanäle im beheizten Innenraum bilden. Häufig ist hier nur die raumseitige Fliesenbekleidung der Leichtbau-Abkastungen luftdichtende Trennschicht.
- **Unzugängliche Wandflächen hinter Sichtbalken**, die nur wenige Zentimeter von einer Außenwand entfernt verlaufen, konnten aus rein praktischen Gründen mehrfach nicht verputzt werden, weil die Spalte zwischen Balken und Rohmauer für den Putzer zu eng waren. Dies Problem trat u.a. an zwei NEH mit Mauerwerken aus Leichtlochziegeln auf, deren Steine mit Zahnprofil nur stumpf gestoßen und in der Stoßfuge unvermörtelt waren, so daß hier erhebliche Undichtigkeiten bestanden. Die Zwischenräume zwischen Wand und Sichtbalken wurden dann teils mit Dämmstoff gestopft an den Balkenober- und Unterseiten mit Leisten abgedeckt, was den gewünschten optischen Effekte der Sichtbalkendecke beeinträchtigte und trotzdem nicht zufriedenstellend funktionierte.
- **Die unteren Anschlüsse des Innenwand-Putzes an die Rohdecken** wurden oft nicht sauber hergestellt, so daß an den Fugen der untersten Steinreihe direkt über der Rohdecke Luftundichtheiten auftraten, die bei späteren Luftdichtemessungen als Luftströme an der Estrichkante fühlbar waren. Ursache war hier teils, daß die Putzer meinten, dem später ohnehin vom Estrich verdeckten unteren Putzrand käme keine Bedeutung zu. In anderen Fällen hatten Installateure Elektro- oder Sanitärrohre längs der Außenwand direkt in der Ecke zwischen Rohdecke und Mauer verlegt, so daß die Wand hinter diesen nicht mehr bis zur Rohdecke herab verputzt werden konnte (siehe Fotos).
- **Außenwandflächen in später von abgehängten Decken verdeckten Raumhöhen**, bei denen die Bedeutung des Verputzens für die Luftdichtung nicht verstanden wurde, wurden im Untersuchungsgebiet nicht direkt beobachtet, mögen aber Ursache einiger diffuser Undichtigkeiten unter abgehängten oder innerseitig holzbekleideten Decken gewesen sein.
- **Erst nach dem eigentlichen Verputzen montierte zusätzliche Mauerteile** blieben in mehreren Fällen unverputzt, vor allem wenn diese von anderen Gewerken in Nebenleistung montiert aber nicht verputzt wurden und ein Putzer nicht nochmal herbeigegeben wurde. Solche Stellen kamen mehrfach unter den Zargen oder Blendrahmen bodentiefer Fenster, Terrassentüren und Haustüren sowie von Erkerelementen vor.

Die folgenden Fotos zeigen Beispiele derartiger Problemstellen aus der Baupraxis der Luftdichtung von Massivbauteilen.



Bild 6.2- 1: Nicht luftdichte, weil nur fugenverspachtelte Porenbeton-Außenwände mit späterer innerer Bekleidung aus Gipskartonplatten.



Bild 6.2- 2: Nicht luftdichte, weil unverputzte Drempelmauer unter der Fußpfette. Die Leichtbau-Abseitenwand ist wegen der vielen durchdringenden Installationen ebenfalls nicht luftdicht.



Bild 6.2- 3: Nicht luftdichte, weil unverputzte Mauer unter der Fußpfette im Drempelbereich. Als Ersatz wurde die Luftdichtungsfolie des Schrägdaches bis auf die Rohdecke herabgeführt.



Bild 6.2- 4: Vorwandinstallationen an einer unverputzten luftundichten Außenwand. Nach Bemängelung wurden die Installationen wieder abgebaut und die Wand vorab verputzt.



Bild 6.2- 5: Elektro-Hüllrohr direkt an Außenwand verlegt behindert vollflächiges Verputzen der Wand bis zur Rohdecke herab.



Bild 6.2- 6: Elektro-Hüllrohr mit Abstand zur Außenwand verlegt ermöglicht vollflächiges Verputzen der Wand bis zur Rohdecke herab.



Bild 6.2- 7: Montage der Abwasserleitung direkt an der Außenwand verunmöglicht das Verputzen der Wand bis zur Rohdecke herab und führt zu erheblichen Luftundichtheiten.



Bild 6.2- 8: Unverputzte oberste 80 cm einer Außenwand im Bereich einer später abgehängten Decke bewirken gravierende Luftundichtheiten (Foto nicht aus dem Untersuchungsgebiet).

6.3 Luftdichtheit an Leichtbauteilen

Unter luftdichtenden Leichtbauteilen werden im folgenden Konstruktionen aus Holz- oder Leichtmetallprofilen verstanden, deren Zwischenräume mit Dämmstoffen verfüllt sind und die warmseitig durch Plattenwerkstoffe oder Folien die Luftdichtheit sicherstellen sollen. Bis auf ganz wenige Ausnahmen sind diese Bauteile zugleich thermisch trennend. Im Untersuchungsgebiet gibt es luftdichtende Leichtbauteile vor allem im Bereich der üblichen Holzkonstruktionen von Schrägdächern, Kehlbalkendecken, Gaubenseitenwänden, Gaubendächern und Erkerdächern. Weiterhin gibt es luftdichtende Leichtbau-Trennwände zwischen beheizten und unbeheizten Räumen und als Leichtbaukonstruktion ausgeführte Innendämmungen vor unverputzten Massivwänden.

Die Luftdichtheit an Leichtbauteilen kann entweder durch die **luftdichte Ausführung der** inneren oder äußeren **Bekleidung oder** durch das Einbringen einer **zusätzlichen vollflächigen Luftdichtungsschicht** hergestellt werden. Die Leichtbaukonstruktionen selbst, d.h. ihre tragenden Elemente, ihre Dämmschichten oder Dämmstoff-Füllungen und ihre inneren Sichtschalungen, Vertäfelungen, Gipskartonplatten oder Tapeten sind wegen ihrer materialbedingten Luftdurchlässigkeit, ihrer vielen Fugen oder ihres Alterungsverhaltens normalerweise nicht ausreichend und dauerhaft luftdicht. Für das Dichten von Leichtbauteilen in der Fläche, an Anschlüssen oder Durchdringungen gibt es verschiedene Konstruktionen und jeweils geeignete Materialkombinationen.

Eine **Luftdichtung ausschließlich über luftdicht verarbeitete Bekleidungen** wie Holzwerkstoff- oder Gipskartonplatten ohne zusätzliche Folien oder Pappen erfordert neben luftdichten Plattenwerkstoffen vor allem eine dauerhafte Abdichtung der Plattenfugen sowie geeignete Anschlüsse der Platten an andere Bauteile. Da die Tragkonstruktion aus Holz hergestellter Leichtbauten relativ starke Eigenbewegungen hat, ist diese Anforderung grundsätzlich schwierig zu erfüllen. Reine Nut-Feder-Verbindungen relativ dünner Holzwerkstoffplatten oder das Verspachteln von Fugen zwischen Gipskartonplatten mit eingelegter Glasfaserarmierung erfüllen die Anforderung einer dauerhaft elastischen Luftdichtung unseres Erachtens nicht, selbst wenn die neue DIN 4108/7 solche Materialverbünde als mögliche Luftdichtung nennt. Verleimte Nut-Feder-Verbindungen von Holzwerkstoffplatten ergeben zwar im Tischlereibereich relativ dichte und stabile Plattenverbindungen. Sie nehmen den einzelnen Platten aber die im Holzbau teils erforderlichen Dehnmöglichkeiten und sind in der Holzbaupraxis auch meist nicht mit hinreichender Präzision herstellbar. Ein erfolgreich funktionierendes Luftdichtungskonzept mit Plattenwerkstoffen als Luftdichtung ist die im ökologischen Holzbau verbreitete nachträgliche Überklebung sämtlicher innenseitiger Fugen und Anschlüsse von Feinspan- oder OSB-Platten mit armierter Baupappe. Funktionsvoraussetzung ist hierbei, daß die fugenüberdeckenden Baupappestreifen hinreichend elastisch und mit dauerhaften Klebern, meist auf Acryl-Basis, verarbeitet werden.

Die **übliche Luftdichtung** im Leichtbau erfolgt durch **vollflächige** innenseitige Verlegung zusätzlicher **Kunststoff-Folien** (meist PE), spezieller **Baupappen** oder seltener auch **Aluminium-Kunststoff-Verbundfolien**, die in Bahnbreiten von zwei bis fünf Meter marktüblich sind. Aus Gründen der Handhabbarkeit überdecken sie in der Regel nicht die gesamten Flächen der Leichtbauteile. Insofern ist für eine funktionierende vollflächige Luftdichtung neben dem luftdichten Anschluß an angrenzende Bauteile auch die dauerhafte Verbindung der nebeneinanderliegenden Bahnen erforderlich. Dies mag zunächst selbstverständlich erscheinen, wirft aber durchaus einige Probleme auf.

Holzwerkstoffplatten als Luftdichtung wurden im Untersuchungsgebiet nur bei zwei Objekten verwendet. Die Plattenfugen und die Anschlüsse an umgebende Bauteile wurden hier mit Baupappestreifen und Acrykleber gedichtet. Die direkt auf die Holzwerkstoffplatten aufgebrachte raumseitige Gipsarton-Bekleidung bildet eine zusätzliche mechanische Sicherung der überklebten Fugen. Diese Verarbeitungstechnik wurde an den Objekten vergleichsweise konsequent durchgehalten, an schwierigen Anschlußdetails wurden aber auch ungeeignete Klebebänder und Silikon verwendet. Die Luftdichtung mit Holzwerkstoffplatten und Baupappe-Streifen und deren Verbindung mit Kartuschenkleber war für die Monteure leichter und schneller handhabbar als die Verlegung und Verbindung von PE-Folien, da die Pappe mechanisch stärker belastbar und leichter zuzuschneiden ist. Sie wurde auch sorgfältiger ausgeführt als die Folienverlegung. Da bei diesen Gebäuden keine Luftdichtemessung durchgeführt wurde, konnte die einwandfreie Funktion dieser Luftdichtungstechnik nicht ermittelt werden. Aus außerhalb des Untersuchungsgebietes vermessenen NEHs mit solcher Luftdichtungstechnik ist jedoch bekannt, daß damit sehr gute Ergebnisse erreichbar sind.

Polyethylenfolie als Luftdichtungsschicht wurde im Untersuchungsgebiet in allen anderen Objekten verlegt. Die Anschlüsse der einzelnen Folienbahnen aneinander und der Fugen zu umgebenden und durchdringenden Bauteilen wurden dabei mit sehr unterschiedlich geeigneten Materialien ausgeführt. Nicht selten wurde im selben Objekt die Folie an den Wandanschlüssen unter Streckmetall eingeputzt, an Kehlbalkendurchdringungen wurde mit Kompriband, am Dachflächenfenster und an Durchdringungen mit Klebeband sowie an unvorhergesehenen Fugen mit Silikon gearbeitet, welches als Verklebungsmaterial für PE-Folien wegen fehlender Klebekraft ungeeignet ist.

Nicht luftdichte Anschlüsse an andere Bauteile gab es bei vielen Objekten, sie waren zum Zeitpunkt der Luftdichtemessung aber nur noch teilweise einsehbar. Von den offenliegenden und einsehbaren Details waren im Leichtbaubereich bei fünf von neun Objekten (55%) der Anschluß der Folie an die Giebelwand, bei fünf von sieben Objekten (71 %) der Übergang von Schrägdach zu Drempel, bei zwei von vier Objekten (50 %) der Übergang des Schrägdaches zur Gaube und bei drei von sieben Objekten (43 %) der Folienverbund untereinander stellenweise nicht luftdicht hergestellt.

Wesentliche **praktische Probleme der Luftdichtung** durch Folien oder Pappen liegen bei der **Materialwahl und der Verbindungstechnik**. Auf den Baustellen bestanden während der Bauzeit weder Staubfreiheit noch Trockenheit noch angenehme Zimmertemperatur, sondern im Gegenteil teils hoher Staubgehalt, stark schwankende Feuchtigkeit und Temperaturen von Hochsommerhitze bis in den Frostbereich. Viele auf reiner Verklebung basierende Verbindungstechniken, vor allem Klebebänder, entfalten ihre erforderliche Wirkung nicht, da bestimmte Verarbeitungs-Randbedingungen nicht eingehalten wurden. So haben die meisten Klebebänder als Voraussetzung für das Entfalten ihrer vollen Klebewirkung, daß bei ihrer Montage ein bestimmter Mindest-Anpreßdruck erreicht wird. Die zu verklebenden Überlappungen von Folien- oder Pappenbahnen lagen im Leichtbaubereich jedoch oft an Stellen, an denen kein fester Untergrund vorhanden war, sondern lediglich eine weiche Dämmstoffmatte oder sogar ein unverfüllter Lufthohlraum z.B. zwischen Latten, den die zu verklebenden Bahnen frei überspannen. An solchen Stellen konnten Klebebänder bei der Montage normalerweise nicht ausreichend angepreßt werden und infolgedessen ihre Wirkung auch nur eingeschränkt entfalten.

Das **dauerhafte Funktionieren** von reiner **Verklebung** als Verbindungstechnik von Folien- und Pappen scheint selbst bei richtiger Verarbeitung dieser Materialien deshalb **durchaus ungewiß** zu sein. Die Anforderung an die Funktionsdauer der Luftdichtung eines Leichtbauteils ist jedoch grundsätzlich genauso hoch anzusetzen wie die an die Standzeit des Leichtbauteils, welche 50 bis 80 Jahre betragen kann. Hohe Anforderungen an die Funktionsdauer sind besonders dann wichtig, wenn luftdichtenden Schichten so eingebaut werden, daß sie nach Ablauf ihrer Lebensdauer nicht einfach und kostengünstig reparierbar sind. Der eventuelle Vorteil kostengünstiger Erstverbindetechniken verkehrt sich spätestens dann in sein Gegenteil, wenn wegen vorzeitigen Versagens der Verbindungsmittel von Luftdichtungsbahnen Innenverkleidungen wieder entfernt oder mit Beschädigung geöffnet werden müssen, um Nachklebungen vorzunehmen.

Über die **Dauerhaftigkeit** reiner Verklebetechniken gibt es wegen der rasanten Entwicklung des Luftdichtungs-Marktes nur **wenig belastbares Wissen**. Über die sichere Funktionsdauer der Kleber und ihrer Trägermaterialien bei geeigneten Randbedingungen und vor allem über Verkürzung dieser Soll-Funktionsdauer bei abweichender Temperatur- und Feuchtebelastung, mechanische Beanspruchung (Zugkräfte, Windflattern etc) oder bei Einwirkung von Drittchemikalien aus umliegenden Baustoffen gibt es nur ausgesprochen vage Informationen und keine klaren Gewährleistungen. Die den Verkaufspackungen beiliegenden Verarbeitungshinweise von Bauklebebändern, sofern überhaupt vorhanden, scheinen eher dazu zu dienen, eventuelle Schadensersatz-Ansprüche gegen den Hersteller abzuwehren, als dazu, Unverträglichkeiten oder Nichteignung der einzelnen Produkte nachvollziehbar zu benennen. Diese sensiblen und den Klebebandherstellern sicherlich bekannten Produktdaten sind deshalb auf dem Verarbeitermarkt so gut wie unbekannt. Der Baustoffhandel verfügt im Regelfall ebenfalls über keine ausreichenden Informationen und selbst bei den Handelsvertretern der Herstellerfirmen überwiegt nach unserer Erfahrung das Verkaufsinteresse das nach kritischer Aufklärung.

Unsere **Konsequenz aus diesen Ungewißheiten und Erfahrungen** ist, daß wir von reinen Verklebungen als Verbindungstechnik von luftdichtenden Pappen oder Folien inzwischen generell abraten und nur dauerelastische und zusätzlich mechanisch gesicherte Verbindungstechniken für für hinreichend leistungsfähig und sicher halten. Als dichtendes Material scheinen uns hierfür acrylbeschichtete PE-Filme, Butyl-Materialien (Kunstkautschuk) oder klassische "Kompribänder" geeignet. Die mechanische Sicherung kann bei Lage der Folien oder Pappen zwischen glatten Werkstoffplatten (z.B. zwischen direkt aufeinander montierter OSB- und Gipskartonplatte) allein durch die Verschraubung der beiden Platten,

sonst durch auf harten Untergrund genagelte oder geschraubte Anpreßleisten erfolgen (siehe spätere Fotos). Die Herstellung eines harten Untergrundes unter allen Folienstößen und die Herstellung einer dauerhaften mechanischen Anpressung aller Dichtstellen durch Leisten oder andere Materialien ist sicherlich aufwendiger als ein rein oberflächliches Verkleben. Der Aufwand ist jedoch begrenzt, wenn bei der Festlegung der Lage und des Verlaufs von Balken, Latten und Plattenwerkstoffen in der Leichtbaukonstruktion der geplante Verlauf der luftdichtenden Ebene von Anfang an berücksichtigt wird.

Der erforderliche **Aufwand für das Erreichen einer hohen Luftdichtheit an Leichtbauteilen** ist je nach gewählter Materialkombination sehr unterschiedlich. Im Untersuchungsgebiet wurde bei allen Objekten, bei denen eine Luftdichtheitsmessung vorgenommen wurde, eine Polyethylen-Folie als Luftdichtungsebene gewählt. Dieses Massenprodukt ist als reines Material und in der Flächenverlegung sehr preiswert. Auch der Anschluß an verputzte Massivbauteile durch Einputzen unter Streckmetall läßt sich problemlos und rationell ausführen. Korrekte Folienanschlüsse an Stahlträger, Holzbalken oder lasierte bzw. lackierte Holzoberflächen sind dagegen mit Folie eher schwierig, da Verklebungen hier meist nicht ausreichend haften und mechanische Sicherungen arbeitsaufwendig sind oder als unschön angesehen werden. Spezielle Bauklebebänder, die auf verschiedenen Untergründen haften sollen, sind trotz fraglicher Dauerhaftigkeit relativ teuer.

Der erhöhte Montageaufwand zum Erreichen der dauerhaften Luftdichtheit führte bei den Planern, die mehrere Objekte im Untersuchungsgebiet betreuten, zu unterschiedlichen Folgerungen. Manche Planer delegierten die Ausführung der luftdichtenden Schichten nach ersten schlechten Erfahrungen beim Folgebauvorhaben an die Bauleute zur Eigenleistung. Andere umgingen die Schwierigkeiten mit zunehmender Erfahrung durch stark vereinfachte Holzbau-Konstruktionen. Durchdrängen beim ersten gemessenen Objekt noch alle Kehlbalken die luftdichtende Folienschicht und mußten mühsam und mit trotzdem meist nur mäßigem Erfolg abgedichtet werden, so wurde beim nächsten Objekt die Luftdichtungsebene unterhalb der Kehlbalkenebene belassen, so daß die Abdichtung der Durchdringungen entfiel, oder es wurde eine Dachkonstruktion ganz ohne Kehlbalken realisiert. Der Erfahrungsgewinn aus Luftdichthemessungen und Mehrkosten der Mängelbeseitigung bewirkte so teils ein Umdenken und Konstruktionsverbesserungen.

Probleme bei der Luftdichtung einzelner Leichtbauteile gab es viele, von denen ein Teil schon bei den jeweiligen Bauteilen in Kapitel 4 beschrieben sind. Nachfolgend sind einige bauteilübergreifende Aspekte genannt.

- **Unklarheiten über die Funktion der Luftdichtung** im Leichtbaubereich gab es bei vielen Betroffenen. Oft wurden das Material oder die Funktion der Luftdichtung mit denen der Winddichtung, der Dampfsperre bzw. Dampfbremse oder der Unterdachbahn verwechselt. Die Verwechslungen wurden dadurch verstärkt, daß bei vielen Aufbauten eine Schicht mehrere Funktionen hat und dafür unterschiedliche Anforderungen erfüllen muß. So ist bei allen untersuchten Objekten die innere luftdichtende Ebene identisch mit der dampfbremsenden bzw. dampfsperrenden Ebene. Hier gab es Verständniskonflikte zwischen der Erfordernis der Luftdichtung und der Möglichkeit eines diffusionsoffenen inneren Aufbaus, welcher dann auch Auswirkungen auf die Unterdachkonstruktion hat. Ebenfalls ist bei fast allen untersuchten Objekten die äußere Winddichtung der Dämmstofflage identisch mit dem für den Notwasserablauf verantwortlichen Unterdach. Hier gab es Verständniskonflikte zwischen der Sinnhaftigkeit der äußeren Winddichtung der Dämmung und der Notwendigkeit der Sicherstellung der äußeren Feuchteabfuhr aus der Dämmung durch eine ausreichende Diffusionsoffenheit oder Hinterlüftung des Unterdachs bzw. der kaltseitigen Bekleidung. Nicht zuletzt wurde die hohe Luftdichtheit von Leichtbauteilen oft irrtümlich als Widerspruch zur gewünschten Raumluftqualität angesehen, für die eine gewisse "natürliche Durchströmung durch Fugen" als Vorteil angesehen wurde. Die bauphysikalischen Risiken der Luftundichtigkeit (Bauschäden durch Feuchteintrag) waren dagegen meist nicht bekannt oder wurden unterschätzt.
- Der **Verlauf der luftdichtenden Schichten** in Leichtbauteilen wurde meist vorab **nicht sorgfältig durchdacht und festgelegt**. Dadurch kam es zu vielen vermeidbaren Komplikationen und Fehlstellen an Durchdringungen von Holzbalken, Latten, Metallprofilen oder anderen Konstruktionselementen der Leichtbauteile. Diese Komplikationen entstanden vor allem dadurch, daß bei der Planung der Leichtbau-Tragkonstruktionen der Dachstühle, Gauben, Trennwände oder Leichtbau-Vorsatzschalen nur deren eigene möglichst einfache Herstellung für die Zimmerleute, Bautischler oder Trockenbauer im Vordergrund stand und die spätere einfache Luftdichtbarkeit nicht mitüberlegt wurde. Die wesentliche Anforderung für das einfache Verlegen einer Luftdichtung - ein unterbrechungsfreier glatter Verlegeuntergrund und eine möglichst geringe Zahl von Durchdringungen und

Verbindungsstellen, an denen sich drei Schicht-Ebenen treffen - wäre dabei häufig ohne besonderen Aufwand herstellbar gewesen.

- An den **Durchdringungen von Holzbalken oder Latten** durch Luftdichtungsschichten gab es **bei jedem Objekt Ausführungsmängel** unterschiedlichen Umfangs. Häufig wurden solche Durchdringungen nur mit Klebebändern abgedichtet, ohne zuvor Folien- oder Pappmanschetten überzustülpen. Dabei blieben in der Regel Luftleckagestellen offen und die Haftung der Klebebänder auf den sägerauhen Holzoberflächen war von Anfang an gering und ließ nach kurzem schon spürbar nach. Schon während der Bauzeit entstanden zudem Trocknungs-Luftrisse an den meisten Balken unter dem Klebeband hindurch. In mehreren NEH wurden Balkendurchdringungen mit selbstaufquellendem Dichtband zwischen Holz und Folien abgedichtet und mit einer äußeren Anpreßlatte zusätzlich mechanisch gesichert; diese Art der Anarbeitung schien - von den Trocknungsrisse des Holzes abgesehen - die dauerhaft stabilste zu sein.
- **Ungeeignete Klebebänder** waren neben gänzlich fehlenden luftdichtenden Ebenen und Verarbeitungsmängeln das Hauptproblem der Luftdichtheit der untersuchten Objekte. Teils wurden mit ausdunstenden Weichmachern elastifizierte (PVC) Kunststoff-Klebebänder verwendet, die nach Ausdunsten der Weichmacher verspröden, teils feuchteempfindliche Klebebänder, die sich rasch wieder ablösten und teils aus dem Bürobereich stammende Bänder mit ohnehin nur begrenzter Soll-Haltbarkeit. Solche Klebebänder wurden nicht nur an PE-Folienstößen, sondern teils auch an Verbindungen zwischen PE-Folie und sägerauhen Hölzern, lasierten Hölzern, Hartfaser- oder Spanplatten, unverputztem oder verputztem Mauerwerk, Ortbeton, Gipskarton, unbehandelten oder verzinkten Stahlträgern, Hart- und Weichschaumhüllen von Leitungen, Rippenrohren und anderen Bauteilen eingesetzt. Hier hatten sie selbst bei idealer Verarbeitung von Anfang an keine ausreichende Haftfähigkeit. Lediglich auf glatten, trockenen, staub- und fettfreien Lack-, Holz-, Kunststoff- und Metalloberflächen können solche Bänder längere Zeit haften. Spezielle Bau-Klebebänder für die Verbindung von PE-Folien für typische andere Bau-Untergründe wurden fast nie eingesetzt. Die Bemängelung solcher Materialien führte nur in wenigen Fällen zu Nachbesserungen.
- Die **Bedeutung der einwandfreien Verklebung** für das langfristige Funktionieren der Luftdichtung wurde wegen der verbreiteten Geringschätzung der generellen Bedeutung der Luftdichtigkeit oft anfangs nicht erkannt. Erst nach intensiver Aufklärungsarbeit und wiederholter Ersichtlichkeit des raschen Versagens ungeeigneter Klebebänder durch Ablösung schon nach wenigen Bauwochen oder während der Unterdruckbelastung bei der Luftdichtemessung konnte erreicht werden, daß bei den späteren Bauten immerhin deutlich häufiger speziell für die PE-Folienverklebung vorgesehene Klebebänder verwendet wurden.
- Als **dauerelastische Verbindungsmittel** zwischen luftdichtenden Folien, Pappen und anderen Oberflächen wurden vielfach selbstaufquellende Dichtbänder ("Kompriband") verwendet. Mängel traten hier auf, wenn die Fugen zu große Breitentoleranzen hatten, die die Quellfähigkeit überforderten oder wenn die Fugenflanken so stark profiliert waren, daß sie die Verformbarkeit der Dichtbänder überforderten. Dies kam z.B. mehrfach an Ziegelsteinen, an unvermörtelten Mauerwerksfugen, an Luftrissen von Holzbalken oder an eingeneteten oder stark profilierten Fensterblendrahmen vor.
- **Fehler beim Einputzen überstehender Folienränder** am Anschluß an Massivbauteile gab es, wenn die überstehenden Folienränder zu knapp bemessen waren, wenn sie von einem über dieses Detail nicht informierten Putzer irrtümlich abgeschnitten statt eingeputzt wurden oder wenn sie beim Überputzen mit der Kante der Metallkelle im Randbereich versehentlich eingeschnitten wurden. Um vor allem die Fehler zu kurzer Überstände und des versehentlichen Abschneidens zu vermeiden, wurde empfohlen, daß bereits die Trockenbauer das Streckmetall montieren.
- **Nicht ausführbar war das Einputzen** von Folienrändern unter Streckmetall in mehreren Objekten an Stellen, an denen statt Mauerwerk Beton-Träger, -Unterzüge, -Stürze oder -Stützen vorhanden waren, die gar keine Putzbeschichtung, sondern nur einen Farbanstrich erhalten sollten. Solche Details bedürfen der vorherigen Luftdichte-Anschlußplanung. An diese Stellen wurde teilweise auf eine Anarbeitung der Folien ganz verzichtet.
- **Ungeeignete Mittel wie Silikon oder Ortschaum** wurde in mehreren Objekten an schwer zugänglichen oder abdichtbaren Luftundichtigkeiten am Anschluß zwischen PE-Folien und anderen Oberflächen eingesetzt. Die mangelnde Eignung beider Materialien für die dauerhafte Luftdichtung ergibt sich aus deren fehlender Klebehaftung auf PE-Folien und beim Ortschaum zudem aus seiner

Versprödung beim Altern. Während Silikon in mechanisch stabilen Fugen bestimmter Größe als luftdichtender Fugenfüller durchaus funktionieren kann, ist üblicher Montage-Ortschaum generell zur Luftdichtung ungeeignet und lediglich als Verfüllstoff für größere Hohlräume nutzbar, über dessen Oberfläche dann noch eine andere Luftdichtung einzubauen ist.

- **Falsch eingebaut** wurden luftdichtende Materialien teils auch aus Unverständnis. So wurde bei Anschlüssen von Folien auf Putzoberflächen mehrfach das dichtende Kompriband zwischen die Folie und die Anpreßplatte verlegt statt zwischen Folie und rauher Putzoberfläche.
- **Mißverstanden** wurde in einem Objekt mit als Luftdichtung vorgesehener Holzwerkstoffplatte im Schrägdach die Erfordernis des luftdichten Überklebens der Plattenstöße. Statt einer raumseitigen Überklebung der Holzwerkstoffplatten mit luftdichtender Folie oder Baupappe wurden rückseitig der Stöße Streifen der restlichen Unterdachbahn lose auf die Traglattung genagelt und dann die Werkstoffplatten vorgeschraubt. Diese Folienstreifen erfüllen so keinerlei luftdichtende Funktion und das Maß der tatsächlichen Luftdichtheit ergibt sich allein aus der Fugenbreite der Platten und der späteren inneren Gipskartonbekleidung. Da das Haus nicht vermessen wurde, ist der Effekt nicht bekannt.
- **Nachträgliche Beschädigungen** der luftdichtenden Schichten durch Unachtsamkeit, falsche Bauabfolge unterschiedlicher Gewerke oder unbedachte Montagetechnik späterer Schichten gab es mehrfach, wobei die offensichtlichen Beschädigungen überwiegend auch wieder beseitigt wurden.
- **Großflächige nachträgliche Beschädigungen** luftdichtender PE-Folien wurden in einigen Objekten durch Verwendung zu langer Spax-Schrauben bzw. zu dünner Traglatten bei der Gipskartonplatten-Montage hervorgerufen, wenn die Folienebene außenseitig der Gipskarton-Traglatte verlegt war. Hier ragten die Spitzen der GK-Spax-Schrauben nach dem Einschrauben hinten aus der GK-Traglatte heraus und perforierten die dort verlegte Folie. Da pro Haus über 1000 Spax-Schrauben bei der GK-Plattenmontage verbaut werden, kann von flächiger Perforation der Folie gesprochen werden. Dieses Problem trat nicht auf, wenn die PE-Folie zwischen GK-Traglattung und GK verlegt wurde. In diesem Falle durchdringen die Schrauben zwar auch die PE-Folie, die von ihnen an die Latte gepreßte GK-Platte dichtet das Loch jedoch zugleich wieder ab. Bei außenseitig der GK-Lattung verlegten PE-Folien kann dagegen die scharfkantige Spax-Schraube nicht nur Löcher, sondern sogar größere Risse in der PE-Folie hervorrufen.

Die folgenden Bilder zeigen einige der Luftdichte-Details von Leichtbauteilen:



Bild 6.3- 1: Luftdichtung aus großflächiger Polyethylenfolie.



Bild 6.3- 2: Luftdichtung durch OSB-Spanplatten mit Nut-und-Feder-Verbindung.



Bild 6.3- 3: Luftdichtung durch OSB-Spanplatten und Überkleben der Plattenfugen mit Baupappestreifen.



Bild 6.3- 4: Anschluß von Folien an Mauerwerk durch provisorisches Ankleben, Überdecken mit Streckmetall und späteres Einputzen.



Bild 6.3- 5: Folienanschluß durch Einputzen unter Streckmetall funktioniert nicht am Betonträger. Das Streckmetall steht unbenutzt herum.



Bild 6.3- 6: Luftdichtung zwischen Leichtbau und Putz durch auf die Gipsbrettplatte aufgeklebten Baupappestreifen, der an der Wand unter Streckmetall eingeputzt wird.



Bild 6.3- 7: Fehlerhafter Anschluß zwischen PE-Folie und Mauerwerk. Das vorkomprimierte Dichtband kann die starken Profilierungen der unverputzten Wand nicht ausfüllen.



Bild 6.3- 8: Fehlerhafter Anschluß zwischen PE-Folie und Mauerwerk. Das Dichtband ist zwischen Folie und Anpreßleiste statt zwischen Folie und Wand eingebaut.



Bild 6.3- 9: Häufiger Irrtum. Überstehende Folienränder werden abgeschnitten statt eingeputzt.



Bild 6.3- 10: Anschluß eines durchdringenden Balkens mit Klebebändern.



Bild 6.3- 11: Abdichtung eines durchdringenden Balkens mit vorkomprimiertem Dichtband und Anpreßleisten.

6.4. Luftdichtheit an Gebäudeöffnungen

Gebäudeöffnungen im Sinne dieses Kapitels **sind Aussparungen** in flächigen Bauteilen der luftdichtenden Gebäudehülle, die **zum Einbau von Fertigelementen** wie Fenstern, Außentüren, Innentüren, Dachflächenfenstern, Bodenluken, Abseitenklappen etc. vorgesehen sind. Die Luftdichtheit an Gebäudeöffnungen ergibt sich einerseits durch die Luftdichtheit des eingesetzten Fertigelements und andererseits durch seinen Einbau und seinen luftdichten Anschluß an die umgebenden Bauteile. Nicht zu den Gebäudeöffnungen im Sinne dieses Kapitels zählen reine Durchdringungen der luftdichtenden Gebäudehülle z.B. für Installationen; diese werden separat in Kapitel 6.5 behandelt.

Außenfenster kamen in jedem untersuchten Objekt vor, luftdichtende Außentüren in allen Einfamilien- und mehreren Mehrfamilienhäusern mit Außenerschließung der Wohnungen, luftdichtende Innentüren in Form von Wohnungsabschlußtüren zu unbeheizten Treppenhäusern in fast allen Mehrfamilien- und einigen Einfamilienhäusern und in Form von Kellertüren in allen Einfamilienhäusern. Luftdichtende Bodenluken zu unbeheizten Dachräumen gibt es in fast allen Ein- und mehreren Mehrfamilienhäusern. Luftdichtende Abseitentüren waren in keinem Fall eingeplant.

Spezielle **Vorgaben für die Luftdichtheit an Gebäudeöffnungen** gab es durch den Detmolder NEH-Standard nicht. Im allgemeinen Normenwerk gibt es maximal zulässige Fugendurchlaßkoeffizienten von Fenstern und Türen in mehreren Abstufungen je nach Einsatzgebiet dieser Bauteile, die die Leckage-Luftmenge im Verhältnis zur Länge der Einbaufuge angeben. Diese Koeffizienten sind allerdings reine Prüfstandswerte der reinen Tür- bzw. Fensterelemente ohne Berücksichtigung der Einbausituation. Sie sind im eingebauten Zustand mit den in DIN 4108/7 vorgesehenen Meßmethoden für die Luftdichtheit von Gebäuden nicht verifizierbar, da es bei Differenzdruckmessung des gesamten Raumvolumens nicht möglich ist, den Teil-Leckageluftstrom der Fensterfugen zu quantifizieren. Abweichend vom Normenwerk werden Fenster und Türen im Rahmen dieser Untersuchung deshalb als "dicht" bezeichnet, wenn bei Luftdichtemessungen nach ISO 9972 mit 50 Pascal Differenzdruck keine Luftströme an ihnen fühlbar waren, und als "undicht", wenn Luftströme fühlbar waren.

(Bild 6.4-1) zeigt die Häufigkeit der an Gebäudeöffnungen und darin eingebauten Fertigelementen beobachteten Luftundichtigkeiten. Dabei sind bei den einzelnen NEHs Details mit "nein" als undicht eingetragen, wenn an ihnen mindestens einmal ein Leckageluftstrom fühlbar war. Wie häufig diese Details innerhalb eines Objekts luftundicht waren oder wie hoch die festgestellten Leckageluftströme waren, ist damit nicht quantifiziert.

Wegen der unterschiedlichen Detailprobleme werden die generellen Aspekte von Luftundichtigkeiten an Fenstern und Fenstertüren, Außentüren, Innentüren, Bodenluken und an andere Gebäudeöffnungen im folgenden separat behandelt. Die Auflistung einzelner beobachteter Mängel und Fotos aus der Baupraxis sind am Ende des Kapitels zusammengefaßt.

Bei **Fenstern und Fenstertüren** (wie Fenster konstruierte Balkon- und Terrassentüren) zeigten sich eine **Vielzahl von Luftdichte-Schwachpunkten**. Diese basierten entweder

- auf Konstruktions- oder Herstellungsmängeln, wenn die Fenster oder Türen selbst undicht waren, oder
- auf Einbaufehlern, wenn die Elemente z.B so schief eingebaut wurden, daß die Dichtlippen ihrer Flügel oder Blendrahmen im geschlossenen Zustand nicht an den vorgesehenen Gegenflächen anlagen oder wenn die Anschlüsse zwischen den Elementen und den sie umgebenden Bauteilen nicht oder unzureichend abgedichtet wurden.

Luftundichtheiten durch **Konstruktions- oder Herstellungsmängel** wurden in unterschiedlicher Höhe bei den Fenstern und Fenstertüren aller untersuchten Objekte bis auf eine einzige Ausnahme ermittelt.

Die häufigste konstruktionsbedingte Luftundichtheit entstand durch serienmäßig **unterbrochene Lippendichtungen** der Fensterflügel oder Blendrahmen an den Rahmenecken und im Bereich der Scharniere oder Beschläge. Dies ist in Fenstern ohne Auslegung für eine besondere Beanspruchungsgruppe nach DIN 18055 zwar zulässig, aber für Niedrigenergie-Häuser mit Luftdichte-Anforderung nicht empfehlenswert. Nur in einem Objekt, welches Fenster der Beanspruchungsgruppe "B" eingebaut hatte, traten diese Leckagen nicht auf.

Objekt	Detail bei Luftdichtemessung dicht?											Anmerkungen	
	Fenster selbst	Wand	Brüstg.	Fenster / Boden	Sturz	Rolladnk.	Haustür/ selbst		Innentür*/		DG-Luke / KB-Decke	gravierende Mängel an diesen Anschlüssen	Einbauort d. Ventilators bei der Messung
2	ja	ja	ja	ja	ja	-	-	-	nein	nein	nein		Wohnungsabschlußtür
11	nein	ja	ja	ja	-	nein	ja	ja	?	?	nein	Bodenluke sehr undicht	KG-Treppenhaustür
12	ja	ja	nein	ja	ja	-	ja	ja	?	?	nein	Bodenluke sehr undicht	KG-Treppenhaustür
13	ja	ja	ja	ja	ja	-	nein	nein	?	?	-	AWs nur GK bekleidet	Tür z.KG-Treppenabg.
17	nein	nein	ja	nein	ja	-	ja	ja	ja	nein	-	-	KG-Treppenhaustür
20	nein	ja	ja	ja	-	ja	-	-	nein	nein	(ja)	zus. prov. Dichtg.d.DG-Luke	KG-Treppenhaustür
26	nein	ja	nein	nein	ja	-	-	-	?	?	-	-	Wohnungsabschlußtür
29	nein	ja	nein	ja	ja	-	-	nein	?	?	-	Terrassentüren undicht	Wohnungsabschlußtür
33	ja	ja	nein	ja	ja	-	-	-	?	?	-	-	Wohnungsabschlußtür
4	nein	nein	nein	ja	ja	-	-	-	?	?	-	Fenster undicht	Wohnungsabschlußtür
8	nein	ja	nein	ja	ja	-	nein	ja	?	?	-		KG-Treppenhaustür
21	nein	nein	ja	nein	nein	-	?	?	-	-	-	-	Wohnungsabschlußtür
22	nein	nein	ja	ja	-	ja	ja	ja	?	?	?	-	KG-Treppenhaustür
10	ja	ja	nein	nein	-	ja	nein	nein	?	?	nein	-	KG-Treppenhaustür
16	ja	nein	-	-	ja	-	?	?	?	?	-	Türen fehlten noch	Fenster
25	ja	ja	nein	ja	ja	-	?	?	?	?	-	Türen, Fensterbänke fehlten	Fenster
Fehleranteil	56%	32%	53%	26%	8%	25%	43%	38%	67%	100%	100%		

* Thermisch trennende und winddichtende Innentüren

Bild 6.4- 1: Luftdichtheit von Fenstern, Türen, Luken und deren Anschlüssen an die umgebenden Bauteile.

Bei vielen Fenstern und Fenstertüren gab es konstruktionsbedingte Leckagen an den **Fugen zwischen Rahmenprofil und Glashalteleiste, zwischen Glashalteleiste und Verglasung** sowie **zwischen Sprossen und Verglasung**. Diese traten vor allem bei Kunststofffenstern mit luftoffenen Hohlprofil-Rahmen auf, bei denen ausschließlich die aufgeclipsten Glashalte- oder Sprossenleisten als Luftdichtung funktionieren sollten, dieser Anforderung aber nicht genügten. Die hier beobachteten Undichtheiten lagen zum Teil an den Formen der Clipsprofile, teils auch an offensichtlich zu kurz abgesägten Glashalteleisten, an deren Gehrungen sichtbare Fugen offenblieben.

Konstruktive Luftundichtheiten **an Eckverbindungen von Hohlprofilrahmen** wurden nicht ermittelt, da die eingebauten Kunststoffrahmen an ihren Ecken sämtlich verschweißt waren und reine Aluminiumrahmen, bei denen diese Leckage häufig vorkommt, nicht eingebaut wurden.

Luftundichtheiten **am Anschluß unter- oder oberseitiger Aufdopplungsprofile** an Blendrahmen wurden in einigen Objekten beobachtet. Solche Verlängerungsprofile waren grundsätzlich als wärmebrückenarme Art der Unterfangung von bodentiefen Fenstern oder Fenstertüren bei überhohen Bodenaufbauten oder als obere Verlängerung der Rahmen bei zusätzlich umdämmten Rolladenkästen empfohlen worden. Ihre Verbindung an den Blendrahmen bestand bei mehreren Kunststoff-Fenstern aber nur aus einer simplen Steckverbindung mit luftundichter Fuge zwischen Blendrahmen und Aufdopplungsprofil, die nachher noch überklebt und deren Klebeband dann wieder verkleidet werden mußte. Bei hölzernen Aufdopplungsprofilen an Holz-Fensterrahmen wurden keine Luftundichtheiten beobachtet, da die hier übliche Verleimung der Nut-Feder-Verbindung eine luftdichte Verbindung ergibt.

Luftundichtheiten durch Einbaufehler gab es gleichermaßen bei Holz- und Kunststofffenstern **infolge schiefen Einbaus** der Blendrahmen, an denen die Fensterflügel nicht mehr plan anlagen. Fehlerursachen waren hierfür instabile Blendrahmen, schiefe Verkeilung, schräg ziehende Schrauben oder zu stark pressende Montageschäume. Ebenso gab es Luftundichtigkeiten am Anschluß von Fenstern an schief eingebaute Rolladenkästen, wenn in beiden Elementen keine Abdichtungsmöglichkeit des Anschlusses vorhanden war oder genutzt wurde.

Die **stärksten Luftundichtigkeiten** entstanden bei Fenstern und Fenstertüren **beim Abdichten der Rahmen an die sie umgebenden Bauteile**. Bei Fenstern und Fenstertüren in Massivbauteilen war dies die Abdichtung der Rahmen an die Brüstungsmauer bzw. Fensterbank, an die unverputzten oder verputzten seitlichen Laibungen und an den Sturz oder Rolladenkasten. Bei Fenstern oder Fenstertüren im Leichtbaubereich (z.B. Gaubenfenster) ging es um die Verbindungen zu den luftdichtenden Folien oder Holzwerkstoffplatten der Anschlußbauteile. Die Frage des "richtigen" luftdichten und zugleich wärmebrückenarmen Einbaus von Fenstern und Fenstertüren in ein- oder zweischalige Mauerwerks- oder Leichtbauwände nahm insgesamt sehr viel Beratungsbedarf in Anspruch (vgl. Kapitel 4.8 und 4.7) und führte trotzdem nur selten zu wirklich zufriedenstellenden Lösungen. Die traditionelle Montageabfolge des Fenstereinbaus durch Einsetzen der Rahmen auf Justierkeile, punktuelles Verschrauben, "Stabilisieren" durch Ausschäumen der Fugen und dann im wesentlichen nur optische Abdeckung der verbleibenden Fugen mit Putz oder Deckleisten führt im Regelfall nicht zu zufriedenstellenden Lösungen und entspricht auch nicht den Rosenheimer Montage-Empfehlungen oder denen der DIN 4108/7.

Grundsätzlich gibt es **drei Methoden des luftdichten Einbaus** von Fenstern:

1. die luftdichte Verfüllung der Fugen zwischen Außenseite des Blendrahmens und den umgebenden Bauteilen,
2. die luftdichte innere Überdeckung der Fuge zwischen Blendrahmen und umgebendem Bauteil mit einem mechanisch gesicherten dauerelastischen Anpreßdichtband und
3. die luftdichte Abklebung zwischen Blendrahmen und umgebenden Bauteilen.

Um **Fugen dauerhaft luftdicht zu verfüllen**, bedarf es einer für den jeweiligen Füllstoff geeigneten Fugenform und maximalen Fugengröße und dies verlangt vor allem hohe Maßgenauigkeit bei der Herstellung der Gebäudeöffnung. Beim Massivbau verlangt dies unüblich geringe Maßtoleranzen der Maueröffnung bzw. des Innenputzes an Brüstungen, Laibungen und Stürzen, beim Leichtbau ist die Anforderung an die Maßgenauigkeit der Zimmerleute leichter erfüllbar. Werden die für den vorgesehenen Fugenfüllstoff akzeptablen Fugenbreiten überschritten, kann dessen Flankenhaftung in der Fuge oder dessen Elastizität nicht mehr für die gewünschte Luftdichtheit ausreichen. Die relativ engen Fugenmaßtoleranzen der verschiedenen infrage kommenden Fugenfüllstoffe kann man den Herstellerkatalogen entnehmen und muß sie als Planer in die Maßhaltigkeitsanforderung umsetzen. Probleme gab es bei der luftdichtenden Fugenverfüllung vor allem bei Kunststoffrahmen, da diese meist keine glatte Außenseite, sondern tief eingeschnittene Profile haben, die keinen geeigneten Untergrund für Fugenfüller darstellen.

Eine **luftdichte äußere Überdeckung der Fuge** zwischen Blendrahmen und umgebendem Bauteil mit einem mechanisch gesicherten **dauerelastischen Anpreßdichtband** ist eine relativ einfache Luftdichtungstechnik. Sie setzt voraus, daß die von dem Anpreßdichtband zu überdeckende Fugenbreite entweder relativ klein ist oder die Fuge zuvor mit einem nicht luftdichtenden, aber mechanisch hinreichend stabilen Hohlraumverfüller ausgefüllt ist, so daß das Anpreßdichtband ein belastbares Auflager hat. Zudem müssen die bei dieser Dichttechnik etwas dickeren Halteleisten gestalterisch akzeptiert werden. Bei Holzrahmen kann man die Dicke der Leisten reduzieren, wenn man die für das Anpreßdichtband erforderliche Einfräsung nicht in der Leiste, sondern ganz oder teilweise im Blendrahmen vornimmt.

Eine **luftdichte Abklebung** zwischen Innen- oder Außenoberfläche des Blendrahmens und den umgebenden luftdichtenden Bauteilen scheint auf Anhieb auch eine sehr einfache Lösung zu sein, da sie keine hohen Anforderungen an die zu überbrückenden Fugengrößen stellt und wegen der geringen Aufbauhöhe von Klebebändern optisch wenig stört, selbst wenn die Klebebänder evtl. einer zusätzlichen optischen Abdeckung bedürfen. Eine Luftdichtung durch reine Verklebung ist allerdings hinsichtlich der dauerhaften Funktionstüchtigkeit mit all den Unwägbarkeiten versehen, die im Kapitel 6.3 bei Leichtbauteilen schon ausführlich beschrieben wurden. Sofern man einer reinen Verklebung als dauerhafter Luftdichtung an den stark temperatur- und feuchtebeanspruchten Fensterrahmen nicht allein vertrauen möchte, kommt man deshalb recht schnell zu einer der anderen Lösungen zurück.

(Bild 6.4-2) zeigt vereinfacht diese **drei grundsätzlichen Luftdichtungsmöglichkeiten**:

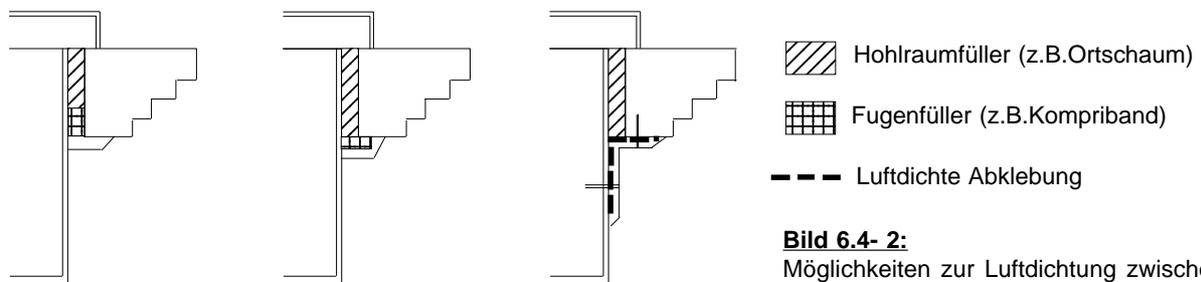


Bild 6.4- 2:
Möglichkeiten zur Luftdichtung zwischen Fensterblendrahmen und Mauerwerk

Von diesen verschiedenen Luftdichtungs-Lösungen wurde im Untersuchungsgebiet unterschiedlich Gebrauch gemacht. **Bis auf wenige positiv hervorzuhebende Fälle** wurde die Luftdichtung beim Fenstereinbau aber **nie detailliert geplant** und in eindeutige Anweisungen umgesetzt. Nur in wenigen Fällen wurde überhaupt die Grundvoraussetzung für luftdichten Einbau, das Putzen der Laibungen oder zumindest Glattspachteln der Mauerwerksfugen, geschaffen. In den meisten Fällen fanden die Fensterbauer unvollständige Brüstungsmauern, überbreite Bauteilöffnungen, unverputzte Laibungen und Stürze vor und benötigten die branchenübliche Improvisationskunst, um die Fenster einzubauen und abzudichten.

Wie (Bild 6.4-1) zeigt, hatten **Fenster und Fenstertüren insgesamt eine erschreckend hohe Häufigkeit von Luftundichtheiten**. In über 56 % der NEH waren die Fenster selbst durch Konstruktionsmängel luftundicht, in 53 % der Objekte waren Anschlüsse an die Brüstungsmauer bzw. Fensterbank luftundicht, bei 25 - 32 % der NEH waren Anschlüsse an Rolladenkasten, Laibung oder Rohdecke undicht und bei 8 % der untersuchten Häuser die Fensteranschlüsse an den Sturz. Die Einzelprobleme sind in Kapitel 4.8 oder am Ende dieses Kapitels aufgelistet.

Die Luftdichtheit von Außen- und Innentüren war ein insgesamt noch schwerer zu handhabender Problembereich. Während die Luftdichte-Erfordernis bei den Haustüren von EFH relativ leicht zu vermitteln war, wurde die luftdichtende Funktion von Kellertüren, die in EFH direkt zum beheizten Wohnraum abgrenzen oder von Wohnungsabschlußtüren in MFH oft anfangs nicht verstanden, da sie im Vergleich zu Haustüren zwischen Zonen geringerer Temperaturdifferenz abgrenzen und nicht der Witterung ausgesetzt sind.

Die luftdichtende Bedeutung von **Kellertüren** ergibt sich vor allem aus ihrer tiefen Lage im Gebäude. Durch den thermischen Auftrieb innerhalb eines Gebäudes liegt an ihnen in der gesamten Heizperiode eine Sogkraft an, die aus dem kalten Keller Luft nachsaugen möchte. Dieser Sog wird in Gebäuden mit Abluftanlage durch deren Unterdruck verstärkt. Durch diese Sogkraft kann am Fußpunkt einer luftundichten Kellertüre ständig kalte, eventuell mit Feuchtigkeit, Schimmelsporen oder Radon belastete Kellerluft in den beheizten Wohnbereich gelangen.

Wohnungsabschlußtüren gegen unbeheizte Treppenhäuser können dagegen unterschiedlichen Druckniveaus ausgesetzt sein. Je nach Betrieb von Lüftungsanlagen, Treppenhaustemperatur und der Höhenlage im Gebäude können bei Undichtheiten Luftströme von den Wohnungen ins Treppenhaus oder vom Treppenhaus in die Wohnungen erfolgen, die neben Wärme auch Feuchte und Gerüche transportieren können. Auch aus Schallschutz- und Rauchschutzgründen sollten Wohnungsabschlußtüren in MFHs möglichst luftdicht sein.

Die Luftdichte-Problematik von Außen- und Innentüren konnte nur wenig in der Vorab-Beratung bearbeitet werden, da bei fast keinem NEH überhaupt oder rechtzeitig **Planungsunterlagen oder Konstruktionsbeschreibungen** für diese Türen vorgelegt wurden, aus denen eventuelle Luftdichtemängel erkennbar gewesen wären. In vielen Objekten wurde die Entscheidung für bestimmte Türen erst kurz vor dem Einbau getroffen. Die tatsächliche Luftdichtheit von Außen- und Innentüren konnte deshalb nur anhand der Beobachtungen bei Luftdichtemessungen beurteilt werden, sofern die jeweiligen Türen zum Meßzeitpunkt schon eingebaut waren und die Blower-Door nicht für die Messung in ihrem Rahmen installiert war.

Viele Luftdichtungs-Aspekte dieser Außen- und Innentüren sind identisch mit denen, die bei den Fenstern und Fenstertüren bereits angesprochenen wurden und werden hier nicht wiederholt. Nachfolgend werden nur die Probleme angesprochen, die sich aus abweichenden Konstruktionsmerkmalen oder Einbauproblemen ergeben. Diese werden in konstruktive und Einbaumängel untergliedert:

In der **Konstruktion** unterscheiden sich übliche Haus-, Wohnungsabschluß- und Innentüren hinsichtlich Luftdichtheit von Fenstertüren durch folgende Merkmale:

- Ihr Blendrahmen bzw. ihre **Zarge ist nicht umlaufend, sondern nur dreiseitig** vorgefertigt und auch die im Türblatt eingebauten Lippendichtungen sind meist serienmäßig nur in den seitlichen und oberen Falzen vorhanden. Ihre **untere Luftdichtung wird meist erst vor Ort** nachträglich hergestellt, indem in den Boden Anschlagsschwellen und in das passend abgelängte Türblatt eine untere Lippendichtung eingebaut werden. Zur Verhinderung von Stolper-Risiken werden dabei üblicherweise **keine Schwellen von mehr als ca. 1 cm Höhe** eingebaut, so daß ein recht präziser Einbau der Schwellen und unteren Dichtlippen erforderlich ist, um die Luftdichtung sicherzustellen.
- Ihr **Schließmechanismus hat** außer bei auf hohe Einbruchssicherheit ausgelegten Spezialtüren meist **weniger Verschlusspunkte**, mit denen das geschlossene Türblatt an die Dichtlippen der Zarge gepreßt wird, als der von Fenstertüren. Oft gibt es an Türen insgesamt nur drei Verschlusspunkte (zwei Türscharniere und ein Schließschnapper) gegenüber 6-8 Verschlusspunkten bei Fenstertüren. Die Anpreßkraft des Türblatts an die umlaufenden Dichtlippen muß daher in wesentlich höherem Maße als bei Fenstertüren durch die Formstabilität des Türblatts sichergestellt werden. Sie ist dadurch tatsächlich meist sowohl ungleichmäßiger als auch geringer.
- der **untere Abschluß der seitlichen Zargen** endet meist **undefiniert** über der Rohdecke. Bei Stahlzargen, die im Regelfall vor dem Estrich eingebaut werden, stellt erst der Estrich ihre luftdichtende Verbindung zum Bodenaufbau dar. Bei Holz- und Kunststoffzargen, die meist erst nach dem Estrich eingebaut werden, obliegt es dem Türenbauer, einen sauberen Anschluß zur OK Estrich herzustellen. Hier gab es viele im Einzelfall unterschiedliche Anschlußprobleme.

Einbauprobleme gab es bei Türen u.a. folgende:

- Nur dreiseitige Türzargen, die beim **Einbau relativ instabil** waren, wurden teils schief eingebaut. Dadurch lagen die Türblätter nicht an allen Seiten an den Lippendichtungen an.
- **Verschiedene Komponenten** der unterseitigen Luftdichtung wurden **von unterschiedlichen Gewerken ohne ausreichende Maßabstimmung eingebaut** und funktionierten deshalb nicht. Im Estrich verankerte Bodenschwellen wurden meist vom Estrichleger, Türzargen und Türblatt später vom Bautischler eingebaut. Die erforderliche Abstimmung über Art, Lage und absolute Höhe der Schwelle funktionierte in der Baupraxis nur selten. Dies und führte in mehreren Fällen dazu, daß die Türen nachher nicht an die Schwellen anschlugen.
- Um diese Schwellen-Probleme zu umgehen, wurden mehrfach **selbstabsenkende Bodendichtungen** aus Gummiprofilen oder Bürsten in unterseitige Nuten der Türblätter eingebaut. Diese Dichtsysteme hatten aber **meist nur begrenzt luftdichtende Wirkung**. Luftleckagen gab es an ihnen, wenn sie

wegen des seitlichen Platzbedarfs Ihres Verstellmechanismus nur einen Teil der Tüblattbreite überdecken, wenn die Bodenunebenheiten z.B. bei Fliesenboden größer als die Elastizität bzw. Verformbarkeit ihrer Dichtlippen oder Bürsten waren, wenn die Oberflächenstruktur des Bodenbelags selbst (z.B. bei Teppichboden) keine Luftdichtung trotz plan aufliegender Dichtungen ermöglichte oder wenn die Absenkrichtungen nicht unmittelbar an die seitlichen Lippendichtungen der Türrahmen anschlossen, so daß es dazwischen zentimeterlange luftundichte Übergangsbereiche gab. Insgesamt ist mit solchen Systemen nach unseren Beobachtungen keine hinreichend luftdichte Außen- oder Innentür herstellbar, sondern nur eine Verringerung der Luftundichtigkeit.

- Bei den **Schließbeschlägen** gab es häufig Luftleckagen, wenn Einfräsungen für Schlösser oder Klinken von innen nach außen durchgingen und nicht vollständig durch Schlösser oder Beschläge abgedeckt waren.
- **Briefkasten- oder Klingelanlagen**, die in Haustür-Elemente integriert waren, waren meist undicht, und zwar sowohl an ihren Fugen zur Haustür als auch die Briefkästen oder Klingelanlagen selbst.
- Die **Dichtheit des Türfutters von Innentüren** zur Wand hin war bei Türfuttern aus Holzwerkstoffen mit nur 33 Prozent ebenfalls unzufriedenstellend niedrig. Die hohe Zahl von undichten Türen zwischen unbeheiztem Keller und beheiztem Kellertreppenhaus im EFH zeigen, daß in der Regel deren trennende und dichtende Bedeutung nicht erkannt wurde.
- Von den insgesamt acht **Haustüren**, deren Luftdichtheit gemessen wurde, waren **43% im Schwellbereich** zum Boden hin undicht und **38 % selbst undicht**. Hier liegt noch ein wichtiges Arbeitsfeld für die Hersteller brach. In Skandinavien, wo Luftdichte-Anforderungen seit längerem eingeführt sind, haben Türen mit umlaufender Zarge, die die Koordinierungsprobleme verschiedener Gewerke beseitigen, bereits große Marktanteile, ebenso nach außen öffnende Haustüren mit umlaufender Aufschlag-Dichtung und nach außen abfallender Schwelle, welche auch für den Wasserablauf vorteilhaft ist.
- Die **Innentüren** waren bei den drei gemessenen Objekten, bei denen dieses Bauteil bereits fertig montiert war, an ihrem unteren Anschluß zum Boden hin alle gravierend undicht, obwohl spezielle Bodendichtungen montiert worden waren. Diese Dichtungen funktionierten wegen Maßtoleranzen des Bodenbelages oder des Türfutters nicht. Ohne Luftdichtheitsmessung wären diese Undichtheiten, die teils bereits nach dem Justieren behoben waren, nicht aufgefallen.

Die **Bodenluken in Kehlbalkendecken** waren in vielen Gebäuden Problemstellen der Luftdichtung. Sie hatten meist Undichtheiten an den Verschlussbeschlägen, an den Ecken des Laibungskastens, an den Fugen zwischen Lukendeckel und Laibungskasten sowie am Anschluß ihres Laibungskastens an die luftdichtende Folie oder Holzwerkstoffplatte der Kehlbalkendecke.

Da luftdichte Bodenluken nicht marktüblich sind und Versuche individueller Nachbesserung von Bodenluken wenig erfolgversprechend schienen, wurde im Untersuchungsgebiet generell angeregt, die Luftdichtung der für die Bodenluke ausgesparten Gebäudeöffnung in der Kehlbalkendecke nicht mit dem Lukenelement selbst zu versuchen, sondern mit einem Zusatzbauteil. Als Zusatzbauteil wurde angeregt, oberhalb der Luke auf dem Spitzboden eine zusätzliche beschwerte Klappe oder einem Kasten herzustellen, der im herabgeklappten Zustand durch sein Eigengewicht auf einer Dichtlippe luftdichtend aufliegt. Diese Klappe bzw. dieser Kasten kann zugleich als Dämmung des Lukenlochs dienen. Um einen luftdichten Abschluß herzustellen, muß die luftdichtende Folie oder Holzwerkstoffplatte der Kehlbalkendecke allerdings an den Seitenwänden des Lukenlochs bis auf die Dichtlippe hochgeführt werden. Eine Skizze dieser Konstruktion ist in Kapitel 4.14 enthalten.

Diese Lukenkonstruktion mit Zusatzklappe wurde im Untersuchungsgebiet mehrfach realisiert und funktionierte in einigen Fällen auch prinzipiell zufriedenstellend. In den meisten Fällen traten jedoch bei der Herstellung Konstruktionsfehler auf oder wurden die Anschlüsse zwischen der neuen Dichtebene, der Dichtlippe und den luftdichtenden Materialien der Kehlbalkendecke so mangelhaft hergestellt, daß der Effekt nicht groß war. In mehreren Objekten wurden auch nur handelsübliche Bodenluken eingesetzt. Bei den Luftdichtmessungen war keine der vorgefundenen Bodenluken mit oder ohne Zusatzklappe luftdicht.

Die **Luftdichtheit von Dachflächenfenstern** ergibt sich aus der Dichtheit der Flügellippendichtungen, dem dichten Abschluß der in die Rahmen überwiegend eingebauten Lüftungsklappen und aus dem

luftdichten Anschluß der Einbauzargen der Dachflächenfenster an die luftdichtenden Folien oder Holzwerkstoffplatten des Daches.

Bei den untersuchten NEH waren die luft- und wasserdichtenden Lippen zwischen den Fensterflügeln und den Einbauzargen der Dachflächenfenster ganz überwiegend dicht. Die in die Fensterflügel eingebauten Lüftungsclappen oder Lüftungsschiebeleisten wiesen keine oder nur geringe Luftundichtheiten auf, die hier tolerierbar sind. Die luftdichte Anbindung der Einbauzargen an die luftdichtenden Schichten des Dachaufbaus warf dagegen fast immer größere Probleme auf, die zwar nicht grundsätzlicher Art waren, aber fast immer durch die Art des Einbaus und der Abfolge der Arbeitsgänge entstanden.

Will man luftdichtende Folien an die Einbauzargen von Dachflächenfenstern dauerhaft luftdicht anarbeiten, kann angesichts der hohen Hitze-, Kälte und Nässebelastung an diesem Bauteil als Verbindungsmittel keine reine Verklebung empfohlen werden, sondern nur eine dauerelastische und mechanisch gesicherte Verbindung, wie sie mit einem Kompriband zwischen Zarge und Folie und einer zusätzlichen verschraubten umlaufenden Anpreßleiste herstellbar ist. Da vor allem die Leiste innen nicht sichtbar sein soll, ist sie sinnvollerweise an der Außenseite der Zarge zu befestigen. Die Möglichkeit, von außen eine Anpreßleiste an die Zarge zu schrauben, ist aber nur solange gegeben, wie die Zarge noch nicht eingebaut ist, da sonst deren Außenseite nicht mehr zugänglich ist. Der Folienanschluß an die Zarge eines Dachflächenfensters muß also in Form eines herabhängenden Folienstreifens anmontiert werden, bevor das Fensterelement ins Dach eingebaut wird und darf beim Einbau auch nicht wieder beschädigt werden. Der zunächst in den Raum herabhängende Folienstreifen kann später mit den luftdichtenden Folien oder Holzwerkstoffplatten des Dachs verbunden werden.

Eine solche Montagetechnik wurde nur in zwei Fällen realisiert. In allen anderen Fällen wurde mit verschiedenen Mitteln versucht, an bereits eingebaute Zargen nachträglich luftdichtende Folien mit Verklebungen oder anderen Mitteln anzuarbeiten. In vielen Fällen ist die genaue Ausführung unbekannt, da direkt nach dem Einbau auch die Gipskartonbekleidung montiert wurde und die luftdichtende Folien-schicht nicht mehr sichtbar war. Hierbei ist zu vermuten, daß die luftdichtenden Folien gar nicht oder nur mangelhaft angearbeitet wurden, was auch aus späteren Thermographien erkennbar ist.

Die Fotos in (Bild 6.4-3) bis (Bild 6.4-20) zeigen Lösungen und Probleme aus der Baupraxis bei der Luftdichtung an Gebäudeöffnungen.

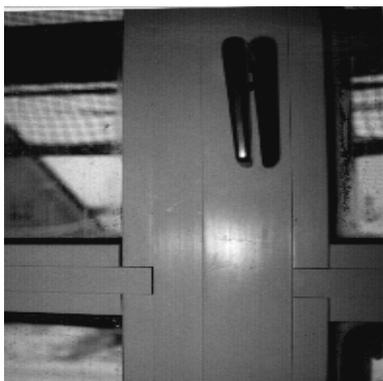


Bild 6.4- 3: Starke Luftundichtheiten an ungenau abgelängten Glashalteleisten von Kunststoffrahmen bewirken verstärkte Randauskühlung der Scheiben, die oft irrtümlich dem Glas-Randverbund zugeschrieben werden.



Bild 6.4- 4: Unklare Luftdichtung und fehlende Wärmedämmung unterhalb des Fensterrahmens an einer gemauerten Fensterbrüstung noch nach dem inneren Verputzen. Soll hier die nur Fensterbank "dichten und dämmen" ?



Bild 6.4- 5: Permanente Kaltluftströme durch geringe Luftundichtheiten zwischen Fensterrahmen und Fensterbank kühlen die Fensterbank ab und erwecken den irrigen Eindruck, die Marmorfensterbank selbst sei kalt (vgl. Bild 6.4-4).



Bild 6.4- 6: Luftundichte Unterfangung einer Terrassentür.



Bild 6.4- 7: Unzureichend stabile Putz-Verbindung zwischen Innenmauer und weit vorgebautem Fenster von außen (vgl. Bild 6.4-8).



Bild 6.4- 8: Aufgebrochene Putz-Verbindung zwischen Innenmauer und weit vorgebautem Fenster von innen (vgl. Bild 6.4-7).



Bild 6.4- 9: Unklare luftdichtende Anschlußmöglichkeit bei oben miten in der Dämmschicht endendem Fensterrahmen.



Bild 6.4- 10: Unklare luftdichte Verbindungsmöglichkeiten bei Eigenbau-Erkerfenster ohne Eckpfosten im Rohbau.



Bild 6.4-1 1: Immer noch ungelöste Luftdichtung des Erker-Eckpfostens, hier für Luftdichte-Messung provisorisch abgeklebt.



Bild 6.4- 12: Luftdichtung durch eingeputzte Folie zwischen Fenster-Blendrahmen und Brüstungsmauer.



Bild 6.4- 13: Kunststoff-Verlängerungsprofile für bodentiefe Fenster mit nicht luftdichter Steckverbindung.



Bild 6.4- 14: Luftundichte, weil krumm eingebaute Türschwelle.



Bild 6.4- 15: Undefiniertes und nicht mehr anschließbares Ende der luftdichtenden Folie im Bereich einer Bodenluke.

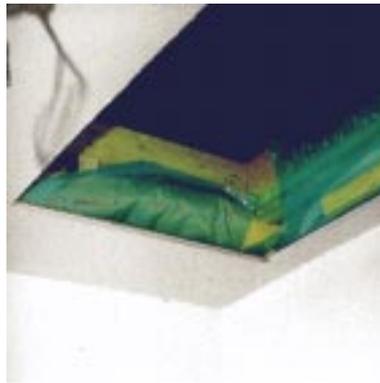


Bild 6.4- 16: Undefiniertes und nicht mehr anschließbares Ende der luftdichtenden Folie im Bereich einer Bodenluke.



Bild 6.4- 17: Versuch eines luftdichtenden Übergangs zwischen UK Kehlbalkendecke und oberseitiger Dichtungsklappe.



Bild 6.4- 18: Mangelhaft verarbeiteter Folienanschluß an einem Dachflächenfenster.



Bild 6.4- 19: Völlig fehlender luftdichtender Folienanschluß an einem Dachflächenfenster.



Bild 6.4- 20: Relativ ordentlicher Versuch einer luftdichtenden Abklebung zwischen PE-Folien und Holzrahmen eines Dachflächenfensters.

6.5. Luftdichtheit an Installationen

Manche Installationen durchdringen notwendigerweise die luftdichtenden Schichten der Gebäudehülle. So müssen z.B. Frischluft, Trinkwasser, Regenwasser, Strom, Gas und Daten durch Leitungen oder Rohre von außen ins Haus und Abluft, Abwasser, Außentrinkwasser, Außenregenwasser, Außenstrom, Außenschwachstrom, Abgas und andere Daten an anderer Stelle durch Leitungen oder Rohre wieder aus dem Haus nach außen geführt werden. Dabei gibt es direkte Durchdringungen zwischen Innenraum und Außenluft wie auch Durchdringungen zwischen Innenraum und anderen Räumen, die zwar auch innerhalb des Gebäudes, aber außerhalb dessen luftdichtender Gebäudehülle liegen, z.B. im Keller, Dachboden, Treppenhaus, Hausflur oder Garagenbereich. Neben den genannten üblichen Grundinstallationen können noch weitere ausstattungsbedingte Installationen die luftdichtende Gebäudehülle durchqueren. Dies sind z.B. Abluftleitungen von Wäschtrocknern und Dunstabzugshauben, Antennenkabel oder Strom- und Wasserleitungen von Solaranlagen.

All diese Durchdringungen von Installationen müssen in einem Gebäude, das insgesamt eine hohe Luftdichtheit erreichen soll, sorgfältig und dauerhaft wirksam gegenüber der von ihnen durchdrungenen luftdichtenden Schicht der Gebäudehülle abgedichtet werden. Diese Anforderung betrifft sowohl die Abdichtung zwischen der Außenseite des jeweiligen Installationselements (z.B. Luftkanal, Rohr, Hüllrohr, Leitung oder Kabel) und der von ihm durchdrungenen luftdichtenden Bauteilschicht (z.B. Betondecke, Putzschicht auf Mauerwerk, Folie oder Holzwerkstoffplatte im Leichtbau) wie auch die Abdichtung gegen unerwünschte Luftströme innerhalb des Installationselements selbst, z.B. innerhalb des Hüllrohrs von Stromleitungen, des Schutzrohrs von Gas- und Wasserleitungen oder innerhalb der Dämmstoffhülle isolierter Luftkanäle, Heiz- oder Solarleitungen.

Komplikationen bei Installationsdurchdringungen lassen sich stark verringern, wenn bei der Installationsplanung einige wesentliche Grundsätze berücksichtigt werden, die hier stichwortartig genannt seien:

Die **Anzahl der Durchdringungspunkte** von Installationen durch die luftdichtende Gebäudehülle sollte **so gering wie möglich** sein. Dies erfordert teils andere Installationskonzepte, als bisher üblich.

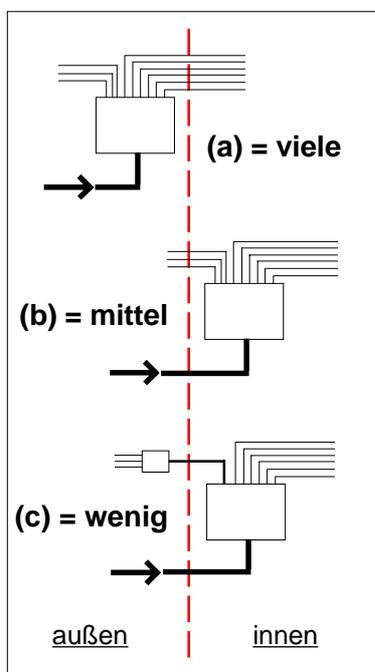


Bild 6.5- 1: Anzahl der Durchdringungen bei Leitungsnetzen mit Verteilern je nach deren Lage.

Verteilerkästen sich stark verzweigender Installationen sollten **innenseitig der luftdichtenden Ebenen** eingebaut werden, da dann nur die wenigen Durchdringungen der Hauptleitungen, nicht aber die von vielen Einzelleitungen abzudichten sind. Dies gilt sowohl für ins Haus hineinführende wie auch für wieder herausführende Teileitungen (bei Strom z.B. für Außenlicht, Gartensteckdose, Garage, Keller, Treppenhaus etc.). Diese sollten zunächst mit nur einem oder wenigen Hauptleitungen von Innenraum in z.B. einen außerhalb des luftdichten Gebäudeteils liegenden Keller geführt und erst ab dort zu den verschiedenen Außenanwendungen weiterverzweigt werden.

(Bild 6.5-1) zeigt drei Beispiele solcher Verteilerkästen mit (a) außenliegender Verteilung und vielen Durchdringungen nach innen, (b) innenliegender Verteilung jedoch mehreren herausführenden Leitungen und mittlerer Anzahl von Durchdringungen oder (c) innenliegender Hauptverteilung und außenliegender Unterverteilung mit sehr wenig (hier nur 2) Durchdringungen der luftdichtenden Gebäudehülle, die hier als rot gestrichelte Linie eingezeichnet ist. Dieses Schema kann grundsätzlich gleichermaßen für Elektro-, Antennen-, Wasser-, Heizungs- und ähnliche Installationssysteme genutzt werden.

(Bild 6.5-2) zeigt zwei Beispiele der Verlegung von Abluftleitungen zu einem auf dem unbeheizten Spitzboden außerhalb der luftdichtenden Ebene stehenden Abluftventilator. In Beispiel (a) sind die Abluftleitungen der einzelnen Räume individuell auf den Spitzboden hochgeführt und erst dort vor dem Ventilator zusammengeführt; dabei entstehen drei Durchdringungen der luftdichtenden Kehlbalkendecke; in (b) liegt die Zusammenführung bereits im OG und es ergibt sich nur noch eine einzige Deckendurchdringung.

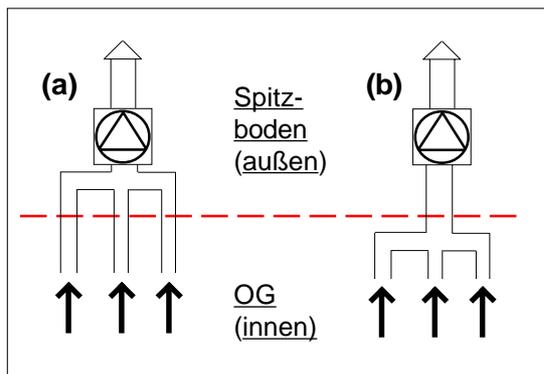


Bild 6.5- 2: Anzahl der Durchdringungen der Kehldecke bei Lüftungsleitungen, deren Sammler im Spitzboden (a) oder im OG (b) liegt.

Bei der **Lage von Durchdringungen** muß auf die Abdichtungstechnik Rücksicht genommen werden. Je nach Art der für die Installationsdurchdringung belasteten oder geschaffenen Öffnung in der luftdichtenden Bauteilschicht (Betonaussparung, Mauerloch, Folieneinschnitt, Holzbohrung) und Art des Abdichtungsmittels (Putz, Fugenfüller, Verklebung, Papp- oder Folienstreifen, Anpreßdichtband mit Halteleiste etc.) muß **um die Installation herum genügend Arbeitsraum** belassen werden, um die Installation selbst und ihr Dichtmittel anarbeiten und evtl. erforderliche Werkzeuge handhaben zu können. Dies ist besonders bei Putz-, Klebe- und Folienanschlüssen wichtig. Abdichtende Leitungen sollten z.B. nicht in Raumecken oder direkt an Wänden, neben Balken oder Stahlträgern oder neben anderen Leitungen verlegt werden.

Der Montageablauf von Installationen und von luftdichtenden Schichten von Flächenbauteilen muß aufeinander abgestimmt und im Bauzeitenplan eingeplant werden. Weder sollten Installationen so früh und unbedacht montiert werden, daß sie die spätere Montage der luftdichtenden Schichten der Flächenbauteile behindern oder verunmöglichen, noch dürfen Installationen bereits vorhandene Luftdichtungsebenen wieder beschädigen oder zerstören. Auch sollten die geplanten Durchdringungspunkte der Installationen und die Zuständigkeit der Gewerke für deren Vorbereitung und Abdichtung unmißverständlich geklärt werden. Bei Mauerwerken, deren vollflächiger Innenputz luftdichtende Bauteilschicht ist, ist es vor allem wichtig, daß Leitungen und andere Installationen in und vor Wänden so montiert werden, daß ein vollflächiges Aufbringen des Putzes nicht behindert wird (vgl. spätere Fotos) oder daß an nachher nicht mehr verputzbaren Flächen ein luftdichtender Putz schon vorab aufgebracht wird. Im Leichtbaubereich sollten Elektriker ihre Leitungen möglichst nur innenseitig der luftdichtenden Folien, Pappen oder Holzwerkstoffplatten verlegen, also erst nach deren Montage und nicht schon vorher.

Geeignete Dichtmittel zwischen Installationen und den von ihnen durchdrungenen luftdichtenden Flächenbauteilen sind eine weitere Voraussetzung für eine einwandfreie Luftdichtung. Sie müssen auf die Geometrie und Oberflächenstruktur der jeweiligen Durchdringung, die zu verbindenden Materialien, die vorkommenden Temperaturen und Feuchten und auf eventuell einwirkende mechanische Kräfte an den Dichtstellen abgestimmt sein. Für Installationsdurchdringungen gibt es eine Vielzahl möglicher Randbedingungen, die hier nicht umfassend abgehandelt werden können, jedoch können einige Hinweise für die häufigsten, bei den untersuchten NEH aufgetretenen Luftleckagepunkte gegeben werden:

Elektroleitungen ohne Hüllrohr, die direkt durch verputzte Wände führen, können durch sorgfältiges Anputzen und solche, die durch eine Luftdichtungsfolie oder -pappe von Leichtbauteilen führen, durch sorgfältiges, mehrlagiges Abkleben mit dafür geeigneten Klebebändern meist hinreichend luftdicht werden. Für eine dauerhafte Dichtheit ist es vor allem wichtig, daß die Leitungen nachträglich keiner mechanischen Belastung durch Biegen oder Zerren ausgesetzt werden, was sich durch Montage von Klemmdosen direkt hinter Durchdringungen erreichen läßt.

Geriffelte Hüllrohre von Elektro- und Sanitärinstallationen sind ihrer rauhen Oberfläche nur schwer zu dichten. Während sie an Mauerwerken und Betonbauteilen durch sorgfältiges Einputzen ausreichend dicht eingebaut werden können, gelingt ein Abkleben von Leerrohren an PE-Folien oder Baupappen meist nicht zufriedenstellend. Neben ihrer äußeren Abdichtung sind auch die inneren freien Querschnitte zu berücksichtigen, die luftoffene Verbindungen zwischen Innen und Außen darstellen können. Bei der üblicherweise großen Anzahl solcher Leitungen summieren sich die jeweils etwa zwei bis drei Quadratmeter großen Undichtheiten schnell zu faustgroßen Löchern. Der Innenraum von luftdichtenden Schichten durchdringenden Hüllrohren sollte deshalb mindestens an einem Ende nach dem Einziehen der eigentlichen Leitung ausgestopft, ausgespritzt oder mit einem anderen Hohlraumfüller verfüllt werden. Einige Hersteller bieten inzwischen bereits luftdichte Abzweigdosen- und Hüllrohrsysteme an.

Kalt- und Warmwasserleitungen sollten an der Leitung selbst, nicht an den ummantelnden Dämmhüllen abgedichtet werden, da diese selbst nicht luftdicht sind. Die Dichtmittel von Kaltwasserleitungen müssen dabei unempfindlich gegen Nässe durch Kondenswasser, die von Warmwasserleitungen unempfindlich gegen die zu erwartenden hohen Temperaturen sein.

Glattwandige, großformatige Leitungen für Abwasser, Fallrohrbelüftung, Frischluft, Zuluft, Abluft oder Fortluft von Lüftungsanlagen, Abgasleitungen oder andere ähnliche Leitungen und Kanäle lassen sich üblicherweise relativ einfach abdichten, wobei es sowohl für die Kunststoffleitungssysteme wie auch für die Metall- und Steinzeugleitungen spezielle Anschlußformteile für Mauerwerks-, Decken oder Folien-durchdringungen gibt, die aber wenig verbreitet sind. Sofern überstülpbare Formteile verwendet werden, müssen diese vor dem Zusammenbau des Rohrnetzes montiert werden. Dichtmanschetten mit Klebnaht können dagegen auch nachträglich noch angebracht werden, wenn die Rohrleitungen gut zugänglich sind (s.o.). Probleme gibt es auch bei Rohren und Leitungen großer Durchmesser, wenn diese stark gewellte Oberflächen haben, wie z.B. Aluflex- oder Kunststoffspiralschläuche, die im Lüftungsbau teilweise eingesetzt werden. Diese Materialien lassen sich normalerweise überhaupt nicht einwandfrei an umgebende Luftdichtungsebenen anschließen, so daß sie an Durchdringungsstellen nicht verwendet werden sollten.

Die **eigene Luftdichtheit durchdringender Installationen** ist außer bei den bereits erwähnten Hüll- und Schutzrohren vor allem auch bei planmäßig luftführenden Leitungen wichtig. Dies sind z.B. alle Leitungen von Lüftungsanlagen (incl. Dunstanzugshaube und Ablufttrockner), das Abwasserleitungsnetz und die Abgasleitungen bzw. Schornsteine von Heizungen und Öfen. Hier kommt es einerseits darauf an, daß diese Leitungen auf der gesamten Strecke zwischen ihrem Durchdringungspunkt der luftdichtenden Gebäudehülle und ihrer planmäßiger Öffnung zum Innenraum an allen Rohrstücken, Rohrverbindungen und Formteilen luftdicht sind, und daß sie andererseits außerhalb ihrer Nutzungszeiten auch an den raumseitigen Öffnungen dicht schließen. Dies kann durch handbetätigte, thermisch, elektrisch oder strömungsgesteuerte Deckel, Schieber oder Klappen erfolgen. Solche luftdichten Verschlüsselemente gehören bei handelsüblichen Lüftungsanlagen, Dunstabzugshauben, Wäschetrocknern oder Kachelöfen bisher nicht zum selbstverständlichen Lieferumfang, sondern müssen in der Regel gesondert installiert und geregelt werden.

Die **Umsetzung der hier geschilderten Aspekte** der Planung und Ausführung des luftdichten Einbaus von Installationen war häufiges Beratungsthema im Untersuchungsgebiet. Eine konsequente planerische Vorbereitung der Luftdichtheit von Installationsdurchdringungen konnte allerdings nicht beobachtet werden, auch wenn viele der genannten Aspekte bei einzelnen Objekten realisiert wurden. Die Vielzahl ermittelter kleiner Luftundichtheiten insbesondere an Elektro- und Sanitärinstallationen im Leichtbauteil der Häuser und an etagendurchdringenden Schächten und Schlitzen trug vermutlich wesentlich zu den Gesamtundichtheiten der mit der Blower-Door vermessenen NEH bei, auch wenn eine exakte Quantifizierung ihres Anteils nicht möglich war. (Bild 6.5-3) zeigt die Häufigkeiten, mit denen bestimmte Luftundichtheiten an bestimmten Installationskomponenten bei den gemessenen Objekten ermittelt wurden. Viele Fehlerarten kamen bei mehr als der Hälfte der gemessenen Objekte vor, obwohl gerade bei diesen Häusern wegen der bevorstehenden Luftdichte-Messungen relativ viel Aufklärung und Erfahrungsaustausch vorangegangen war. Aufgrund der nur beobachteten, nicht aber gemessenen Ausführung von Installationsdurchdringungen bei den anderen untersuchten Objekten ist zu vermuten, daß dort die Mängelquoten meist noch deutlich höher liegen.

Objekt	Fuge zwischen Bauteilen bei Messung dicht?													Elektroverteilung
	Lüftungsinstallation			Heizgs.San.Leitungen			Elektroinstallation							
	Leitung/ KB-Decke	Ventile/ AW	Leitung/ S-Dach	zu Schächten	zu KG-IW	zu Estrich	Elektrodose in			Elektrokabel in				
						AW	Drempel*	Geschoßd.*	IW-kalt/warm	KB-Decke	S-Dach			
2	nein	ja	?	ja	-	ja	nein	nein*	ja	nein	nein	-	nein	
8	-	ja	ja	-	nein	ja	ja	-	ja	-	ja	ja	ja	
11	ja	ja	ja	nein	ja	ja	nein	-	ja	-	-	-	-	
12	-	?	-	-	-	ja	ja	ja	ja	-	nein	-	-	
13	nein	nein	-	nein	-	ja	nein	nein*	nein*	-	nein	-	-	
17	-	ja	ja	nein	-	nein	ja	-	ja	-	nein	ja	ja	
20	ja	ja	ja	ja	-	ja	ja	nein*	ja	-	ja	ja	nein	
26	-	nein	-	ja	-	ja	ja	-	nein*	nein	nein	-	ja	
19	-	nein	?	nein	-	ja	nein	-	nein*	nein	-	-	nein	
33	nein	nein	-	nein	-	ja	nein	-	-	ja	nein	nein	ja	
4	nein	ja	?	nein	-	ja	nein	-	ja	nein	-	-	nein	
21	-	ja	ja	-	-	nein	ja	ja	ja	-	ja	ja	ja	
22	ja	ja	ja	nein	-	ja	ja	-	ja	-	ja	ja	ja	
10	nein	nein	nein	ja	-	ja	nein	-	ja	-	-	-	-	
16	-	?	?	nein	-	ja	ja	ja	ja	-	-	-	nein	
25	-	?	nein	ja	-	ja	nein	-	ja	-	-	ja	nein	
Fehleranteil	63%	40%	25%	62%	50%	12,5%	44%	50%	20%	75%	60%	15%	55%	

Bild 6.5- 3: Häufigkeiten ausgewählter Luftundichtheiten an Installationen.

Die häufigsten Mängel, waren dabei:

- **Installationen wurden zu nah an noch unverputzten Außenwänden verlegt**, so daß hinter ihnen kein vollflächiger Putz mehr aufgebracht werden konnte,
- **Hinter Installationen** an Außenwänden wie Badewannen, Duschwannen, Vorwandinstallationen, Spülkästen, Elektroverteilerkästen, Heizungsverteilerkästen etc **wurde überhaupt nicht verputzt**,
- **Installationsschächte und -schlitze wurden nach Einbau der Leitungen nicht verfüllt**, sondern nur überputzt und bildeten verdeckt Luftkanäle mit diffusen Auslässen z.B. an Deckenanschlüssen.
- **Aussparungen in Betondecken** für Leitungen wurden **nicht** oder mit nicht luftdichten Hohlräumfüllern wie Mineralwolle, Lumpen oder Ortschaum **verfüllt**, bevor die Trittschalldämmung und der Estrich verlegt wurden,
- **Elektroleitungen nach außen** wurden luftundicht eingebaut, ebenso Hüllrohre und ihre inneren freien Luftquerschnitte wurden an keinem Ende verstopft,
- **Steckdosen oder Verteilerdosen in Hohlstein-Außenwänden** wurden nur mit Mörtelbatzen fixiert statt satt ins Mörtelbett eingesetzt; dadurch ergaben sich luftoffene Verbindungen zwischen Außenluft, Hohlstein-Kammern, Steckdosen und Innenraum.
- **Zu- oder Abluftleitungen aus Kunststoffrohr** wurden in gebohrte Außenwandöffnungen nur eingelegt statt luftdicht eingearbeitet; zwischen ihnen und dem Mauerwerk blieben Luftspalte offen.
- **Fallrohrbelüfter-Leitungen** wurden im OG oft so eng in Raumecken verlegt, daß eine Anarbeitung von Folienmanschetten oder Abklebungen an ihrer Durchdringung durch das Schrägdach nicht mehr ordentlich möglich war.
- **Elektro- und Sanitärleitungen im OG und DG** wurden oft lange vor dem Einbau von Dämmung und Luftdichtung des Daches verlegt und dabei so an Sparren und Balken montiert, daß sie das spätere Verlegen von Folien oder Pappen stark behinderten und viele unnötige Durchdringungen entstanden.
- **Aluflexrohre als Lüftungsleitungen** wurden in vielen Häusern auch an Decken oder Wanddurchdringungen eingebaut. An ihrer geriffelten und weichen Oberfläche war weder ein Anputzen noch ein Abkleben oder Anarbeitungen anderer Luftdichtungsmaterialien möglich. An solchen Durchdringungsstellen von Aluflexrohren durch luftdichtende Schichten gab es häufig starke Undichtigkeiten.
- **Parallele Leitungen wurden in MFH teils bündelweise** und in schwer zugänglichen Ecken **durch Dichtungsebenen geführt**; hier war ein Abdichten der einzelnen Stränge praktisch gar nicht möglich, die Hohlräume wurden dann ersatzweise mit Ortschaum ausgeschäumt, wobei aber keine zufriedenstellende Luftdichtheit entstand. Ursache war häufig, daß die genauen Verlegewege an Deckendurchdringungen überhaupt nicht geplant waren, sondern es dem Installateur überlassen war, sich zu überlegen, wie er die Rohre unterbringt. Dieses Phänomen trat gleichermaßen bei Lüftungsrohren wie auch bei flexiblen Heiz- und Wasserleitungen auf.
- Die **Zuständigkeit für die Herstellung der Luftdichtheit** war auf fast allen Baustellen unklar. Weder diejenigen Monteure, die bereits vorhandene Luftdichtungsschichten bewußt durchtrennten, um irgendwelche Installationen zu verlegen, fühlten sich für die Wiederherstellung dieser Schichten zuständig, noch sahen es die Trockenbauer oder Putzer als ihre Aufgabe an, Problemstellen oder nachträgliche Schäden dritter wieder zu beseitigen. In vielen EFH waren es letztlich die Bauleute selbst, die sich um Abdichtung bemühten und auch bei mehreren MFH erfolgte anstelle einer luftdichte-orientierten Montageplanung nur eine Schlußabdichtung aller irgendwie entstandenen Leckagen kurz vor oder noch während der Luftdichtemessung, die dann oft nicht mehr den Anspruch dauerhafter Qualität erheben konnte.

Die folgenden Bilder zeigen ausgewählte Details von Installations-Durchdringungen durch luftdichtende Schichten aus der Bauzeit der untersuchten NEH:



Bild 6.5- 4: Strom-Hüllrohr direkt an Außenwand behindert vollflächiges Verputzen.



Bild 6.5- 5: Strom-Hüllrohr mit Abstand zur Außenwand ermöglicht vollflächiges Verputzen.



Bild 6.5- 6: Strom-Hüllrohre an Sparren genagelt behindern spätere Verlegung der Folie.



Bild 6.5- 7: Strom-Hüllrohre innenseitig der luftdichtenden Folie ergeben hohe Luftdichtheit.



Bild 6.5- 8: Steckdose in Hohlsteinwand mit starker Luftundichtheit..

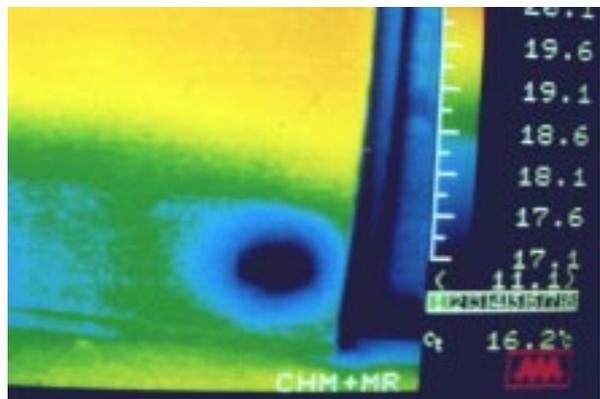


Bild 6.5- 9: Auskühlung rings um eine luftundichte Steckdose in einer Außenwand.



Bild 6.5- 10: Vorwandinstallation auf unverputzter Außenwand ergibt starke Luftundichtheit.



Bild 6.5- 11: Abwasserleitung zu nah an Wand verlegt behindert luftdichten Putz an Außenwand.



Bild 6.5- 12: Zu stark in die Ecke gequetschtes Fallrohr lässt sich nicht an die Folie andichten.



Bild 6.5- 13: Ebenfalls aus Platzmangel ungelöste Abdichtung zwischen Rohrleitung und Folienebene. Rohrverlegung in Außenecke des Raumes behindert auch den luftdichtenden Innenputz.



Bild 6.5- 14: Pseudo-"Abdichtung" zwischen Lüftungsrohr und Folie mittels Ortschaum.



Bild 6.5- 15: Abdichtungs-Manchette auf Abluftleitung schon vom Rohrbauer aufgesteckt. Rohrverlegung in Raumecke behindert jedoch Innenputz und Folienanschluß an Wände.



Bild 6.5- 16: Abdichtungs-Manchette einer Abluftleitung nach der Verklebung auf der Spanplatte.



Bild 6.5- 17: Einbau der Lüftungsanlage vor der luftdichtenden Folie erschwert deren spätere Montage stark.



Bild 6.5- 18: Rohrdurchführung durch die luftdichtende Holzwerkstoffplatte im Schrägdach mit glattwandigen Rohren und Baupappe-Abklebung.



Bild 6.5- 19: Beengte Montage und Leitungsführung einer Abluftanlage mit undichter Durchdringung der luftdichtenden Folienebene.



Bild 6.5- 20: Direkt benachbarte Durchdringungen mehrerer Leitungen erschweren die Anarbeitung der Luftdichtung.



Bild 6.5- 21: Aluflex-Leitungen und Kunststoff-Wellrohre lassen sich praktisch nicht dicht mit Folienebenen verbinden. Montage der Rohre vor dem Verputzen behindert zudem den luftdichten Innenputz.



Bild 6.5- 22: Schon bei der Rohrmontage aufgesteckte Manschetten können die Luftdichtung erleichtern.



Bild 6.5- 23: Völlig beengte Platzverhältnisse in einem Mini-Heizraum erschweren alle Arbeiten an Installationen. Hier mußte z.B. die Dachfolie und innere Gipskarton-Bekleidung aufgeschnitten werden, um den Kessel überhaupt einbauen zu können. Die Wiederherstellung der Luftdichtung und Bekleidung oblag dem Bauherrn.

6.6 Ergebnisse der Luftdichtemessungen

Im Untersuchungsgebiet wurden **an 21 Niedrigenergie-Häusern** Luftdichtemessungen nach ISO 9972 durchgeführt, wobei ein Teil der Messungen durch das Meßteam der Universität Siegen, eine Messung durch die Firma Manufactum aus Herford und der Rest durch das Detmolder Niedrig-Energie-Institut erfolgte. Alle gemessenen NEH waren während des Baus vom NEI begleitet worden. Im Detmolder NEH-Standard war ein n_{50} -Zielwert von $\leq 3 \text{ h}^{-1}$ als Sollwert vorgegeben; dieser Wert bedeutet, daß bei 50 Pascal Meß-Unterdruck innerhalb des Gebäudes durch die Blower-Door pro Stunde durch die verbliebenen Undichtheiten nicht mehr Luft nachströmen darf, als es dem dreifachen Luftvolumen des Gebäudes entspricht. Diese Anforderung war deutlich niedriger, als die der seit 11/1996 eingeführten DIN 4108/7, welche von Gebäuden mit Lüftungsanlagen eine dreifach höhere Luftdichtheit von $\leq 1 \text{ h}^{-1}$ verlangt.

Bei einer **Luftdichtemessung mit einer Blower-Door nach DIN-ISO 9972** oder früher üblicher Schweizer **SIA 180**-Meßnorm wird ein Meßventilator in einen Tür- oder Fensterrahmen montiert. Dieser kann wahlweise Unter- oder Überdruck zwischen etwa 15 und 65 Pascal im Gebäude erzeugen, was einer Druckbelastung von etwa Windstärke 1 - 6 entspricht. Durch ein erstes Druckmeßgerät wird dann ermittelt, welche Druckdifferenz zwischen dem Innenraum und Außen herrscht und die Leistung des Ventilators wird solange verstellt, bis die gewünschte Meß-Druckdifferenz (50 Pa) zustandekommt. Ein zweites Druckmeßgerät, das im Ventilator selbst plaziert ist, ermittelt zugleich, welche Druckdifferenz am Ventilator selbst ansteht; hieraus kann die vom Meßventilator geförderte Luftmenge berechnet werden. Die vom Ventilator geförderte Luftmenge entspricht dann genau derjenigen, die an anderen Stellen durch Undichtigkeiten nachströmt. Setzt man sie ins Verhältnis zum Innenvolumen des Gebäudes, so erhält man als Ergebnis die gewünschte n_{50} -Luftwechselzahl. Strömen z.B. in einem Gebäude mit 300 m^3 Innenvolumen bei 50 Pascal Unterdruck stündlich 450 m^3 Luft durch Undichtigkeiten nach, hat das Gebäude einen n_{50} -Wert von $1,5 \text{ h}^{-1}$.

Luftdichtemessungen können nur **Momentaufnahmen der Luftdichtheit** eines Gebäudes sein, ihr Meßergebnis besagt nichts über die Dauerhaftigkeit der eingebauten Luftdichtungen. Ihre Ergebnisse sind zudem **nur bedingt aussagekräftig, wenn** bei der Messung noch Teile der luftdichtenden Schichten der Gebäudehülle fehlen und durch **provisorische Abklebungen** ersetzt sind. In solchen Fällen können streng genommen nur Aussagen über das Funktionieren der bereits vorhandenen luftdichtenden Schichten, jedoch keine über den n_{50} -Wert des gesamten Gebäudes gemacht werden, da sich dieser mit der Entfernung der Provisorien und dem Einbau der eigentlich vorgesehenen Komponenten infolge von deren eventuellen Undichtheiten wieder verändern kann. Auch werden **Luftundichtheiten der Gebäudeöffnungen, in die die Blower-Door selbst eingebaut wird** (meist Haus- oder Kellertüren), bei der Messung nicht erfaßt. Will man diese Ungenauigkeit vermeiden, muß man zunächst die Blower-Door in eine andere Gebäudeöffnung einsetzen, um vorab zu prüfen, ob die für den Meßgeräteeinbau vorgesehene Öffnung im verschlossenen Zustand selbst dicht ist, denn nur dann wirkt sich ihre Vernachlässigung nicht verfälschend aus.

Verfälschungen des Meßwerts können entstehen, wenn **durch zu weit fortgeschrittenen Innenausbau** die luftdichtenden Schichten bereits so weitgehend durch Bekleidungen verdeckt sind, daß ihr Funktionieren gar nicht mehr ermittelt werden kann. Dies ist besonders im Leichtbaubereich ein großes Problem, wenn vor mangelhaft verarbeiteten Folien, Holzwerkstoffplatten oder Dachflächenfenstern bereits vollflächig verspachtelte oder sogar tapezierte Gipskartonbekleidungen angebracht sind, die eine sekundäre Luftdichtungsschicht bilden. An einzelnen Indikatoren wie z.B. starken Luftströmungen an Steckdosen oder Abseitentüren ist dann zwar manchmal erkennbar, daß die dahinterliegende eigentliche Luftdichtungsschicht Mängel aufweist. Die Fehlstellen selbst sind aber nicht mehr lokalisierbar und für Reparaturen zugänglich und ihre evtl. hohe Undichtheit wird durch die Strömungswiderstände der sekundären LD-Schichten verharmlost. Dasselbe Problem kann an Bodenbelägen auftreten, wenn diese eine luftdichte Schicht bilden und nur schmale Fugen an den Wandanschlüssen haben. An Stellen mit leicht abstehenden Wandanschlüssen, z.B. in Raumecken, kann man dann teils starke Luftströme erkennen, die auf unter dem Fußbodenbelag versteckte LD-Mängel im Rohboden- und Estrichbereich hinweisen, ohne daß diese sicher lokalisierbar wären. Da die LD-Messung auch der Ermittlung von Mängeln dient, die beseitigt werden sollten, um Bauschäden zu vermeiden, ist ein solches Kaschieren von LD-Mängeln durch sekundäre Schichten letztlich nur nachteilig und die durch sie erreichten scheinbar "guten" Meßwerte können trügerisch sein.

Im Untersuchungsgebiet war die geeignete **Vorbereitung der Gebäude für die Messungen** den Investoren auferlegt. Die **luftdichtenden Schichten sollten vollständig hergestellt, aber noch zugänglich** sein. In einem Hinweisblatt waren die erforderlichen allgemeinen und besonderen Vorkehrungen erläutert worden. Die Messungen sollten zu einem zwischen Bauherren, Planern und NEI abgestimmten geeigneten Zeitpunkt erfolgen. Wie bereits in Kapitel 6.1 beschrieben, wurde dieser ideale Bauzustand tatsächlich bei keinem Objekt hergestellt. Die Luftdichtemessung mußte in vielen Fällen schon vor dem Einbau von Haus- oder Kellertüren, Bodenluken oder Lüftungskomponenten durchgeführt werden, statt derer während der Messung nur provisorische Abklebungen vorhanden waren. In vielen anderen Fällen waren schon auf größeren Teilflächen Bekleidungen vor den LD-Schichten montiert. Die gemessenen n_{50} -Werte sind insofern ganz überwiegend nur für den zum Meßzeitpunkt vorgefundenen Bauzustand aussagefähig und spiegeln nicht die tatsächliche und unverfälschte Ausführungsqualität der eigentlichen luftdichtenden Gebäudehülle wieder. Nur in wenigen Fällen konnte eine fast unverfälschte Ausführungsqualität geprüft werden.

Die Ermittlung sehr genauer und ausagekräftiger Meßwerte war allerdings auch nicht das vorrangige **Ziel der Luftdichte-Messungen** im Untersuchungsgebiet. Vielmehr sollte die Dichtheit bestimmter Flächen- und Anschlußkonstruktionen in der baupraktischen Ausführung festgestellt und bewertet werden (vgl. Kap.4) und eine **allgemeine Sensibilisierung für die Anforderung der Luftdichtheit** der Gebäudehülle bewirkt werden. Aus diesem Grunde wurde großer Wert auf gemeinsame Analyse von Mängeln und Erörterung von Möglichkeiten zur Nachbesserung bzw. von künftig besserer Ausführung mit den Investoren, ihren Planern und Handwerkern gelegt. Auch wurden die meisten Messungen baugebietsöffentlich durchgeführt.

(Bild 6.6-1) zeigt einen grafischen Gesamtüberblick der Luftdichte-Meßergebnisse.

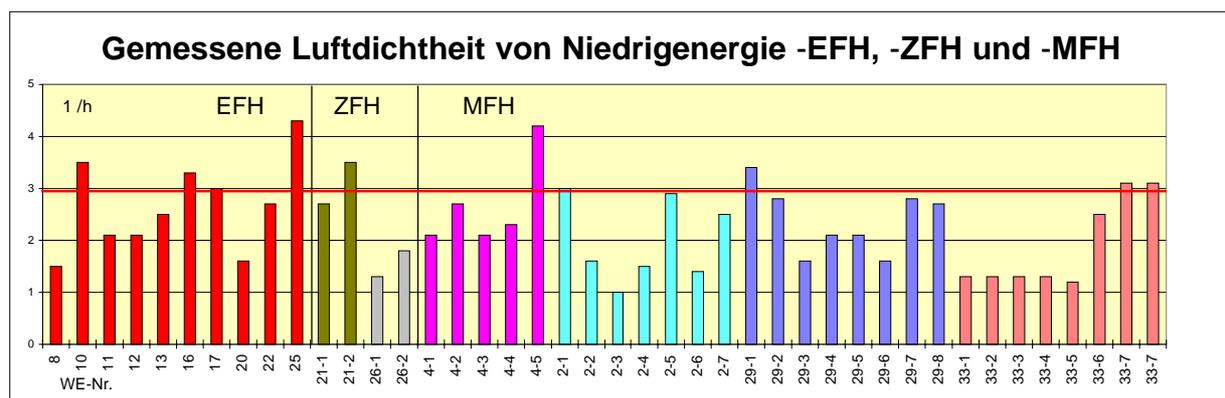


Bild 6.6- 1: Gemessene Luftdichtheit von Niedrigenergie-EFH, ZFH und MFH in Werther (Westf.).

(Bild 6.6-2) enthält eine systematische Gliederung der Ergebnisse einerseits nach **Objekten in unterschiedlichem Meßzustand** (siehe 2. Spalte) und andererseits nach Wohnungen in MFH **mit und ohne Leichtbau-Hüllflächenanteilen** sowie in EFH, die sämtlich auch Leichtbauteile haben (siehe Spalten 3-5). In Spalten 6 und 7 sind zusätzliche Hinweise über die zum Meßzeitpunkt vorgefundene Zugänglichkeit der Dichtungsebene und Anmerkungen über besondere Randbedingungen des Gebäudes oder der Messung enthalten.

Die Einfamilienhäuser erreichen im Gesamt-Mittel n_{50} -Werte von 2,7 /h, wobei die Spanne der gemessenen EFH-Werte zwischen 1,6 und 4,3 /h liegt. Dabei haben die EFH mit zum Meßzeitpunkt fertiggestellter Luftdichtung, in denen keine provisorischen Abklebungen noch fehlender Bauteile nötig waren, Werte zwischen 1,6 und 3,0 /h, im Mittel von 2,1 /h. Bei teilweise noch unfertigen EFH lag der Mittelwert bei 3,0 /h und bei den noch sehr unfertigen lag er zwischen 3,3 und 4,3 /h, im Mittel bei 3,8 /h. Von insgesamt 10 gemessenen EFH überschritten insofern drei den Soll-Grenzwert von 3,0 /h.

Bei den Zweifamilienhäusern betrug in einem fertiggestellt gemessenen Objekt der n_{50} -Wert der rein massiv gebauten Einliegerwohnung 1,3 /h und der des auch mit Leichtbauteilen umgebenen Haupthauses 1,8 /h. In dem anderen ZFH mit teilweise noch unfertiger Luftdichtung waren die n_{50} -Werte der rein massiv gebauten Einliegerwohnung 3,5 /h und der des gemischt gebauten Haupthauses 2,7 /h. Hier führten vor allem Luftleckagen am Kellertreppenabgang und am Schrägdachanschluß eines Vorbaus zu dem schlechten Wert.

Ergebnisse der Luftdichtemessungen						
Objekt	Meß-Zustand	N ₅₀ -Werte			Dichtungs-ebene	Anmerkungen
		in 1/h, Werte in Klammern sind Durchschnittswerte				
		MFH-Whg in Etagen mit Massivdecken	MFH-Whg in Etagen mit Leichtbauanteilen	EFH		
2	Luftdichtung fertiggestellt	3,0/ 1,6/ 1,0/ 1,5/ 2,9/ 1,4 (1,9)	2,5	-	nein	schwierige Dachzonierung
11		-	-	2,1	nein	Bodenluke sehr undicht
12		-	-	2,1	nein	Bodenluke sehr undicht
13		-	-	2,5	teilweise	Außenwände nicht verputzt, nur GK bekleidet
17		-	-	3,0	nein	schwierige Dachzonierg
20		-	-	1,6	nein	zusätzliche provisorische Abdichtg. der Bodenluke
26		1,3	1,8	-	nein	Loch in AW in Ebene d. KB-Decke
29		3,4/ 2,8/ 1,6/ 2,1 (2,5)	2,1/ 1,6/ 2,8/ 2,7 (2,3)	-	nein	Terrassentüren undicht, schwierige Dachzonierungen
33		1,3/ 1,3/ 1,3/ 1,3/ 1,2 (1,3)	2,5/ 3,1 (2,8)	-	nein	schwierige Dachzonierung
		Ø 1,9	Ø 2,4	Ø 2,1		
4	Luftdichtung noch unfertig	2,1/ 2,7/ 2,1/ 2,3/ (2,3)	4,2	-	ja	Verrbeitungsfehler an Fenstern und Folien
8		-	-	1,5	teilweise	schwierige Dachzonierung
10		-	-	3,5	nein	prov. Abdichtg. des Kellertreppenabgangs
21		3,5	-	2,7	nein	prov. Abdichtg. des Kellertreppenabgangs
22		-	-	2,7	ja	Außenwand im Bad noch unverputzt
		Ø 2,9	Ø 4,2	Ø 3,0		
16	Luftdichtung	-	-	3,3	ja	Gebäude noch ohne Türen u.Estrich
25	sehr unfertig	-	-	4,3	ja	Tür, Fenst.bänke fehlen, Steckdosen in LHLZ-AW und.
		-	-	Ø 3,8		
jeweilige WE-Typen		Ø 2,1	Ø 2,7	Ø 2,7		
alle WE		Ø 2,1				

Bild 6.6- 2: Ergebnisse der Luftdichte-Messungen je nach Meßzustand, Gebäudeart und Bauweise der Wohnungen.

Bei den Mehrfamilienhäusern gab es erkennbare Unterschiede zwischen in den unteren Etagen liegenden Wohnungen, die nur von verputztem Mauerwerk und Betondecken umgeben sind und OG- bzw. DG-Wohnungen, die auch Leichtbau-Hüllflächen haben. Weiterhin gab es deutliche, wenn auch wegen der geringen Gesamtzahl statistisch nicht belastbare Unterschiede zwischen Objekten in verschiedenen Stadien der Fertigstellung zum Meßzeitpunkt. Die rein massiv gebauten Wohnungen mit fertiggestellter Luftdichtungs-Schicht erreichen insgesamt den besten Teilgruppen-Mittelwert von 1,9 /h, wobei die Einzelwerte aller Wohnungen zwischen 1,0 und 3,4 /h und die Objekt-Mittelwerte dieser rein-massiven Wohnungen zwischen 1,3 und 2,5 /h schwanken. Die OG-/DG-Wohnungen mit teilweisen Leichtbau-Hüllflächen sind in allen MFH erkennbar undichter als die massiv gebauten und auch als die EFH. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß die in EFH nach Feierabend der Handwerker übliche Nacharbeit durch die Bauleute an schlampigen Ausführungsdetails im Leichtbaubereich in MFHs nicht vorkommt. Insgesamt erreichten in den MFH trotzdem alle bis auf drei Wohnungen den empfohlenen Grenzwert von 3,0 /h zum Zeitpunkt der Messung und teils unter gewisser "Mithilfe" sekundärer Lutdichtungsschichten.

Die untersuchten NEH waren im Wertheraner Baugebiet sowohl für ihre Planer wie auch für die Handwerker **die ersten Objekte, die so hohe Luftdichtheiten erreichen sollten**. Ihre Luftdichte-Ergebnisse sind zwar **insgesamt nicht zufriedenstellend**, da sie den (inzwischen durch die DIN 4108/7 auch formal fixierten) Stand der Technik überwiegend deutlich verfehlen. Sie geben aber **immerhin Anlaß zu Hoffnung**. Es gab im wesentlichen ein positives, wenn auch manchmal etwas widerwilliges Engagement vieler Beteiligten und die Planungsbetreuung und begleitende Bauleitung des NEI sowie der sich selbst entwickelnde ziemlich intensive Erfahrungsaustausch zwischen den benachbarten Baufamilien und Bauausführenden bewirkte erkennbare Lernprozesse und Akzeptanzsteigerungen. Insofern ist zu hoffen, daß in dem jetzt begonnenen zweiten NEH-Baugebiet "Süthfeld" der Stadt Werther noch deutlich bessere Luftdichtheiten erreicht werden.

7. Heizung und Warmwasserversorgung

An die Art der Beheizung der einzelnen Häuser stellte der im Untersuchungsgebiet geltende Detmolder NEH-Standard bestimmte Mindestanforderungen, die in Punkt 6 der Anlage 4 zum Grundstückskaufvertrag noch teilweise konkretisiert waren. In (Bild 7- 1) sind diese Passagen zitiert.

Anforderungen an die Heizung (des Detmolder NEH-Standards)

"Schnell regelbares effizientes Niedertemperatur-System mit zentraler Brauchwassererwärmung. Jahresnutzungsgrad Kessel > 85 %. Verfügbare Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (Blockheizkraftwerk) soll geutzt werden. Keine elektrische Widerstandsheizung."

Ergänzende Hinweise für die Heizung (in Anlage 4 zum Grundstückskaufvertrag)

"Die Anforderungen an die Wärmeerzeuger sind im Niedrigenergie-Haus-Standard beschrieben. Bei der Wärmeverteilung ist zu beachten, daß eine ausschließliche oder überwiegende Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung kein schnell regelbares und effizientes System im Sinne des Niedrigenergie-Haus-Standards ist und insofern die Anforderungen nicht erfüllt. Fußbodenheizungen nur im Feuchtraumbereich werden jedoch akzeptiert, wenn für die Schnellaufheizung in den Übergangszeiten auch ein Konvektor installiert ist."

Bild 7- 1: Anforderungen an Heizungsanlagen im Untersuchungsgebiet.

Hintergedanken dieser Festsetzungen im DT-NEH-Standard, die schon seit 1989 in mehreren NEH-Programmen so angewandt wird, sind,

- Regelverluste sehr träger Heizsysteme mit massereichen Heizflächen zu vermeiden,
- die hohen Umwandlungsverluste und zurechenbaren Schadstoffemissionen zwischen Primärenergie und Nutzwärme bei elektrischer Brauchwassererwärmung und elektrischer Heizung zu vermeiden, auch wenn diesen teils Einsparungen durch geringere Warmwasser-Verteilverluste und Vorteile niedriger Installationskosten gegenüberstehen; die Verteilverluste der zentralen heizungsgestützten Warmwassererzeugung sollten vielmehr durch Gebote kurzer Leitungswege und überdurchschnittlicher Wärmedämmung von Verteilleitungen minimiert werden,
- Feststoff-Feuerungen mit relativ geringen Wirkungsgraden und hohen spezifischen Emissionen nicht als Grundheizung, sondern allenfalls als Zusatzheizung zuzulassen und
- für den Fall des Zustandekommens einer zentralen Nahwärmeversorgung, die im Vorfeld im Gespräch war, eine gewisse Einflußmöglichkeit ("Soll") auf den Anschluß hieran zu erhalten.

Da im Baugebiet **mangels Betreiber keine Nahwärmeversorgung** zustande kam, wurde vom regionalen Gasversorger eine **flächendeckende Gasversorgung** verlegt. Da auch die Versuche des NEI erfolglos waren, wenigstens die Investoren der direkt benachbarten großen Mehrfamilienhäuser zu einer gemeinsamen Wärmeversorgung zu bewegen, erhielten schließlich **alle Häuser eigene Gasanschlüsse und Gasheizungen**. Eine Nachfrage nach Elektroheizungen oder nach Heizsystemen mit elektrischen Wärmepumpen gab es keine, so daß dieser Aspekt keine Rolle spielte.

Als **Heizmedium** wurden in allen Gebäuden für die Beheizung der Wohnungen **ausschließlich Heizwasser** verwendet. **Luftheizsysteme** waren in wenigen Fällen in der frühen Planung erwogen, jedoch **in keinem Falle detailliert geplant oder realisiert** worden, obwohl durch das zwingende Gebot von Wohnungslüftungsanlagen dafür eine gewisse Voraussetzung bestand. Lediglich in vier MFH wurde **für die Beheizung der Treppenhäuser Warmluft** als Heizmittel eingesetzt, wobei diese Warmluft ihre Heizwärme stets aus rückgewonnener Abluftwärme der Wohnungslüftungsanlagen bezog (vgl. Kap. 8).

Die Vorgabe **schnell regelbarer Heizflächen** für die Grundbeheizung, die faktisch ein Verbot von Fußboden-, Wand- oder Deckenheizungen ist, führte ebenfalls nur zu wenig Konflikten, da in allen NEH die

Bauleute und Planer ohnehin übliche Radiatoren oder Konvektoren wünschten. In zwei EFH wurde von der zulässigen Option Gebrauch gemacht, im Badezimmer eine Fußbodenheizung zu installieren, die durch eine zusätzliche Heizfläche für gelegentliche Schnellaufheizung ergänzt ist.

Die Vorgabe, die **gesamte Warmwasserbereitung an die zentrale Heizanlage** zu koppeln und keinerlei zusätzliche elektrische Warmwasserbereiter zu installieren, führte zu einigem Beratungsbedarf, da die Investoren einiger EFH mit Einliegerwohnung und auch die von MFH gerne die preiswertere zu installierende elektrische Variante gewählt hätten. Bis auf einen Fall eines EFH mit Einliegerwohnung, in dem die Einliegerwohnung trotz vorhandener zentraler Warmwasserbereitung des Haupthauses eine eigene elektrische Warmwasserbereitung erhielt, wurde diese Anforderung auch vollständig umgesetzt.

Die **formalen Mindestanforderungen** des DT-NEH-Standards an Heizanlagen wurden insofern relativ **gut umgesetzt**.

Viel Unsicherheiten und Beratungsbedarf gab es bei den Planern und Installateuren **bei der Dimensionierung der Kesselleistung**, für die es außer dem Gebot eines Jahresnutzungsgrades von $> 85\%$ sonst keine formale Vorgabe gab. Das Grundproblem der Kesselauslegung in NEH ist dabei relativ einfach: infolge der hohen Wärmedämmung und des mechanischen d.h. kontrollierten Luftwechsels haben NEH nur noch einen relativ niedrigen Heizwärmebedarf, auf den die Heizleistung der Heizanlage ausgelegt werden könnte. Zugleich bestehen jedoch hohe Erwartungen an den Brauchwasserkomfort, deren Befriedigung entweder hohe verfügbare Heizleistungen oder aber relativ große Speicher in Verbindung mit an die niedrige Heizleistung angepaßten Speicherladeregeln erfordert. Stark überdimensionierte Heizkessel verringern den Wirkungsgrad der Heizwärmeerzeugung, da sie den Großteil der Jahresheizarbeit in ständigem Taktbetrieb zwischen Mindestleistung und Aus-Stellung erbringen. An den Heizwärmebedarf von NEH angepaßte Kessel geringer Leistung haben diesen Nachteil nicht. Sie bringen jedoch in Verbindung mit handelsüblichen primitiven Speicherladeregeln das Problem mit sich, daß während des stets mit Vorrang angesteuerten Speicherladebetriebs lange Heiz-Abschaltphasen entstehen können, da leistungsschwächere Kessel längere Zeit benötigen, um gleichgroße Speicher nachzuladen.

Weitere Beratungsthemen waren die **grundsätzliche Konfigurationsmöglichkeit der Heiz- und Brauchwasseranlage** und die Sinnhaftigkeit besonders hochwertiger und effizienter (Brennwert-) Kessel **und anderer Systemkomponenten** angesichts der Erwartung, daß insgesamt ohnehin nur deutlich weniger Brennstoff benötigt werden würde, was den praktischen Nutzen der Wirkungsgradvorteile besonders effizienter Systeme verringert. Gedankenanstöße zu positiven und negativen Aspekte verschiedener Heizungsvarianten waren vom NEI schon vor Beginn der Bauphase im Untersuchungsgebiet in Form eines illustrierten Aufsatzes verteilt und auf den öffentlichen Aufklärungsveranstaltungen im Baugebiet diskutiert worden. (Bilder 7-2 bis 7-4) zeigen als Auszug aus diesem Aufsatz drei grundsätzliche Varianten der Konfiguration für Heizanlagen in NEH, die entweder die Anforderung nach möglichst geringen Investitionskosten (Bild 7-2), nach vorrangig gehobenem Brauchwasserkomfort bei üblicher Komponentenwahl (Bild 7-3) oder nach besonders hoher Gesamteffizienz (Bild 7-4) erfüllen.

Die in (Bild 7-2) gezeigte Kombitherme und die in (Bild 7-3) gezeigte reine Heiztherme mit nebenstehendem indirekt beheiztem Brauchwasserspeicher sind Standardlösungen des Heizungsbaus.

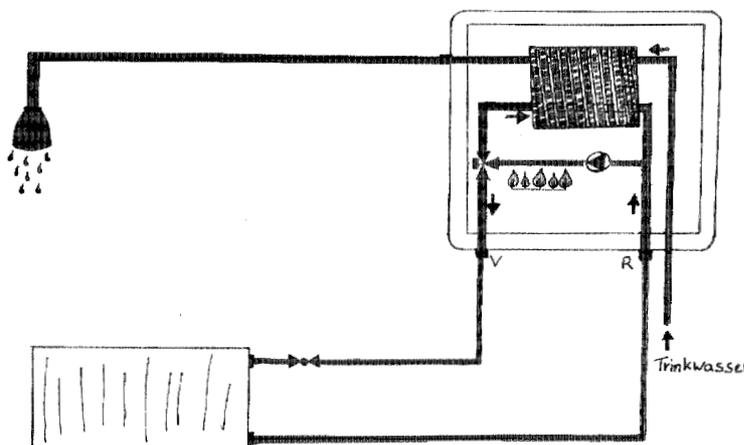


Bild 7- 2: Funktionsskizze einer Gas-Kombitherme.

Kombithermen gab es zu Beginn der Untersuchung markt­gänglich mit Leistungen ab etwa $9 \text{ kW}_{(th)}$ aufwärts im Heizbetrieb und $17\text{-}30 \text{ kW}$ im Brauchwasserbetrieb. Die Mindest-Heizleistung lag damit bei etwa $110\text{-}210\%$ des maximalen Wärmeleistungsbedarfs der untersuchten EFH von $4,1 - 8,8 \text{ kW}$ bei -12°C Außentemperatur. Ein ständiger Taktbetrieb ist daher unvermeidlich. Der Brauchwasserkomfort solcher Heizthermen ist je nach Leistungsklasse befriedigend bis sehr gut, jedoch kann

es zu Beeinträchtigungen kommen, wenn an mehreren Zapfstellen gleichzeitig Warmwasser benötigt wird. Die Heizpausen für die Brauchwasser-Erwärmung sind normalerweise unproblematisch, da sie sich auf die reine Zapfdauer des Brauchwassers beschränken.

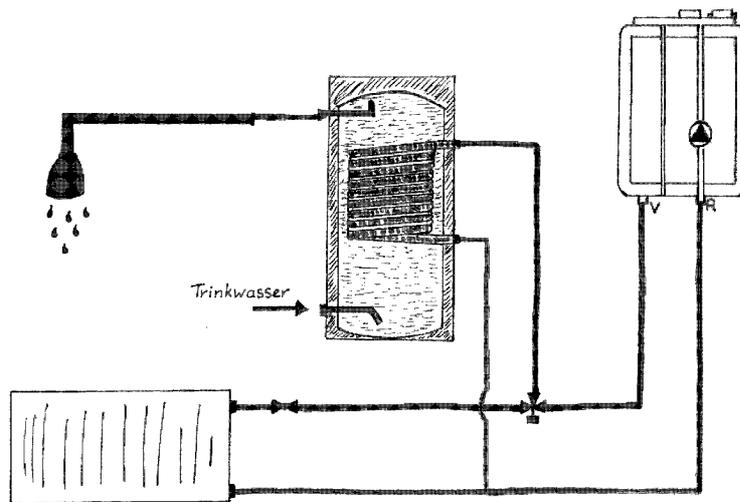


Bild 7- 3: Funktionsskizze einer Gas-Heiztherme mit separatem indirekt beheiztem Brauchwasserspeicher

Reine Heizthermen oder kleine freistehende Heizkessel mit nebenstehenden indirekt beheizten Speichern sind die heute üblichste Gasheizungsform und waren zu Beginn der Bauphase marktgängig mit Heizleistungen ab etwa 15 kW^(th) aufwärts, wobei nur wenige Modelle mit noch geringeren Leistungen ab etwa 9 kW angeboten wurden. Auch bei dieser Kesselbauart ist die Mindest-Heizleistung also deutlich höher als der in der mittleren Heizperiode übliche Heizwärmebedarf von 1,5-3 kW und der maximale Heizwärmebedarf von 4,1-8,8 kW der untersuchten NEH-EFH. Auch bei diesen Geräten ist daher ständiger Taktbetrieb unvermeidlich. Der Brauchwasserkomfort ist hier bei individuell bedarfsgerecht dimensioniertem Speicher meist sehr gut, bei geringer Heizleistung der Therme bzw. des kleinen Kessels kann die Nachheizdauer allerdings zu längeren Heizpausen führen, sofern übliche einfache Brauchwasser-Voranschaltungen eingesetzt werden.

tem Speicher meist sehr gut, bei geringer Heizleistung der Therme bzw. des kleinen Kessels kann die Nachheizdauer allerdings zu längeren Heizpausen führen, sofern übliche einfache Brauchwasser-Voranschaltungen eingesetzt werden.

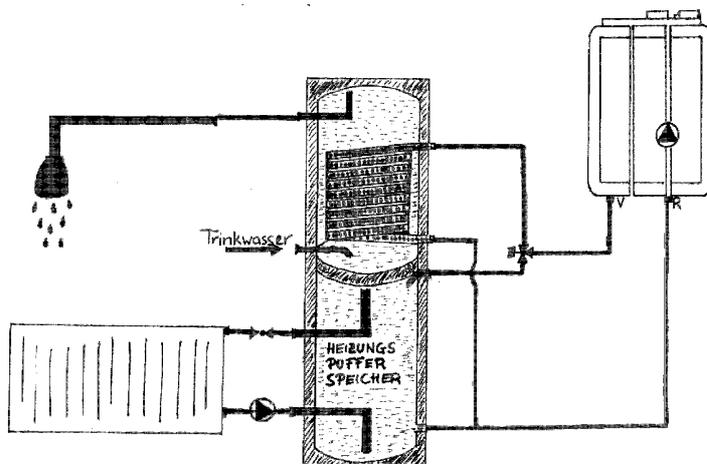


Bild 7- 4: Funktionsskizze einer Gas-Heiztherme mit separatem indirekt beheiztem Heizungs- und Brauchwasserspeicher

Die in (Bild 7-4) gezeigte **Therme mit kombiniertem Heiz- und Brauchwasserspeicher** ist dagegen eine noch recht seltene Konfiguration, die gezielt auf Objekte mit geringem Heizwärmebedarf ausgerichtet ist. Wesentliches Merkmal ist die Trennung zwischen Wärmeerzeugung (von der Therme in die Speicher) und Wärmeverteilung (von dem Heizwasserspeicher in den Heizkreis bzw. vom Brauchwasserspeicher zu den Zapfstellen), die mit getrennten Pumpen und getrennter Regelung erfolgt. Die Wärmeerzeugung erfolgt hier mit Feuerungsleistungen von 12, 24 oder 32 kW in seltenen großen Portionen, indem die Therme gelegentlich den kompletten Speicher auflädt; ansonsten steht die Therme still und benötigt weder Pumpen- noch Ventilatorstrom.

Der Abtransport der Heizwärme aus dem Speicher über den Heizkreis zu den Heizkörpern erfolgt unabhängig davon über eine separate und modulierende Umwälzpumpe sehr geringer Leistung, die es ermöglicht, dem Gebäude auch nur Heizleistungen von z.B. 150 Watt oder 1,5 kW zuzuführen. Diese Trennung von Erzeugung und Verteilung durch einen zwischengeschalteten Heizungspufferspeicher erlaubt einen sehr effektiven Betrieb des Wärmeerzeugers, der nicht häufig taktet, sondern nur selten und dann mit Nennlast Speicher lädt und erlaubt zugleich eine sehr genaue Dosierung der Heizwärmezufuhr in das Gebäude mit geringem Pumpenstromverbrauch. Solche und ähnliche Lösungen wurden während der Untersuchungsdauer z.B. von den Kesselherstellern Benraad und EWFE angeboten und in einem Falle auch eingesetzt.

Da die Vorgaben für die Auslegung der Heizanlage hinsichtlich solcher Eigenschaften nicht detailliert waren und die Einhaltung der Vorgabe eines mindestens 85 prozentigen Jahresnutzungsgrads auch weder planerisch noch praktisch verifiziert werden konnte, dürften die **Auslegungsentscheidungen** bei den verschiedenen untersuchten NEH **meist auf eher diffuser Grundlage** gefallen sein. Wie (Bild

7-5) zeigt, gibt es eine **sehr große Spanne der Abweichungen** zwischen Heizwärmebedarf und installierter Heizleistung einerseits und zwischen Bewohnerzahl und Größe des Brauchwasserspeichers andererseits. Es ist auch keine klare Korrelation zwischen eher knappen Heizleistungen und dafür größeren Speichern oder umgekehrt zwischen eher groß dimensionierten Heizleistungen und dafür kleineren Speichern erkennbar. (Bild 7- 6) zeigt die Verhältnisse zwischen Wärmeleistungsbedarf in ($kW_{(WLB)}$) und installierter Heizleistung ($kW_{(HZG)}$) nochmals grafisch.

Auslegung der Heizung und der Brauchwasserspeicher								
Objekt	Bau- Art	WFI m ²	WLB kW	P/Hzg kW	Anzahl Bewohner	Speicher		Kesselhersteller
						Liter	L/Pers.	
8 Lünstedt	EFH	156	5,8	12-22	5	200	40	Vaillant Thermobloc
9 Schäfer	EFH	153	5,8	8-16	4	200	50	Vaillant VK
10 Otters	EFH	147	5,6	10-18	4		0	Buderus GB 112 12/W
11 Schröder	EFH	159	6,1	12-15	5	160	32	Viessmann Atola RN
12 Sawatzki	EFH	170	6,0	17	5		0	Viessmann Atola
13 Wächtler	EFH	133	4,1	7	3	160	53	Vaillant Thermopact RSF
14 Möller	EFH	242	7,3	8-20	4	400	100	Brötje Ecotherm WGB 20
15 Kloss-Didier	EFH	189	7,0	8-24	5	400	80	?
16 Wissmann	EFH	151	5,7	10-15	4	200	50	Benraad VX
17 Kröger	EFH				3			Hermann
18 Günther	EFH	175	6,9	24	6	155	26	Wolf
19 Schäfer2	EFH			8-16	5	200	40	Vaillant Thermobloc Ecotech
20 Dähne	EFH	149	5,0	5-25	4	80	20	EWFE Duomat
21 Willbrand	EFH	169	6,3	5-25	4	155	39	EWFE
22 Kordes	EFH	142			4	120	30	Sieger
23 Wilms	EFH	179	5,8	21-24	5	170	34	Giersch BWT
24 Bresser	EFH	152	5,8	12-18	5	150	30	Körting Unigas NT-matic KG 18N
25 Pirog	EFH	172	6,1	10-15	5	200	40	Benraad VX
26 Wellenkötter	EFH	157	5,5	10-25	4			Vaillant VCR Thermobloc
1 Beyaz/Cevik	MFH	224	8,8		11			?
2 Hellmann	MFH	572	21,5	33	20	350	18	Viessmann Condensola RN
4 Quest	MFH	315	12,3	10-15	14	500	36	Benraad VX
5 Hageresch	MFH	337	7,7	30	14	300	21	Giersch BWT
6 Triebel	MFH	488	15,7	11-45	15	500	33	Viessmann Litola LV 34
29 Speckmann	MFH	784	24,1	50	20	500	25	Viessmann Vertomat VSB 05
30 Junge-Wentr.	MFH	1099	39,6	20-50	38	800	21	2 x Hydrotherm BBH 25
31 KWG Halle 1	MFH	619	24,6	80	21	500	24	EWFE
32 KWG Halle 2	MFH	619	24,6	80	21	500	24	EWFE
33 Richter	MFH	620	24,4	10-25	24	2*500	42	Brötje Ecotherm Plus GWB 25

WFI=Wohnfläche, WLB = Wärmeleistungsbedarf; P/Hzg = Installierte Heizleistung

Bild 7- 5: Auslegung und Fabrikate der Heizungen und Brauchwasserspeicher.

Über die genannten Vorgaben und über solche generellen Auslegungsfragen hinausgehende Prüfungen oder Beurteilungen der eingeplanten oder eingebauten Heizanlagen gehörten nicht zum Untersuchungsumfang dieser Studie.

In den nächsten Jahren wird im Rahmen des Forschungsprojekts der Gasverbrauch der einzelnen NEH erfaßt und ausgewertet werden. Von vielen Objekten liegen inzwischen bereits Verbrauchsangaben der ersten oder der ersten beiden Heizperioden vor. Diese unterscheiden jedoch bei keinem EFH und auch nicht bei allen MFH zwischen dem Gasverbrauch für die reine Beheizung und dem für die Brauchwassererwärmung. Um die daraus resultierenden teils erheblichen Unsicherheiten über den reinen Heizenergieverbrauch zu verringern, wurde den Bewohnern empfohlen, vor ihre Brauchwasserbereiter Kaltwasseruhren einsetzen zu lassen und diese ebenfalls regelmäßig abzulesen; inwieweit dieser Anregung gefolgt werden wird, ist im Moment noch nicht erkennbar. Die Ergebnisse der Verbrauchsauswertung sollen Mitte 1999 veröffentlicht werden.

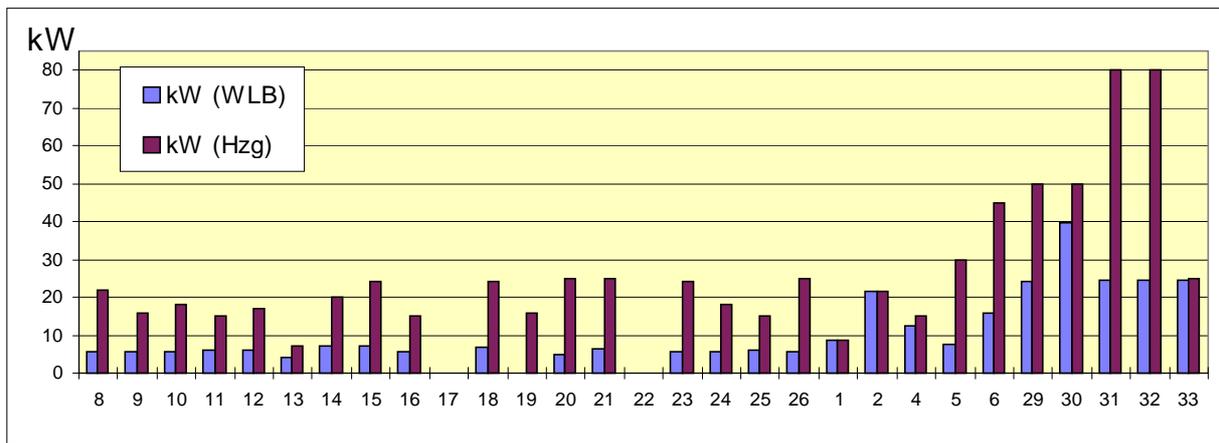


Bild 7- 6: Verhältnis zwischen Wärmeleistungsbedarf und installierter Kesselleistung.

8. Lüftungsanlagen

Inhaltsübersicht

Angemessenes Lüften verursacht in Niedrigenergie-Häusern 40 bis 60 Prozent der gesamten Wärmeverluste. Eine genaue Dosierung der Luftdurchströmung zur Begrenzung der Lüftungswärmeverluste und zur gleichzeitigen Wahrung der lufthygienischen Erfordernisse ist daher eine wichtige Voraussetzung für das tatsächliche Erreichen des angestrebten niedrigen Heizenergieverbrauchs.

Angemessen niedrige und zugleich hygienisch einwandfreie Luftwechselraten lassen sich in weitgehend luftdichten Gebäuden mit hoher Funktionssicherheit und hohem Nutzungskomfort durch den Betrieb mechanischer Lüftungsanlagen sicherstellen. Diese bewirken eine planmäßige Luftdurchströmung unabhängig von Anwesenheit und Aufmerksamkeit der Bewohner und passen sich selbsttätig oder durch manuelle Steuerung unterschiedlichen Bedarfssituationen an. Die verbleibenden Lüftungswärmeverluste können durch Ausstattung der Lüftungsanlage mit Abluft-Wärmerückgewinnung (WRG) noch verringert werden.

Im Untersuchungsgebiet war für alle NEH der Einbau mechanischer Lüftungsanlagen vorgeschrieben, die bestimmten Mindestanforderungen genügen mußten. Die Vorgaben, die Vielfalt der technischen Umsetzungsvarianten und die bei Planung, Installation und Betrieb beobachteten Probleme werden in den folgenden beiden Teilkapiteln beschrieben.

8.1. Vorgaben und Planungsempfehlungen für Lüftungsanlagen

8.2. Geplante und ausgeführte Lüftungsanlagen

8.1 Vorgaben und Planungsempfehlungen für Lüftungsanlagen

Im Untersuchungsgebiet war für alle NEH der **Einbau mechanischer Lüftungsanlagen vorgeschrieben**. Die Anlagen mußten bestimmten Mindestanforderungen genügen, die in (Bild 8.1-1) genannt sind. Die **Art der Ausführung**, insbesondere die Entscheidung zwischen zentralen oder dezentralen Anlagen mit oder ohne Wärmerückgewinnung **stand den Investoren frei**. Da beim Detmolder NEH-Standard keine Boni in der Energiebilanz für den Einbau von Lüftungsanlagen anrechenbar sind, gab es im Untersuchungsgebiet keine Abwägungskonflikte zwischen Art der Lüftungstechnik und Wärmedämmstandard.

Mindestanforderungen an Lüftungsanlagen

An die Lüftungsanlage wird die Mindestanforderung gestellt, daß durch deren Ventilatoren das gesamte Luftvolumen der beheizten Räume bei Windstille mit Luftwechselraten in der Regelbandbreite von 0,3/h bis 0,8/h austauschbar sein muß. Nicht vorgegeben ist, ob die Lüftungsanlage mit dezentralen oder zentralen Ventilatoren ausgerüstet wird. Auch die Entscheidung, ob eine Abluftwärmerückgewinnung eingebaut wird oder nicht, ist freigestellt. Die Mindestausstattung ist eine reine Entlüftungsanlage mit dezentralen Abluftventilatoren in den Abluft- bzw. Feuchträumen (Küchen und WCs/Bädern/Duschen/ggf. beheizter Hauswirtschaftsraum) sowie Zuluftöffnungen in den Frischlufräumen (Wohn-, Eß-, Arbeits-, Schlaf- und Kinderzimmern).

Die Nachweise müssen belegen,

- daß die Abluft aus den Ablufträumen mit für Dauerbetrieb geeigneten dezentralen oder zentralen Abluftventilatoren abgesaugt werden kann,
- daß die Frischluft in die Zulufräume durch raumweise regelbare Zuluftöffnungen mit geeigneten Querschnitten nachströmen kann,
- daß zwischen Zu- und Ablufträumen auch bei geschlossenen Türen geeignete Strömungswege für die Luft vorhanden sind,
- daß die Leistung der installierten und für Dauerbetrieb geeigneten Ventilatoren die erforderliche Durchströmung ermöglicht,
- und daß Brandschutzauflagen sowie sonstige gegebene baurechtliche Anforderungen eingehalten sind.

Um den gewünschten Komforteffekt und Energiespareffekt zu erreichen, wird allerdings dringend empfohlen, über diese formalen Mindestanforderungen hinaus auch Kriterien des Schallschutzes, der Unabhängigkeit von Richtung und Stärke des Windes, der Wartungsfreundlichkeit, des geringen Stromverbrauchs sowie einer guten Regeltechnik einzuplanen.

Bild 8.1- 1: Mindestanforderungen an Lüftungsanlagen im Untersuchungsgebiet.

Die meisten örtlichen Architekten und Installateure hatten zu Projektbeginn im Herbst 1994 noch **wenig Erfahrung** mit Auslegung und Einbau kleiner Wohnungslüftungsanlagen. Neben den formellen Vorgaben war daher auch **vorausgehende Aufklärungsarbeit** und vielfach sogar **individuelle Unterstützung bei der Detailplanung** erforderlich. Diese wurde vom NEI durch Vorträge vor Ort erbracht, zu denen die Grundstückskäufer, ihre Planer sowie örtliche Fachfirmen durch die Stadt Werther eingeladen wurden. Weiterhin wurde individuelle kostenlose Beratung zur Lüftungsplanung angeboten. In einem Falblatt wurde am Beispiel eines der ersten geplanten Einfamilienhäuser der Planungsablauf und die Konfiguration einer zentralen Abluftanlage dargestellt. Darin wurden ebenfalls Literaturempfehlungen zur Lüftungsplanung gegeben⁽¹⁾, deren Inhalt hier nicht wiederholt wird. Die wichtigsten Empfehlungen für die Detailplanung sind in (Bild 8.1- 2) vereinfacht aufgelistet:

(1) Empfohlene Literatur:

- "Lüftung im Wohngebäude" und "Kontrollierte Wohnungslüftung", Hrsg.: Hessisches Umweltministerium, Wiesbaden
- "Heizung und Lüftung in Niedrig-Energie Häusern", Hrsg.: NEI Detmold
- "Checkliste kontrollierte Wohnungslüftung", Hrsg.: IWU, Darmstadt

Empfehlungen für die Detailplanung von Lüftungsanlagen im Untersuchungsgebiet

- Als Zuluftöffnungen sollen in ihrem freien Querschnitt manuell regelbare Elemente verwendet werden, feuchtegeregelte Elemente sind ebenfalls zulässig. Zulufteinlässe sollen im oberen Außenwandbereich der Räume, möglichst über Heizkörpern und nicht im Bereich von Ruhe- oder Sitzplätzen installiert werden, ebenfalls nicht in Drempeln mit geringer Höhe zur Vermeidung von Zugerscheinungen.
- Zuluftleitungen sollen direkt hinter der Durchführung durch die Wand mit einem Filter versehen werden, dieser soll zwecks Reinigung leicht zugänglich sein. Kaltluftführende Leitungen innerhalb beheizter Räume, sowie warmluftführende Leitungen innerhalb unbeheizter Räume müssen isoliert werden.
- Abluftventile sollen im Querschnitt einstellbar sein.
- Zusätzlich zu den Abluftöffnungen in den Ablufträumen Küche, Bad, WC soll ein Absaugpunkt im Flur, bei EFH mit offenem Treppenhaus nur im OG-Flur vorgesehen werden, um das Nachheizen der Luft im vergleichsweise wärmeren Bad zu verhindern. Eine mechanisch oder elektrisch betätigte Rohrweiche soll die Abluftführung vom Flur in das Bad umlenken.
- Abluftleitungen sollen auf möglichst kurzen Strecken verlegt werden und ausschließlich aus Blech-Wickelfalzrohren bestehen. Aluflex-Leitungen oder Kunststoff-Spiralschläuche sollen auch an Anschlußstellen mit schwierigen Winkeln vermieden werden, da sie unnötige Strömungswiderstände darstellen, stärker verschmutzen und kaum zu reinigen sind. Abluft von Dunstabzugshauben soll nicht in Abluftleitungen eingeblasen, sondern separat nach außen abgeführt werden.
- Schalldämpfer sollen in allen Abluftleitungen zwischen den Absaugpunkten und der Leitungszusammenführung sowie möglichst hinter dem Ventilator eingebaut werden.
- Die Ventilatoren sollen möglichst wenig Strom verbrauchen, in Ihrer Leistung auf einen 0,3- bis 0,8-fachen Luftwechsel pro Stunde ausgelegt und gut regelbar sein und möglichst nahe an den Absaugpunkten aufgestellt werden, um kurze Leitungswege zu erhalten.
- Fortluft soll auf der Windsogseite des Dachs abgeblasen werden, um unnötige Luftwiderstände zu verhindern.

Bild 8.1- 2: Empfehlungen für die Detailplanung von Lüftungsanlagen im Untersuchungsgebiet.

Als **Ablauf der Lüftungsplanung** war vorgesehen, daß diese von bauseits beauftragten Architekten oder Fachplanern ausgearbeitet und vorgelegt und vom NEI hinsichtlich Einhaltung der Mindestanforderungen geprüft wird. Um zu vermeiden, daß mit der Lüftungsplanung erst verspätet begonnen wird sowie daß dadurch Probleme wie die Verteuerung oder eine suboptimale Ausführung der Anlage entstehen, war eine dreistufige Prüfung vorgesehen:

- Schon in der Planungsphase und vor Baubeginn sollte ein Lüftungskonzept in Form eines Plans im Maßstab 1:100 oder 1:50 vorgelegt werden, aus dem die Grundkonfiguration erkennbar sein sollte. Die geplanten Luftwege, die Lage von Zu- und Abluftventilen, eventuellen Luftkanälen, Überströmöffnungen, Schallschutz-, Brandschutz- und Regeleinrichtungen sollten hierin eingezeichnet sein und es sollte grundsätzliche Angaben zur Dimensionierung und Materialwahl enthalten. Aus diesem Lüftungskonzept sollte vor allem erkennbar sein, daß eine zulässige und funktionsfähige Konfiguration mit ihren wesentlichen Elementen sachlich und räumlich eingeplant war.
- Spätestens drei Monate nach Baubeginn sollten die genauen Auslegungsdaten der Komponenten mitgeteilt und die Einhaltung der Mindestanforderungen belegt werden, so daß Auslegungsfehler noch rechtzeitig vor Bestellung oder Einbau erkennbar gewesen wären.
- Nach dem Einbau sollte die der Planung entsprechende Auslegung der Komponenten vom NEI durch Sichtkontrolle geprüft werden; eine Funktionsprüfung oder Leistungsmessung war jedoch aus Kostengründen nicht vorgesehen, sondern sollte von den Installateuren vorgenommen werden.

Der **tatsächliche Ablauf der Lüftungsplanung** war jedoch anders, auch wegen der noch fehlenden Erfahrungen mit der Planung kleiner Wohnungslüftungsanlagen. Bei den überwiegend eingebauten einfachen Abluftanlagen ist weiterhin das Investitionsvolumen im Regelfall so gering, daß hieran bemessene HOAI-Sätze für die Grundlagenermittlung und Ausführungsplanung für Architekten oder Fachplaner unattraktiv niedrig sind. Gesonderte Planungskosten wollten die Investoren trotz offensichtlicher Wissens-

defizite ihrer Baupartner aber meist nicht tragen. Auslegungs- und Installationsvorschläge von Produktherstellern, die in einigen Fällen angeboten wurden, waren meist nicht brauchbar. Die vorgeschlagene Konfiguration waren in der Regel nicht an das jeweilige NEH angepaßt, enthielt ungeeignete Komponenten oder hielt die gestellten Mindestanforderungen nicht ein. Die Mehrzahl der Lüftungskonzepte entstand deshalb in Beratungsgesprächen zwischen NEI und Bauleuten oder deren Planern. Detaillierte Lüftungsplanungen wurden später für vier EFH und sieben MFH von Fachplanern erstellt, für zehn NEH von den jeweiligen Architekten, in einem Fall von dem ausführenden Handwerker und in zwei Fällen von den Investoren selbst. Für sieben Objekte (23 %) wurde trotz Anmahnen kein Lüftungskonzept erstellt. Was hier "geplant" war, konnte dann erst anhand der eingebauten Komponenten nachvollzogen werden.

Die **vorgelegten Lüftungskonzepte und Lüftungsplanungen** (vgl. Kapitel 8.2) hielten im wesentlichen, zum Teil auch erst nach Bemänglung und Nachbesserung, die Mindestanforderungen an die Luftwegeführung und Komponenten ein. Die Einzelkomponenten der Lüftungsanlagen waren in den Konzepten jedoch nur selten exakt beschrieben, so daß die anhand dieser Daten vorgesehene Vorprüfung der richtigen Auslegung nur in wenigen Fällen erfolgen konnte. In den meisten Planungen waren weder die Größe bzw. die freien Strömungsquerschnitte der Zuluftelemente, Überströmwege, Abluftventile, Abluftleitungen oder Fortluftauslässe angegeben noch die Produktbezeichnungen oder Leistungsdaten der geplanten Ventilatoren. Berechnungen der Strömungswiderstände des Kanalnetzes als Grundlage für die Dimensionierung des Ventilators wurden dem NEI in keinem Fall vorgelegt, vermutlich gab es sie in einigen Fällen. Trotz Bemänglung wurden diese Daten nur in wenigen Fällen nachgereicht. Inwieweit die Anlagen unter ihren Einsatzbedingungen planmäßig funktionieren würden, konnte deshalb vom NEI meist nur anhand von Erfahrungswerten mit ähnlichen Anlagen abgeschätzt werden.

Der **Termin** für Vorlage und Prüfung der Lüftungsplanung wurden nur bei acht von 30 Objekten eingehalten. Bei 15 Objekten wurde das Lüftungskonzept erst nach Baubeginn vorgelegt; die Verspätungen betragen zwischen einer Woche und sieben Monaten, im Mittel vier Monate. Bei sieben Objekten ohne Lüftungskonzept wurde sogar erstmals nach Rohbaufertigstellung bei gemeinsamen Baubegehungen die Anordnung der Komponenten und die Leitungsführung überlegt und es wurde die Lage von Zu- und Abluftventilen, Leitungswegen und Ventiloren an Ort und Stelle festgelegt. Die derart verspätet geplanten Anlagen sind in fast allen Fällen deutlich suboptimal konfiguriert, da die Möglichkeiten zum Verlegen von Leitungen und zum Aufstellen von Ventilatoren zu diesem späten Zeitpunkt bereits stark eingeschränkt waren.

Insgesamt führte die im Untersuchungsgebiet angewandte Mischung aus Vorgaben, Empfehlungen, Ablauforganisation und Qualitätskontrolle **nicht immer zu zufriedenstellenden Anlagen**. Die Vorgaben der Mindestanforderungen und des Ablaufs waren zwar eindeutig formuliert, doch fehlten Instrumente, um Fehlentwicklungen rechtzeitig erkennen und sanktionieren zu können. Die nur pauschal vereinbarte Vertragsstrafe für die Nichteinhaltung aller NEH-Vorgaben von 10.000 DM für Ein- und Zweifamilienhäuser und 15.000 DM für Mehrfamilienhäuser konnte vor allem Terminüberschreitungen und inhaltliche Mängel der Lüftungskonzepte und Planungen nicht verhindern. Eine volle Einforderung der Vertragsstrafe nur wegen verspäteter oder unvollständiger Planung schien unangemessen und für Teilforderungen fehlte eine Berechnungsgrundlage. Die bei anderen NEH-Baugebieten angewandten Verfahren, entweder Terminüberschreitungen für Planprüfungen direkt zu sanktionieren oder die Baugenehmigung solange zurückzuhalten, bis eine allen Anforderungen genügende Planung vorliegt, hätte solche Mängel vermeiden können.

Ein weiteres **Umsetzungshemmnis** war die Tatsache, daß die Lüftungsanlagen **nicht aus freien Stücken eingebaut** wurden, sondern vorgeschrieben waren. Die Erstellung des Lüftungskonzeptes und der Einbau der Anlage selbst wurden vielfach als ungewollter und unnötiger Zusatzaufwand mit Folge unnötiger Kosten empfunden. Mehrfach wurde sogar offensichtlich erst abgewartet, ob der Einbau tatsächlich auch eingefordert würde und es wurde solange keine konkrete Planung erstellt. Diese Abwartehaltung verhinderte dann eine frühzeitige planerische Optimierung. **Positive Rückmeldungen über Betriebserfahrungen** mit den eingebauten Lüftungsanlagen bestätigten jedoch auch, daß das Akzeptanzhemmnis mehr psychologischer Natur als materiell begründet war. Insofern ist bei Folgeprojekten **weiterhin intensive Aufklärungsarbeit nötig**.

Zur Vermeidung solcher Effekte sollte bei Folgeprojekten mit verbindlicher Vorgabe von Lüftungsanlagen stets eine **Qualitätssicherung** von deren Planung und Ausführung organisiert werden, wie sie in (Bild 8.1-3) auf der folgenden Seite skizziert ist, und es sollten angemessene Sanktionen festgelegt werden. Ohne diese Begleitung ist bisher noch zu befürchten, daß Planungen unzulänglich erstellt werden und Anlagen nachher unbefriedigend funktionieren, was für die Akzeptanz und die breite Marktein

führung eher nachteilig ist. Ein erstes Beispiel hinreichend früh beginnender und klar durchorganisierter Qualitätssicherung wird seit Anfang 1997 vom Umweltamt der Stadt Hannover für die EXPO-Bebauung in Hannover-Kronsberg realisiert.

Bauphase	Leistung	QS-Maßnahme
Planung	Lüftungskonzept	Terminvorgabe u. Plankontrolle
	Lüftungsplanung	Terminvorgabe u. Plankontrolle
Bau	Anlagenausführung Anlageneinregulierung	Baukontrolle Nachweis
Betrieb	Anlageneinweisung Anlagenwartung	Nachweis Nachweis

Bild 8.1- 3 Maßnahmen zur Qualitätssicherung von Lüftungsanlagen in verschiedenen Planungs- und Bauphasen.

8.2. Geplante und ausgeführte Lüftungsanlagen

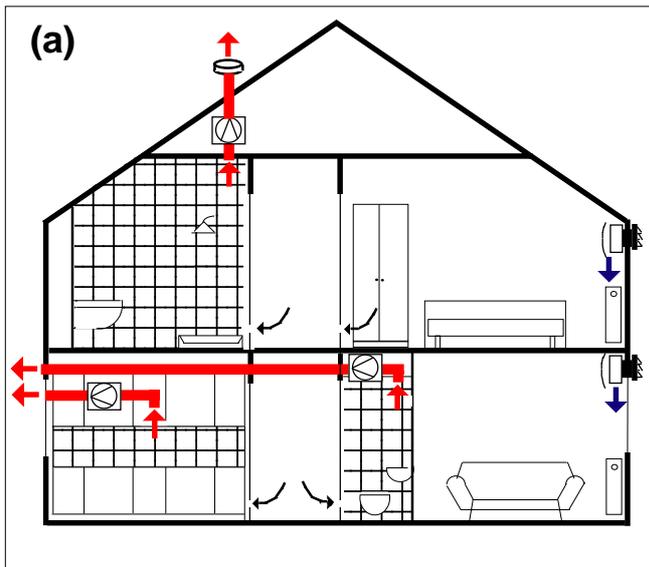
Die in Kapitel 8.1 in (Bild 8.1-1) beschriebenen Mindestanforderungen für Lüftungsanlagen ließen den Investoren relativ **große Spielräume bei der technischen Konfiguration** ihrer Anlagen. Diese konnten relativ einfach oder auch aufwendig gestaltet werden, unterschiedliche Niveaus an Komfort waren möglich, was Geräuschminderung, Zulufttemperaturen und automatische oder manuelle Regelung betrifft. Auch konnten die Anlagen mit unterschiedlicher energetischer Effizienz gebaut werden, was ihren Stromverbrauch und die Entscheidung für bzw. gegen Wärmerückgewinnung betrifft. Die wesentliche Mindestanforderung für alle Konfigurationen war, daß durch die Anlagen die Durchlüftung des gesamten beheizten Volumens in der Regelbandbreite von 0,3- bis 0,8-fachem Luftwechsel pro Stunde erreichbar sein muß.

Die **Vielfalt der geplanten und gebauten Lüftungsanlagen** war relativ groß. Insgesamt gab es sieben grundsätzlich verschiedene Ausführungen für EFH und MFH, die in (Bildern 8.2-1 - 8.2-3) dargestellt sind.

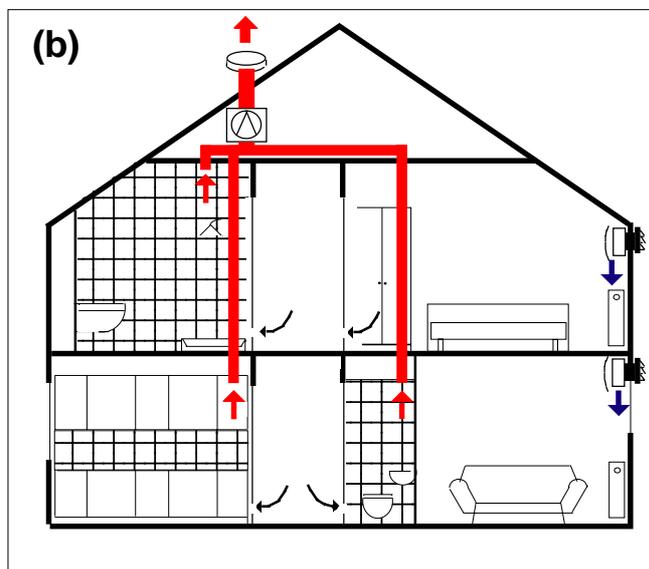
Einfachste dezentrale Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft über Außenwandventile und zugleich dezentraler Abluft über einzelne Abluftventilatoren in jedem Feuchtraum (Beispiel (a) in Bild 8.2-1) wurden für vier Einfamilienhäuser und ein Zweifamilienhaus geplant. Diese Lösung wurde von Investoren bevorzugt, die die Lüftungs-Mindestanforderungen mit möglichst wenig Kosten erfüllen wollten, ohne besondere Qualitäten zu erwarten oder ohne die Anlage nachher überhaupt betreiben zu wollen. Bei diesen Anlagen fällt wenig oder gar kein Verrohrungsaufwand an, wenn die Abluftventilatoren in den einzelnen Feuchträumen direkt nach außen abblasen können. Bei Verwendung sehr primitiver Rohreinbauventilatoren sind diese auch kostengünstig. Nachteile dieser Konfiguration sind, daß die Kleinventilatoren meist relativ laut sind und hohe Stromverbräuche bezogen auf ihre Leistung aufweisen. Meist ist die Leistung der Kleinventilatoren zudem weder einzeln noch insgesamt ausreichend regelbar, so daß eine bedarfsabhängige Luftwechselrate nur durch Taktbetrieb herstellbar ist. Ein zuverlässiger Taktbetrieb ist bei nicht leistungsregelbaren Anlagen theoretisch durch automatische Zeitschaltuhren für den Ventilatorbetrieb herstellbar, die aber in keinem Fall eingeplant waren. Durch die rein manuelle Regelung per EIN-AUS-Schalter wird das wesentliche Ziel von Abluftanlagen, eine hygienisch und energetisch sinnvolle Luftwechselrate sicherzustellen, deshalb mit Sicherheit nicht erreicht. In zwei Fällen, in denen zwar einfache Lüftungskonzepte, aber keine allzu billigen Komponenten gewünscht waren, war die geplante Anlage wegen der Vielzahl der dezentral einzubauenden Ventilatoren vermutlich teurer als es eine zentrale Abluftanlage gewesen wäre.

Zentrale Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft über Außenwandventile und zentraler Abluft über jeweils nur einen zentralen Abluftventilator pro Wohneinheit wurden in neun Einfamilienhäusern, zwei Zweifamilienhäusern und acht Mehrfamilienhäusern eingeplant. Diese Konfiguration wurde von Investoren bevorzugt, die *die Zielsetzung genau dosierbarer Luftwechselraten akzeptierten und im Betrieb vor allem Komfort und Robustheit erwarteten*. Vorteile dieser Konfiguration sind die genaue Dosierbarkeit des Luftwechsels durch die mindestens mehrstufige, meist sogar stufenlose Regelbarkeit der Ventilatorleistung und die geringe Geräuschbelästigung, da der Ventilator selbst in einem Neben- oder Technikraum stehen kann und in seinen Zuleitungen leicht leistungsfähige Schalldämpfer eingebaut werden können. Die Robustheit wird durch die Wahl des Rohrmaterials und des Zentralgeräts bestimmt. Die Kosten hängen von der Länge des Luftleitungsnetzes zwischen den Ablufträumen und dem Aufstellort des zentralen Abluftventilators und von der Qualität des Zentralgeräts ab, das allein zwischen 500 und 1000 DM kostet. Die zentralen Abluftventilatoren waren bei den EFH und ZFH stets im Dachgeschoß installiert (Beispiel (b) in Bild 8.2-1), bei den MFH teils in den Wohnungen (Beispiel (d) in Bild 8.2-2) und teils im Dachboden (Beispiel (e) in Bild 8.2-2).

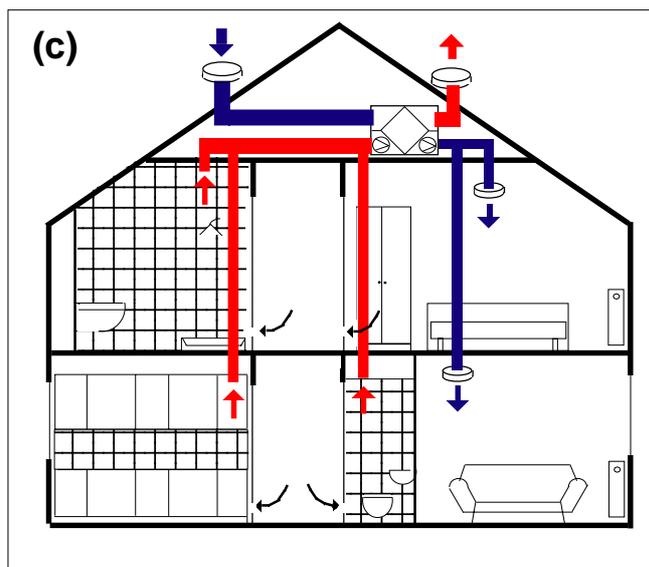
Zentrale Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft über Außenwandventile und zentraler Abluft über nur einen zentralen Abluftventilator für mehrere Wohneinheiten (Beispiel (f) in Bild 8.2-2) wurden in drei Mehrfamilienhäuser eingeplant. Diese Konfiguration erfordert nur einen einzigen großen Ventilator, der kostengünstiger und effizienter sein kann als mehrere kleine Geräte, sie ermöglicht dafür aber nur eine begrenzte individuelle Regelung der Luftwechselraten in den Wohnungen und erfordert stattdessen eine aufwendigere zentrale Regelung. Sie wurde vor allem von Investoren bevorzugt, die von den Nutzern ihrer Wohnungen geringes Interesse oder geringen Sachverstand für energiebewußten Umgang mit Haustechnik erwarteten und wegen innenliegender Feuchträume ohnehin Ablufttechniken benötigten. In einem MFH wird dabei die Abluft aus den übereinanderliegenden



Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft und dezentraler Abluft über raumweise Abluftventilatoren.

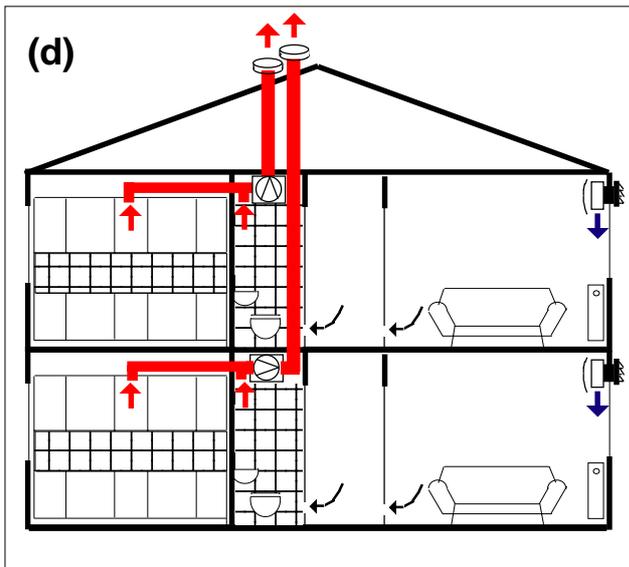


Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft und zentraler Abluft über einen zentralen Abluftventilator.

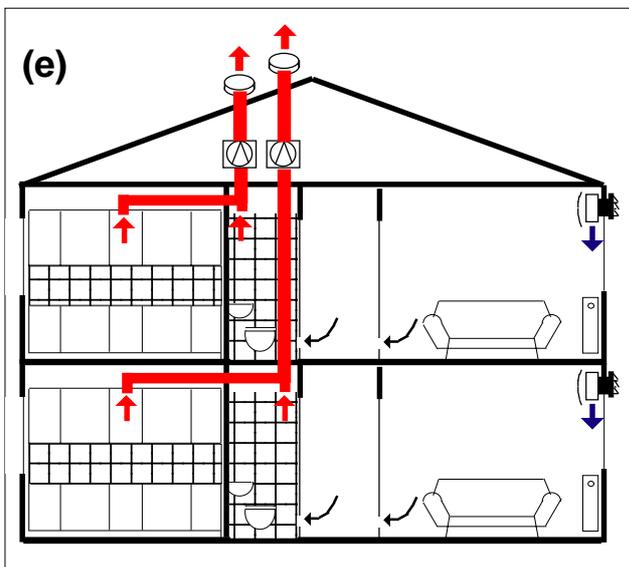


Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit zentraler Zuluft und zentraler Abluft über einen zentralen Wärmetauscher.

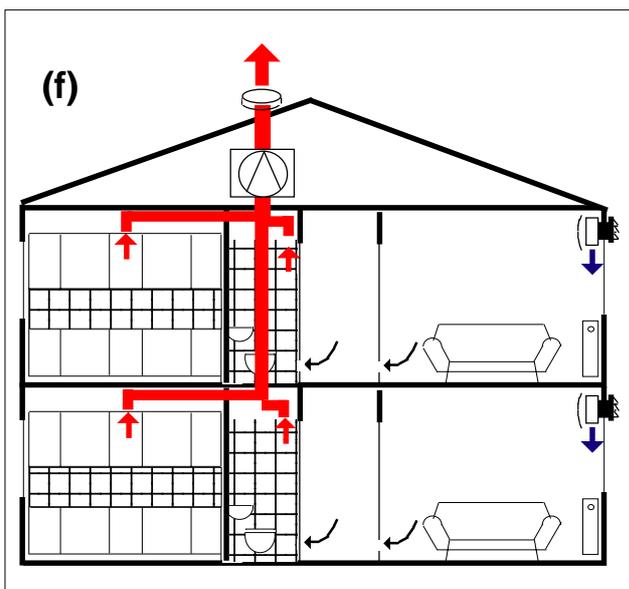
Bild 8.2- 1: Lüftungsanlagen-Konfigurationen in Einfamilienhäusern.



Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft und zentraler Abluft über wohnungsweise Abluftventilatoren in den Wohnungen.



Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft und zentraler Abluft über wohnungsweise Abluftventilatoren auf dem Dachboden.



Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluft und zentraler Abluft über Sammelschacht und zentralem Abluftventilator für das gesamte Gebäude.

Bild 8.2- 2: Lüftungsanlagen-Konfigurationen in Mehrfamilienhäusern.

Feuchträumen der grundrißgleichen Etagen mittels eines gemeinsamen Sammelrohrs abgesaugt, in das die Abluftventile aus den einzelnen Feuchträumen direkt einmünden. Bedenken des NEI wegen eventueller Schall- oder Geruchsübertragungen zwischen den Wohnungen wurden vom Planer nicht geteilt. In den anderen MFH werden die wohnungsweisen Abluftleitungen jeweils separat bis zum Spitzboden hochgeführt und erst dort verbunden; hierbei waren Schall- und Geruchsübertragungen nahezu ausgeschlossen.

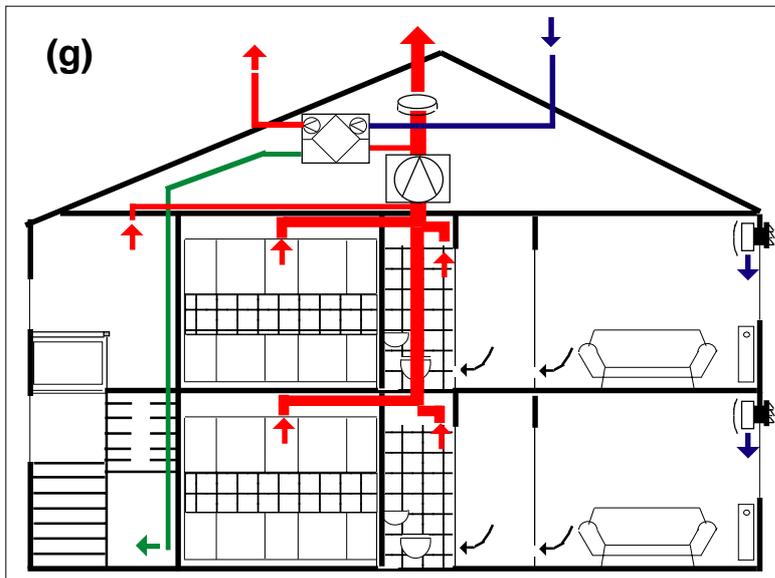


Bild 8.2- 3: Treppenhausbeheizung über WRG-Anlage. Der Fortluft wird Wärme entzogen, die der Treppenhauszuluft zugeführt wird.

Zentrale Abluftanlagen mit teilweiser Wärmerückgewinnung bei dezentraler Zuluft über Außenwandventile und zentraler Abluft wurden in drei Mehrfamilienhäuser eingebaut, davon eines mit zentralem und zwei mit wohnungsweisen Abluftventilatoren. Die teilweise Wärmerückgewinnung diente dabei in allen Fällen ausschließlich der Treppenhausbeheizung mit Warmluft. Die Wärme wurde dabei mittels eines Wärmetauschers der im Dachboden zentral zusammengeführten Abluft der Wohnungen entzogen. Die warme Zuluft des Treppenhauses wurde in dessen unteren Bereich eingeblasen. (Bild 8-2.3) zeigt das Prinzip der Treppenhausbeheizung über Abluftwärmerückgewinnung. Diese Variante hatte

neben rein lüftungstechnischen Aspekten in allen Fällen den Beweggrund, daß die hier praktizierte "Beheizung der Treppenhäuser ohne Heizkörper" im Untersuchungsgebiet die einzige zugelassene Möglichkeit war, Treppenhäuser als beheizt in die Energiebilanz einbeziehen. Nur bei dieser Form der Treppenhausbeheizung über WRG konnten sich die Investoren die Innendämmung der Wohnungstrennwände zum sonst "kalten" Treppenhaus sparen (vgl. Kap.2.3).

Zentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung durch einen Luft-Luft-Wärmetauscher, zentraler Zuluft und zentraler Abluft wurden für ein Einfamilienhaus und ein Zweifamilienhaus geplant. Die Investoren dieser Varianten akzeptierten neben dem Ziel geregelter Luftwechselraten auch den Mehraufwand dieses Anlagentypes. Dieser besteht aus der hier erforderlichen doppelten Luftkanal-Verlegung von Zuluft und Abluft, das teurere Zentralaggregat mit Wärmetauschern und Filtern sowie den unvermeidlich höheren Stromverbrauch dieser Anlage aufgrund der zwei Luftwege der längeren Leitungen und deren höheren Strömungswiderstände. Sie erwarteten dafür eine spürbare Ersparnis an Heizenergie durch Verringerung der Lüftungswärmeverluste. Daneben haben auch erhöhte Komfortwünsche bei der Entscheidung eine Rolle gespielt, da solche Anlagen im Winter den Aufenthaltsräumen vorerwärmte statt nur kalter Frischluft zuführen. Beispiel (c) in (Bild 8.2-1) zeigt eine solche Konfiguration.

Andere Konfigurationen zentraler Lüftungsanlagen, die die Abluft-Wärmerückgewinnung durch Wärmepumpen bewerkstelligen oder Abgase aus Heizanlagen in die Wärmerückgewinnung einbeziehen, kamen im Untersuchungsgebiet nicht vor.

Die beobachteten **Probleme bei der Planung und Ausführung** der Anlagen insgesamt sowie ihrer wesentlichen Komponenten sind nachfolgend genannt: Dabei werden zunächst allgemeine Probleme bei der Erstellung des Lüftungskonzeptes und der Lüftungsplanungen, im folgenden die Probleme an den einzelnen Komponenten und zwar in der Reihenfolge des Luftweges von der Frischluft bis zur Fortluft erläutert und abschließend Aspekte der fertiggestellten Anlagen dargestellt.

Insgesamt ungeeignete Lüftungskonzepte, die die Mindestanforderungen nicht einhielten, wurden anfangs für zwei Mehrfamilienhäuser vorgelegt. Hier sollten **Kleinstlüfter mit Wärmerückgewinnung** in die Außenwände jedes Aufenthaltsraumes eingebaut werden. Diese Anlagen konnten jedoch die Anforderungen einer 0,8 fachen Luftwechselrate, einer ausreichenden Regelbarkeit und der sicheren Entlüftung der innenliegenden Ablufträume nicht sicherstellen. Sie hatten zudem relativ hohe

Stromverbräuche und wären im Nennbetrieb zudem vermutlich zu laut gewesen. Diese Planungen wurden zurückgewiesen und es wurden neue Lüftungskonzepte mit dezentraler Zuluft und wohnungsweise zentraler Abluft erstellt.

Zu spät erstellte oder unpräzise Lüftungskonzepte führten dazu, daß Planungsfehler nicht im Vorfeld erkannt und vermieden werden konnten, daß vermeidbar hohe Kosten entstanden, daß unschöne oder fehlerhafte Details ausgeführt wurden, Komponenten falsch ausgelegt waren und Anlagen nachher vermutlich nicht zufriedenstellend funktionierten. Durch verspätete oder ungenaue Luftwegeplanung entstanden zu lange Luftkanäle, vermeidbare Verkleidungen, nachteilige Anordnung von Regelungselementen, Revisionsöffnungen, Kondensatabläufen, Schalldämpfern, Leitungszusammenführungen und Ventilen. Bei einem Objekt war der für die Ventilatoraufstellung vorgesehene Raum nachher tatsächlich zu beengt.

Grundsätzliche Zielkonflikte bei Anlagenplanung und -auslegung gab es **zwischen** der Vorgabe zum **Einbau einer Abluftanlage** und dem Wunsch der Investoren **offene Feuerungsanlagen** in ihren NEHs zu installieren. Für diese Konstellation enthält der DT-NEH-Standard keine Regelung. Zielkonflikte bestehen nicht nur zur Lüftungstechnik sondern auch zu anderen NEH-Vorgaben. Es bestehen

- **Probleme mit der Verbrennungsluftzuführung**, wenn das Gebäude sehr luftdicht ist und die planmäßigen freien Querschnitte der Zuluftöffnungen während des Ofenbetriebs evtl. verschlossen oder auch im geöffneten Zustand für die erheblich höheren Verbrennungsluftmengen nicht groß genug sind;
- **Probleme mit der Abgasabführung**, wenn die Lüftungsanlagen als reine Abluftanlagen ausgeführt sind, die im Betrieb einen leichten Unterdruck im Gebäude aufbauen, der dem thermischen Auftrieb der Abgase im Kamin entgegenwirkt;
- **Probleme mit der Lufthygiene** außerhalb der Betriebszeiten der Feststofföfen, wenn deren Gehäuse, sowie Zu- und Abluftleitungen zum Wohnraum nicht dicht verschließbar sind. Durch den normalen Betriebsunterdruck der Lüftungsanlage werden unkontrolliert mit der Frischluftmenge, Stäube oder Asche durch die Öfen und Schornsteine hereingesaugt. Das hier ohnehin bestehende Luftdichtheitsproblem ist in Kapitel 6.5 beschrieben.
- Die gesamte **Umweltentlastung** durch die Niedrigenergie-Bauweise wird **erheblich verringert**, wenn der verringerte Heizwärmebedarf aus Wärmeerzeugern mit wesentlich höheren spezifischen Schadstoff-Emissionen bedient wird.

Seitens des NEI wurde aus diesen Gründen generell **von Feststoff-Feuerungen abgeraten**. Wenn sie dennoch gebaut werden sollten, wurde eine gesonderte Zuführung der Verbrennungsluft, eine dichte Verschließbarkeit der Abgasleitungen außerhalb der Betriebszeiten, ein zum Innenraum dicht abgeschlossener Feuerraum sowie eine Abstimmung der Planung mit dem Schornsteinfeger empfohlen. Detailliert zu ermitteln, inwieweit diesen Empfehlungen gefolgt und funktionierende bzw. zulässige Anlagen installiert wurden, gehörte nicht zum Umfang dieser Untersuchung. Es konnte aber in mehreren Fällen beobachtet werden, daß unbefriedigende und vermutlich unzulässige Lösungen realisiert wurden, von denen bei falscher Handhabung auch **Gefahren** ausgehen können.

Die Einordnung von Räumen als Zu- oder Abluftraum war in mehreren NEH mit Abluftanlagen fehlerhaft. Mehrfach sollten z.B. Küchen oder Bäder mit Zuluft- statt mit Abluftöffnungen versehen werden. Bei einem Objekt waren in allen Ablufträumen Zuluftventile geplant und der Planungsfehler wurde erst entdeckt, nachdem die dafür erforderlichen Außenwanddurchbrüche in die bereits verklinkerte Fassade und innenseitig in den Fliesen gebohrt worden waren, welche nachher wieder verschlossen werden mußten.

Zulufträume auf der Windsogseite des Gebäudes sollten mit Außenwandventilen versehen werden. Daß durch so angeordnete Ventile schon bei geringen Windgeschwindigkeiten keine ausreichende Zuluftmenge mehr zuströmen würde, war den Planern nicht bewußt. Dieses Problem war in Einfamilienhäusern meist durch Einbau einfacher Luftzuleitungen von der Winddruckseite des Gebäudes her lösbar, in Mehrfamilienhäusern mit mehreren Wohnungen pro Etage dagegen nur selten.

Inwieweit die **Zuluftelemente** die **Mindestanforderungen** erfüllten, war nur teilweise prüfbar. Insgesamt wurden in den 20 Objekten mit Abluftanlagen Außenwandventile, bei zwei Objekten in die Rolladenkästen integrierte sowie bei einem Objekt in die Fensterrahmen integrierte Zuluftelemente gewählt. Die

Anforderung an die Regelbarkeit des freien Querschnitts wurde von allen geplanten und eingebauten Frischluftventilen erfüllt. Inwieweit die freien Querschnitte der eingeplanten oder eingesetzten Ventile bei den von den Ventilatoren tatsächlich aufgebauten Unterdrücken eine ausreichende Luftdurchströmung ermöglichen, wurde dagegen in fast keinem Fall berechnet und auch nicht geprüft. Nach äußerer Abschätzung des NEI dürfte der überwiegende Anteil der Zuluftventile ausreichend, ein gewisser Teil aber unterdimensioniert sein.

Die **Einbauorte der Zuluftventile** wurden entgegen den Planungsempfehlungen häufig ungünstig geplant und realisiert, so etwa in niedrigen Drenpelabmauerungen oder über Schlaf- oder Arbeitsplätzen, wo Zugerscheinungen zu befürchten sind, oder direkt über hohen Rippenheizkörpern oder hinter Möbeln, wo sie schwer zugänglich und damit schwer einstellbar sind.

Mehrfach wurden die **Wanddurchführungen zu nahe unter Decken** oder neben Wandecken in die Außenwand gebohrt, so daß später das im Durchmesser etwas größere innere Ventilgehäuse nicht montiert werden konnte.

Zuluftlemente für Dachgeschoßräume ohne senkrechte Außenwände fehlten in einigen Planungen völlig, da keine Schrägdachdurchlässe gewünscht und andere Luftzuführungen nicht erwogen worden waren. Sie wurden in einigen Fällen nach Bemänglung in die Planung eingearbeitet, in anderen Fällen trotz Bemänglung nicht realisiert.

Filterkästen und Schalldämmelemente in Zuluftleitungen wurden oft weggelassen und die Zuluftleitungen wurden teils auf ungünstigen, weil zu langen oder für Reinigungszwecke nicht zugänglichen Wegen verlegt. Bei einem Einfamilienhaus wurde die Zuluft einem auf der windabgewandten Seite gelegenen Schlafraum strömungstechnisch ungünstig durch eine senkrechte, fast zwei Meter langen Steigeleitung von oben herankommend zugeführt. Hier wird die thermische Auftriebskraft meist stärker als die Sogkraft des Abluftventilators sein, so daß dieses Rohr als Abluftkamin statt als Zuluftleitung funktionieren wird.

Kalte Zuluftleitungen wurden oft unzureichend gedämmt, auch wenn sie durch beheizte Räume führen. Hier ist im Winter Wasserdampfkondensation an den raumseitigen Oberflächen zu erwarten.

Überströmöffnungen zwischen Zu- und Ablufträumen wurden meist weder räumlich noch maßlich festgelegt, ebensowenig das Gewerk, das die Luftspalte an der Unterkante der Innentüren herstellt. In mehreren Fällen war der Luftspalt, der beim Einsetzen der Tür etwa angemessen groß war, später durch Teppichboden verschlossen. In dem davorliegende Zulufttraum konnte durch die Abdichtung des Türspaltes kein Unterdruck mehr aufgebaut werden sodaß der Raum nur noch unzureichend mit Zuluft versorgt wurde.

Die Lage der Absaugpunkte wurde im wesentlichen richtig geplant. Alle Einfamilienhäuser wiesen in Küchen und Bädern, fünf Häuser zusätzlich im OG-Flur Abluftöffnungen auf. Mehrfach wurden ungünstig gelegene Gäste-WCs im EG nicht an den Zentralventilator angeschlossen, sondern mit Einzelventilatoren entlüftet. Bei einer fehlerhaften Planung wurde ein Abluftventil in der Diele statt in der Küche eingeplant, so daß die verbrauchte Küchenluft erst durch die Diele strömen mußte, bevor sie abgesaugt wurde.

Die **Abluftventile** wurden in den zu entlüftenden Räumen meist lüftungstechnisch korrekt angeordnet. Bei zwei Mehrfamilienhäusern sollten aus gestalterischen Gründen die Deckenventile zentriert in den Decken kleiner Bäder liegen. Dies führte zu großen Leitungslängen und meanderförmig verwinkelter Leitungsführung, da bei zentrierter Anordnung der relativ große Schalldämpfer anders nicht untergebracht werden konnte. Bei einem Mehrfamilienhaus wurde vermutlich infolge der Unübersichtlichkeit der Leitungsführung versehentlich ein Schlafzimmer entlüftet. Diese Öffnung wurde nach Hinweis des NEI dann wieder verschlossen.

Als **Material für Abluftleitungen** wurde in keinem Fall der Empfehlung entsprechend nur glattwandiges Blechwickelfalzrohr mit geringem Strömungswiderstand verwendet. Häufig wurden an Verbindungsstellen zwischen Leitungen und Ventilatoren sowie an Bögen und Abzweigen biegbare Aluflex-Schläuche eingebaut, die wegen ihrer großen Rauigkeit gerade in Bögen zusätzliche Verwirbelungen und Strömungswiderstände schaffen, dadurch ein erhöhtes Luftauschen bewirken und die zudem faktisch nicht reinigbar sind. In einer Abluftanlage und in einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wurden ausschließlich Aluflexschläuche als Luftkanäle verwendet. In drei anderen Objekten wurden PE-Abwasserrohre als

Luftkanäle verwendet. Diese erfüllen ebenfalls die Anforderungen geringer Strömungswiderstände und guter Reinigungsfähigkeit, lassen sich allerdings wegen anderer innerer und äußerer Rohrdurchmesser nur erschwert mit Lüftungs-Bauteilen wie Ventilen, Schalldämpfern oder Ventilatoren verbinden.

Die **Verlegung der Luftkanäle** wies häufig Mängel auf. Aluflex-Schläuche wurden an schwierigen Verbindungsstellen z.B. in Gebäudecken und an Deckendurchbrüchen so stark gekrümmt, daß ihr freier Querschnitt stark reduziert war. Alle Arten von Leitungen wurden auch häufig schon im Rohbau so in Raumecken oder längs von Decken oder Holzbalken verlegt, daß hinter oder neben ihnen keine luftdichtende Putz- oder Folienebene mehr angebracht werden konnte. An Durchdringungspunkten durch luftdichtende Ebenen war dann die Luftdichtung nicht sicher und dauerhaft zu befestigen (vgl. Kap. 6.5).

Die **geplanten Ventilatoren** waren oft unter Kostenaspekten oder nach Vorliebe des ausführenden Handwerkers und nicht aufgrund von berechneten Bedarfs- und anhand ihrer Leistungswerte ausgewählt worden. Ihre Leistung, ihre Regelbarkeit und ihr Stromverbrauch wurden häufig erst auf Anfrage des NEI oder vom NEI selbst nachträglich recherchiert.

In mehreren Objekten waren anfangs billigstmögliche dezentrale Abluftventilatoren für den direkten Außenwandeinbau eingeplant, die **nicht ausreichend regelbar** oder **insgesamt zu leistungsschwach** waren, um den geforderten 0,3- bis 0,8-fachen Luftwechsel in der Wohneinheit sicherzustellen. Hier wurde nach Bemänglung teils der Ventilator typ noch verändert. Bei drei Objekten waren Einzelraumlüfter aus einem Baumarkt eingeplant, für die gar keine Leistungsdaten vorlagen. Die Eignung dieser Ventilatoren für Dauerbetrieb bei akzeptablem Geräusch wurde vom NEI angezweifelt.

Die **eingebauten Ventilatoren** waren mehrfach dann noch schlichtere Ausführungen als in den Lüftungskonzepten angegeben, die teils noch höhere Stromverbräuche hatten. Bei einigen Objekten mit wohnungsweisen Abluftventilatoren wurden aber auch deutlich überdimensionierte Geräte eingebaut.

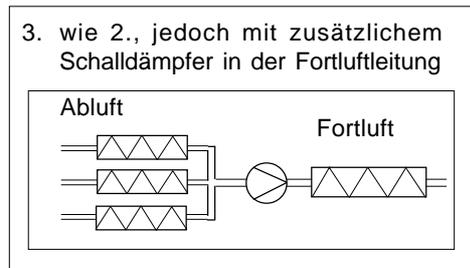
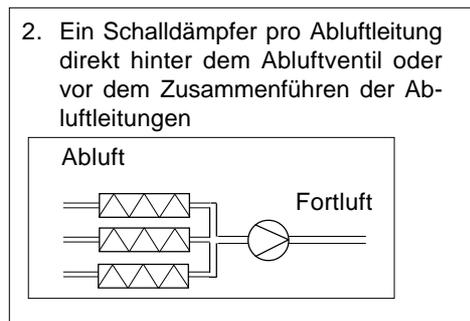
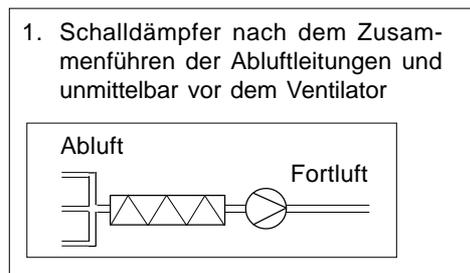


Bild 8.2- 4: Position der Schalldämpfer in Lüftungsanlagen:
 1. unzureichende Lösung
 2. meist realisierte Lösung
 3. empfehlenswerte Lösung

Mehrfach waren die **Ventilator-Aufstellorte** für die notwendigen Installationen zu beengt, so daß die Zusammenführung der Leitungen unmittelbar vor dem Ventilator erfolgte und die hier wünschenswerte Strömungs-Beruhigungsstrecke nicht mehr eingebaut werden konnte; dadurch konnten starke Turbulenzen im letzten Rohrstück nicht vermieden werden. So entstanden erhöhte Strömungswiderstände und Stromverbräuche. In anderen beengten Situationen mußten Zuleitungen und Schalldämpfer innerhalb des Aufstellraumes mehrfach ums Eck geführt werden, was denselben Effekt hat. Bei einem Objekt war der Aufstellort so beengt, daß sich die Ventilator-Revisionsklappe nicht öffnen läßt, ohne den Ventilator vorher komplett auszubauen.

Die **Befestigung der Ventilatoren** wies in mehreren Fällen Mängel auf. In einem Fall wurde der Ventilator durch die Löcher des Revisionsdeckels hindurch an die Dachsparren geschraubt. Beim Öffnen des Revisionsdeckels bleibt nur dieser am Dach hängen und das ganze Gerät nebst Leitungen fällt einem entgegen. Bei einem anderen Objekt wurde der Ventilator unter die Sparren montiert und alle Rohranschlüsse hergestellt, bevor die Luftdichtungsebene des Daches verlegt war. Die Verlegung und Abdichtung der Folie hinter dem Ventilator und an allen Durchdringungen, vor allem an der Fortluft-Dachdurchführung, war nachher nur unzureichend herstellbar. Mehrfach wurden Ventilatoren ohne akustische Trennung direkt auf Kehlbalkendecken gestellt oder mit ihrem Gehäuse an Leichtbauteilen oder Dachsparren angeschraubt. Dies bewirkt eine erhöhte Körperschallübertragung und beschleunigt die Lockerung der Befestigungsschrauben infolge der Vibrationen.

Schallschutzaspekte zwischen einzelnen Bereichen eines Hauses wurden in der Planung von Lüftungsanlagen meist nicht systematisch durchdacht.

Schalldämpfer wurden an unterschiedlichen Anlagenstellen eingebaut. Teils wurden sie direkt hinter den Abluftventilen, teils erst kurz vor dem Ventilator montiert. Bei einem Mehrfamilienhaus wurden entgegen den Empfehlungen mehrere übereinanderliegenden Bäder unterschiedlicher Wohnungen ohne jede akustische Trennung in eine Steigleitung entlüftet (Bild 8.2-4 Fall 1). In einem Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung und zentraler Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wurden zunächst nur in die Abluftleitungen der Bäder Schalldämpfer montiert. Bereits nach kurzer Betriebsdauer wurden wegen der störenden Geräusche auch in allen anderen Zu- und Abluftleitungen Schalldämpfer nachgerüstet (Bild 8.2-4 Fall 2). Bei einem Mehrfamilienhaus wurden mit der Fortluft die Ventilatorgeräusche nach Außen getragen. Für diese Anlage wurde die Nachrüstung von Schalldämpfern hinter den Abluftventilatoren empfohlen (Bild 8.2-4 Fall 3).

Die **Fortluftführung** wurde in den Lüftungskonzepten in der Regel nicht dargestellt, konnte daher nicht vorab geprüft werden. Sie erfolgte dann tatsächlich teils nicht unter Berücksichtigung der vor Ort herrschenden Windverhältnisse. So wurden bei einigen Ein- und den Mehrfamilienhäusern aus gestalterischen Gründen die Fortluftauslässe auf den von der Straßenseite nicht einsehbaren, aber winddruckbelasteten Dachseiten eingebaut, was die Fortluftabführung erschweren kann.

Als **Fortluftauslässe** wurden mehrfach ungeeignete Fallrohrbelüfterhauben mit zu kleinen Querschnitten und Strömungsgeometrien, die nun starke Strömungswiderstände darstellen, verwendet, statt geeigneter Produkte aus dem Lüftungssortiment.

Die Regelung der Lüftungsanlagen wurde in den Planungen selten klar beschrieben. Da in den Vorgaben zwar die Regelbarkeit und die Regelbandbreite, nicht aber die Regelungstechnik vorgegeben war, gab es hier auch Mißverständnisse wie z.B. jenes, daß der manuelle Taktbetrieb einstufiger überdimensionierter Ventilatoren durch An- und Ausschalten des Hauptschalters eine ausreichende Regelung sei. Mehrere Anlagenplanungen sahen bei der Regelung Mischungen aus Komponenten verschiedener Regelsysteme vor, so daß manuell einstellbare, feuchte- und druckdifferenzgeregelter Zu- und/oder Abluftventile bzw. Ventilatoren miteinander kombiniert wurden. Tatsächlich wurden nachher meist nur mehrstufige oder stufenlose Leistungsregelungen des Ventilators eingebaut.

Eine **Einregulierung der eingebauten Anlagen** für die verschiedenen benötigten Betriebszustände fand in den meisten Fällen nicht statt, weil die jeweiligen Installateure weder die dafür erforderlichen Meßmethoden kannten noch über entsprechende Meßgeräte verfügten. In der Mehrzahl der Fälle erfolgt daher der Betrieb "nach Gefühl" und die tatsächliche Luftwechselrate bleibt unklar.

Unklarheiten über die richtige Betriebsweise einer Lüftungsanlage gab es in vielen Fällen. Mehreren Nutzern waren z.B. die nutzungsbezogenen Einstellmöglichkeiten der Zu- und Abluftventile sowie eventueller Rohrweichen nicht bekannt, obwohl überwiegend Produktunterlagen beilagen. Ebenso war die richtige Regelung der mehrstufigen oder stufenlosen Ventilatoren unklar. Die Regelung wurde gefühlsmäßig gehandhabt, da keine Einregulierung der Anlagen stattgefunden hatte und infolgedessen die sich bei bestimmten Reglereinstellungen ergebenden Luftwechselraten nicht bekannt waren. Unbekannt war vielfach auch, daß der zur Entfeuchtung erforderliche Luftaustausch auch von Witterung und Außentemperatur abhängt, sogar daß die Anlagen im Sommer abgestellt werden können. Dies führte sowohl zu ineffektivem Betreiben der Anlage als auch zu Unzufriedenheiten der Nutzer der Lüftungsanlage.

Probleme mit **Pflege und Wartung** der eingebauten Lüftungsanlagen konnten während der Untersuchungszeit noch nicht ermittelt werden. Nur bei wenigen Fällen relativ früh gebauter Häuser, die während ihrer ersten Nutzungszeit noch stark den Staubemissionen der Nachbarbaustellen ausgesetzt waren, mußten schon früher als üblich die Luftfilter gewechselt werden. Soweit ermittelt, wurden jedoch nur in ganz wenigen NEH Wartungsterminpläne und Wartungsanweisungen für die Lüftungsanlagen erstellt, sodaß künftig stärkere Probleme mit der Pflege und Wartung zu erwarten sind.

Inwieweit die **ausgeführten Lüftungsanlagen** in ihrer tatsächlichen Lüftungsleistung und Regelbarkeit den Vorgaben (vgl. Kap. 8.1) entsprachen, konnte bei mehreren NEH nicht geprüft werden, bei denen keine oder nur ungenaue Planungen vorlagen und die tatsächliche Ausführung und Einbauweise erst auf der Baustelle festgestellt werden konnte. Nachmessungen, inwieweit die installierten Anlagen die Vorgabewerte hinsichtlich Luftdurchströmung erreichen, gehörten nicht zum Projektumfang, sollen aber 1998 im Rahmen eines Folgevorhabens stattfinden. Dabei soll auch die energetische Effizienz der eingebauten Anlagen ermittelt werden.

Unterschiede zwischen in der Ausführungsphase betreuten und nicht betreuten Objekten gab es bei den Lüftungsanlagen viele. Die höhere Anzahl an Fehlern bei diesen Objekten beruhte vor allem darauf, daß, wegen der fehlenden oder unzureichend detaillierten Planung, Anlagen realisiert wurden, die zuvor nicht auf die Einhaltung der Vorgaben hin untersucht werden konnten. Die dann erst in der Bauphase feststellbaren Fehler konnten nicht, wie häufig bei den betreuten Objekten geschehen, reklamiert und noch behoben werden. Bei einem nicht betreuten MFH wurde in eine komplette Wohnung gar keine Lüftungstechnik installiert. Bei einem Objekt mit zentraler Abluftanlage wurde ein zweifach überdimensionierter Ventilator eingebaut, bei einem wurde nicht unterschieden zwischen Zu- oder Ablufträumen sondern es erhielt jeder Raum eine Zuluftöffnung oder sogar Zuluftleitung und ein Abluftventil mit Leitungsführung zum Ventilator. Bei einem Objekt lag ein ohnehin überflüssiges Zuluftventil innerhalb der Duschkabine des OG-Bades.

Die Kosten der eingebauten Lüftungsanlagen, die im Rahmen der Untersuchung zwar nicht zu deklarieren oder zu prüfen waren, jedoch von vielen Investoren informell mitgeteilt wurden, waren in mehreren Fällen deutlich überhöht. Ursache dafür war, daß unerfahrene Installateure zu hohe Montagezeiten kalkulierten oder auch tatsächlich benötigten, daß aus Sorge vor schwer kalkulierbaren Risiken "Angstzuschläge" eingerechnet wurden oder daß wegen fehlendem Wettbewerb überhöhte Gewinnspannen realisiert werden konnten. Hierbei ist erstaunlich, daß die hohen Kosten von Lüftungsanlagen zwar vielfach beklagt wurden, jedoch in keinem bekanntgewordenen Fall durch ordentliche Ausschreibung oder vergleichende Angebotseinholung auf Basis eines definierten Leistungsumfangs versucht worden war, möglichst günstige Angebote zu erhalten. Vielmehr wurden gerade die Leistungen im Lüftungsbereich, deren Detailplanung und Ausschreibung den Planern Probleme machte, häufig freihändig oder sogar ohne vorausgehende sorgfältige Kostenermittlung für verschiedene Varianten oder Anbieter vergeben und es wurde nachher der Eindruck erweckt, als sei die Lüftungstechnik grundsätzlich teuer.

Die folgenden Fotos zeigen die Bandbreite der eingebauten Lüftungsanlagen und Lüftungskomponenten sowie einige Problempunkte und Lösungen:



Bild 8.2- 5: Lochreihe im Fenster-Blendrahmen als Vorbereitung für Zuluft-Spaltventil.



Bild 8.2- 6: Zuluft-Durchlaß zu nahe an Innenwand plaziert.



Bild 8.2- 7: Feuchtereguliertes Zuluftventil am Innendeckel eines Rolladenkastens.



Bild 8.2- 8: Zuluftventil in einem Dachraum in der Gauben-Vorderwand.



Bild 8.2- 9: Zuluftventil in einem Dachraum durch die Gauben-Seitenwand.



Bild 8.2- 10: Seltener Fall, in dem Betriebsanleitung für den Nutzer erhalten blieb.



Bild 8.2- 11: Das am häufigsten eingebaute Zuluftventil der Fa.Fresh mit Strömungsregler.



Bild 8.2- 12: Filterkasten in Zuluftleitung nahe dem Außenwandeinlaß auf dem Spitzboden.



Bild 8.2- 13: Für Wohnungslüftung unterdimensionierter einziger Abluftventilator.



Bild 8.2- 14: Zentraler Abluftventilator in der Abseite im OG eines EFH (Exhausto).



Bild 8.2- 15: Zwei separate Abluftventilatoren in einem Zweifamilienhaus mit Aluflex-Verrohrung.



Bild 8.2- 16: Körperschall-intensive Aufhängung von Abluftventilatoren direkt am Schrägdach.



Bild 8.2- 17: Weit überdimensionierter Abluftventilator in EFH ohne Fortluftschalldämpfer.



Bild 8.2- 18: Wohnungsweise Abluftventilatoren in einem MFH innerhalb der Wohnungen.



Bild 8.2- 19: Wohnungsweise Abluftventilatoren in einem MFH auf dem Spitzboden.



Bild 8.2- 20: Gemeinsamer Abluftventilator für ein MFH auf dem Dachboden.



Bild 8.2- 21: Lüftungsanlage mit Abluftwärme-rück-gewinnung in einem ZFH.



Bild 8.2- 22: Strömungstechnisch nachteilige "Aluflex"-Leitung mit starkem Knick

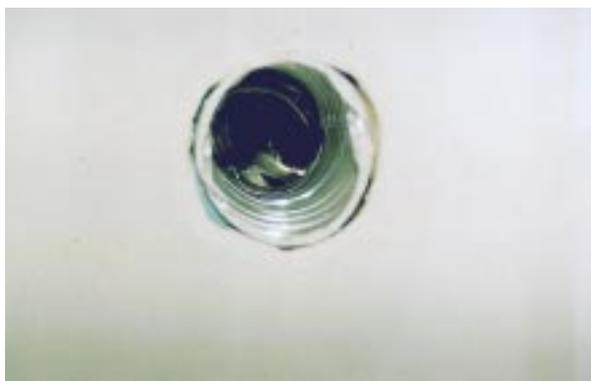


Bild 8.2- 23: Bereits beim Einbau durch Knick be-schädigte "Aluflex"-Leitung.



Bild 8.2- 24: Unnötige Rohrlängen und -kosten durch unüberlegte Verlegung.



Bild 8.2- 25: Beengte Platzverhältnisse behindern die spätere Wartung.



Bild 8.2- 26: Unkoordinierte Rohrverlegung im Dach erschwert spätere Luftdichtung.



Bild 8.2- 27: Anfangs vergessene Luftleitung erfordert nachher unschöne Abkantung.



Bild 8.2- 28: Gut funktionierender Fortluft-Dachdurchlaß aus Lüftungs-Sortiment.



Bild 8.2- 29: Warmluft-Beheizung eines MFH-Treppenhauses aus zentral rückgewonnener Wärme der Wohnungsabluftanlagen.



Bild 8.2- 30: Beispiel einer recht übersichtlichen Lüftungsregelung in einem MFH.

9. Die einzelnen Objekte

Inhaltsübersicht

Dieses Kapitel enthält Kurzbeschreibungen aller im Rahmen dieses Forschungsprojekts untersuchten Niedrigenergie-Häuser im Baugebiet Werther-Speckfeld. Die Kurzbeschreibungen enthalten neben einem Ansichtsfoto des jeweiligen Objekts Angaben über die Bauleute, den Standort, den Architekten oder Bauträger, über die Gebäudeart, den Aufbau der thermischen Hüllflächen, die Art der Heizung und Lüftung sowie über die energetischen Kennzahlen. Die Angaben beziehen sich auf den geprüften Planungsstand und nicht auf die im Einzelfall evtl. abweichende Bauausführung. Noch detailliertere Angaben und Berechnungen zu den Objekten können im Büro der Verfasser eingesehen werden.

Die Lage der Gebäude im Baugebiet und die Zuordnung der Gebäudenamen zu der in den Sachkapiteln dieser Studie verwendeten numerische Codierung der Objekte zeigt (Bild 9.1).

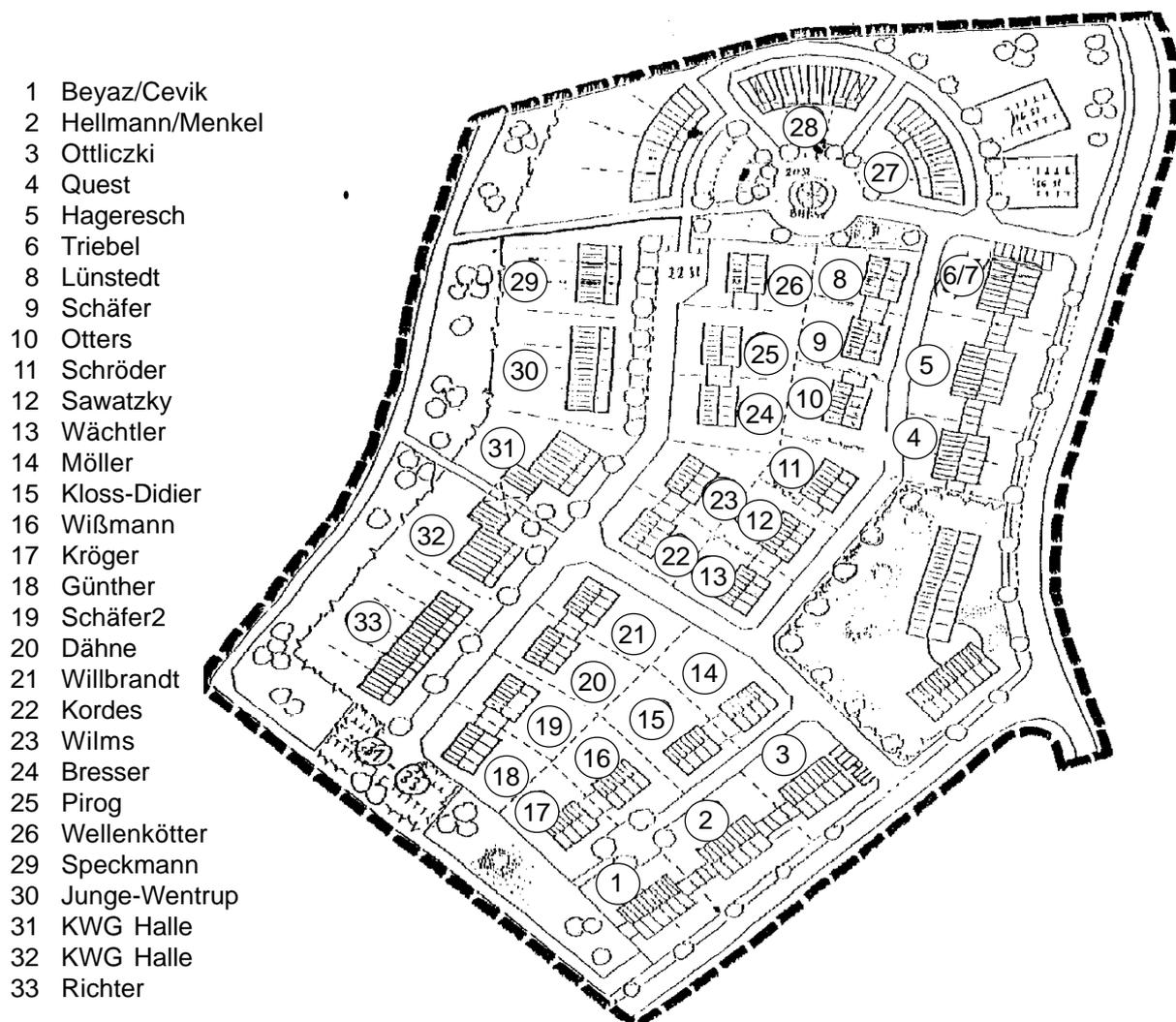


Bild 9- 1: Numerierung und Lage der untersuchten Objekte im Baugebiet.



Niedrigenergie-Haus Beyaz / Cevik

Bauleute: Fatma und Ferit Beyaz,
Fikriye und Kenan Cevik
Schlingweg 23, 33824 Werther

Gebäude

Unterkellertes Dreifamilienhaus mit unbeheiztem Keller, unbeheiztem Treppenhaus und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 224 m², Luftvolumen 560 m³.

Aufbau der thermischen Hüllflächen

Kellerdecke: Betondecke, ober- und unterseitig gedämmt. Aufbau: Bodenbelag, Zementestrich; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 16 cm Ortbetondecke; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035.

k-Wert = 0,240 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K; 14 cm Mineralwolle-Kerndämmung WLG 035; Klinker. k-Wert = 0,176 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 0,9 W/m²·K.

Innenwand zwischen Wohnung und kaltem Treppenhaus: Gipskartonplatte; 24 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,18$ W/m·K; 3 cm Polystyrol-Hartschaum WLG 035; Außenputz.

k-Wert = 0,391 W/m²·K.

Wohnungstüren zum Treppenhaus: Wärmedämmte Innentüre. k-Wert=1,50 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit zusätzlicher längs- laufender Aufsparrendämmung und querlaufender Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; 4 cm Lattung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; Dampfsperrfolie; 20 x 6 cm Sparrenlage mit Dämmung aus Mineralwolle WLG 040; 6 cm längs- laufende Aufsparrendämmung mit Mineralwolle WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dach- eindeckung. k-Wert = 0,154 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutz- verglasung in Holzwerkstoff-Rahmen; Glas mit k_v -Wert = 0,9 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Aufbau: wie beim Schrägdach, mit oberseitiger Laufebene aus Spanplatte. k-Wert = 0,150 W/m²·K.

Heizung

Heizwärmeerzeugung durch Gas-Heizkessel im Keller mit 23 kW Leistung und 5-stufiger Pumpen- regelung. Warmwassererzeugung über Heizkessel und indirekt beheizten Brauchwasserspeicher (200 l) im Keller ohne Zirkulation.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerück- gewinnung mit dezentraler Zulufführung über ein- stellbare Außenwand-Zuluftventile in den Frisch- lufträumen. Die Abluftleitungen aus Küchen, Bä- dern und WCs sind wohnungsweise zu Steige- leitungen zusammengefaßt, die in einem Schacht in den Wohnungsfluren zum Spitzboden geführt werden. Drei in den Wohnungen regelbare Abluft- ventilatoren führen die Fortluft über das süd-östli- che Schrägdach nach außen ab.

Energetische Kennzahlen

Detmolder Standard

Wärmeleistungsbedarf 8,8 kW (39,5 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 13.047 kWh/a (53,2 kWh/m²·a)
= 35,7 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer Standard

Energiekennwert Heizwärme 14.745 kWh/a
(65,8 kWh/m²·a).



Niedrigenergie-Haus Hellmann

Bauleute: Hannelore und Klaus Hellmann
Am Drostenhof 2, 33824 Werther und
Ulrich Menkel, Steinhausenstr. 7, Frankfurt
Standort: Astrid Lindgren-Weg 1 a, Werther
Bauträger: Klaus Hellmann

Gebäude

Unterkellertes Achtfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, durch Wärmerückgewinnung aus Abluft beheiztem Treppenhaus und teilweise unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 572 m², Luftvolumen 1.439 m³.

Aufbau der thermischen Hüllflächen

Kellerdecke: Betondecke, ober- und unterseitig gedämmt. Aufbau: Bodenbelag, Zementestrich; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 045; 16 cm Ortbetondecke; 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040.

k-Wert = 0,178 W/m²-K.

Außenwand: Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämmverbund-System. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,99$ W/m-K; 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; mineralischer Putz. k-Wert = 0,204 W/m²-K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Metallrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²-K.

Schrägdach: Pfettendach mit oberseitig längs aufgedoppelten Sparren mit Zellulose-Einblasdämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattung mit Luftschicht, Dampfsperffolie; 22 mm Holzweichfaserplatte; 20 x 8 cm Sparrenlage mit Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 040; 8 cm Aufdopplung mit Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 040; 22 mm bituminierte Holzweichfaserplatte als Unterdach; Konterlattung, Lattung und Dachsteine.

k-Wert = 0,136 W/m²-K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen.

Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²-K.

Kehlbalkendecke: Kehlbalken mit oberseitiger Längsaufdopplung und Zellulose-Dämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattung mit Luftschicht, Dampfsperffolie; 22 mm Holzweichfaserplatte; 20 x 8 cm Balkenlage mit Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 040; 8 x 10 cm Aufdopplung mit Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 040; Spanplatte.

k-Wert = 0,151 W/m²-K.

Innenwand zwischen kaltem Spitzboden und warmem Luftraum im hohen Dach-Wohnraum: Einschalig mit Außendämmung. Aufbau: Putz; 11,5 cm Kalksandstein, 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040. k-Wert = 0,200 W/m²-K.

Heizung

Heizwärmeerzeugung durch Gas-Brennwerttherme mit 33 kW Leistung im Keller. Brauchwassererwärmung mit indirekt beheiztem 350 Liter-Speicher im Keller.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage mit dezentraler Zuluft und zentraler Abluft mit Wärmerückgewinnung zur Treppenhausbeheizung. Zuluft über einstellbare Außenwand-Zuluftventile in den Frischlufträumen. Ein zentraler Abluftventilator auf dem Spitzboden saugt aus allen Küchen und Bädern die Abluft ab. Ein Teil der Abluft wird über einen Wärmetauscher geleitet zur Erwärmung der Zuluft im Treppenhaus. Das Treppenhaus gehört bei dieser Vorwärmung nicht zum beheizten und belüfteten Gebäudevolumen, die Wandflächen zwischen Treppenhaus und beheizten Wohnflächen gelten nicht als thermisch trennende Flächen, da über sie keine Wärmeverluste auftreten.

Energetische Kennzahlen

Detmolder Standard

Wärmeleistungsbedarf 22,8 kW (39,9 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 26.470 kWh/a (43,3 kWh/m²-a) = 38,8 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer Standard

Energiekennwert Heizwärme 31.875 kWh/a (55,7 kWh/m²-a).



Niedrig-Energie-Haus Quest

Bauherr: Eckhard Quest
 Kerkenbrock 35, 33824 Werther
Standort: Speckfeld 35, Werther
Architekt: Büro Nollkämper
 Eggeberger Str. 8, 33790 Halle

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Fünffamilienhaus mit unbeheiztem Keller, unbeheiztem Treppenhaus und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 315 m², Luftvolumen 805 m³.

Thermische Hüllflächen

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 20 cm Betondecke. k-Wert = 0,276 W/m²-K.

Außenwand: Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem. Aufbau: Innenputz; 24 cm Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,39$ W/m-K; 16 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; Außenputz. k-Wert = 0,184 W/m²-K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 0,9 W/m²-K.

Wohnungstüren zum Treppenhaus: wärmege-dämmte Spezial-Holztür. k-Wert = 1,5 W/m²-K.

Innenwand zwischen beheizten Wohnräumen und unbeheiztem Treppenhaus. Innenputz; 24 cm Kalksandstein; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; Putz. k-Wert= 0,289 W/m²-K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 16 mm Spanplatte; 10 cm querlaufende Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 040; 8 x 20 cm Sparren in 62 cm Achsmaß m i t 20 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,146 W/m²-K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,1 W/m²-K.

Dachgaubenwand: Gipskarton; Lattenebene; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 x 20 cm Holzständer mit 20 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 040; 10 cm Aufdopplung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 035; diffusionsoffene Unterspannbahn; hinterlüftete Zinkblechverkleidung. k -Wert = 0,145 W/m²-K.

Kehlbalkendecke: Aufbau wie Schrägdach; jedoch statt der Unterspannbahn eine oberseitige Laufebene aus Massivholz. k-Wert = 0,143 W/m²-K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung durch einen Gas-Niedertemperaturkessel mit 15 kW Leistung im Spitzboden. Warmwasserbereitung durch die Heizung und indirekt beheizten 500 Liter Warmwasserspeicher im Spitzboden.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küchen und Bädern wohnungsweise getrennt über je einen im Spitzboden positionierten Ventilator. Die Luft wird über das westliche Schrägdach abgeführt.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 12,4 kW (39,4 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 18.351 kWh/a (48,5 kWh/m²-a) = 38,8 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 20.463 kWh/a (65,0 kWh/m²-a).



Niedrig-Energie-Haus Hageresch

Bauherr und Architekt: Wolfgang Hageresch
Engerstr. 12, 33824 Werther
Standort: Speckfeld 37, Werther

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Sechsfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, durch Wärmerückgewinnung aus der Abluft beheiztem Treppenhaus und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 337 m², Luftvolumen 840 m³.

Thermische Hüllflächen

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,277 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung und Klinker. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,20$ W/m·K; 14 cm Mineralwolle-Kerndämmung WLG 035; Klinker. k-Wert = 0,192 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattung mit Luftzwischenraum; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 16 mm Spanplatte; 10 cm querlaufende Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 035; 8 x 20 cm Sparren in 65 cm Achsmaß mit 20 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 035; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dachindeckung. k -Wert = 0,141 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Holzwerkstoffrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Aufbau wie Schrägdach; jedoch statt der Unterspannbahn eine oberseitige Laufebene aus Massivholz. k-Wert = 0,138 W/m²·K.

Loggiabodenplatte: Deckenputz; 16 cm Betonplatte; 15 cm druckfeste Polystyrol-Dämmung WLG 035; Schotterlage; Fliesen. k-Wert = 0,217 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Brennwerttherme mit 30 kW Leistung. Brauchwassererwärmung durch die Heizung mit indirekt beheiztem 300 Liter Warmwasserspeicher im Keller.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung zur Treppenhausbeheizung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile, z.T. mit Zuluftleitungen von der Westfassade für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küchen, WCs und Bädern über einen zentralen im Spitzboden positionierten Ventilator. Die Luft wird über das westliche Schrägdach abgeführt. Ein Teil der Abluft wird über einen Wärmetauscher geleitet zur Erwärmung der Zuluft im Treppenhaus.

Das Treppenhaus gehört bei dieser Vorwärmung nicht zum beheizten und belüfteten Gebäudevolumen, die Wandflächen zwischen Treppenhaus und beheizten Wohnflächen gelten nicht als thermisch trennende Flächen, da über sie keine Wärmeverluste auftreten.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 13,3 kW (39,4 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 19.574 kWh/a (45,7 kWh/m²·a) = 36,7 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 19.619 kWh/a (58,2 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Triebel

Bauleute: Monika und Rochus Triebel
Schloßstr. 30a, 33824 Werther
Standort: Speckfeld 39, Werther
Architekt: Büro Miksch und Partner
Zimmerstr. 19, 40215 Düsseldorf

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Siebenfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Treppenhaus und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 488 m², Luftvolumen 1.224 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 030; 16 cm Betonplatte. k-Wert = 0,278 W/m²·K.

Außenwand des beheizten Kellerflures: Innenputz; 36,5 cm Kalksandstein; Putz; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,295 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 24 cm Kalksandstein; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Putz. k-Wert = 0,278 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: nicht näher benannte Tür, k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 3 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 18 cm Betondecke; 6 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040. k-Wert = 0,255 W/m²·K.

Einschalige Außenwand mit Wärmedämm-Verbandssystem. Innenputz; 17,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,99$ W/m·K; 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, mineralischer Putz. k-Wert = 0,200 W/m²·K.

Zweischalige Außenwand mit Kerndämmung und Klinker: Innenputz; 17,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,99$ W/m·K; 18 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 040; Klinker. k-Wert = 0,201 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Holzrahmentür mit Glasfüllung. Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene; Polyethylenfolie; 10 cm querlaufende Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 035 zwischen seitlich an die Sparren geschraubten Brettern; 8 x 20 cm Sparren 72 cm Achsmaß mit 16 cm Mineralwolle-Dämmung WLG

035; Hinterlüftung; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,154 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Aufbau wie Schrägdach, jedoch ohne Hinterlüftung. Statt der Unterspannbahn Laufebene aus Massivholz. k-Wert = 0,150 W/m²·K.

Gaubenwand: Gipskarton; Lattenebene; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 cm innere Aufdopplung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 035; 10 x 22 cm Holzständer mit 16 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 035; hinterlüftetes Zinkblech. k-Wert = 0,169 W/m²·K.

Loggiabodenplatte: Deckenputz; 18 cm Betonplatte; Teerpappe; 16 cm PU-Dämmung WLG 025; Teerpappe; Kies; Fliesen. k-Wert = 0,150 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über Gas-Niedertemperaturtherme mit 11 - 45 kW Leistung im Keller. Brauchwassererwärmung durch die Heizung mit indirekt beheiztem 500 Liter Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küchen, WCs und Bädern über je einen in den Wohnungen untergebrachten 5-stufigen Ventilator. Die Luft wird über Rohrleitungen zum Spitzboden und über das Schrägdach abgeführt.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 19,48 kW (39,9 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 26.527 kWh/a (55,8 kWh/m²·a) = 29,8 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 32.191 kWh/a (66,0 kWh/m²·a).



Niedrigenergie-Haus Lünstedt

Bauleute: Karin und Jörg Lünstedt
Erich Kästner-Weg 1, 33824 Werther
Bauträger: WENO-Massivhaus GmbH
Senner Str. 8, 33647 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellerabgang und Kellerflur und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn-/Nutzfläche 156 m², Luftvolumen 434 m³.

Aufbau der thermischen Hüllflächen

Sohlplatte im Keller: Bodenbelag; Zementestrich; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 7 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 25 cm Betonplatte, im beheizten Treppenhausbereich um 10 cm abgesenkt. k-Wert = 0,330 W/m²·K.

Außenwand des beheizten Kellerflurs: Innenputz; 15 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 30 cm Stahlbeton. k-Wert = 0,246 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 10 cm Polystyrol-Hartschaum WLG 035; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,24$ W/m·K; Putz. k-Wert = 0,257 W/m²·K.

Tür im Kellerflur: Wärme gedämmte Spezial-Innentüre. k-Wert=1,50 W/m²·K.

Kellerdecke: Betondecke, oberseitig gedämmt. Aufbau: Bodenbelag; Zementestrich; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 7 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 16 cm Ortbetondecke. k-Wert = 0,312 W/m²·K.

Außenwand: zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 24 cm Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,18$ W/m·K; 14 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Klinker. k-Wert = 0,194 W/m²·K.

Fenster und Haustür: 2-Scheiben-Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert=1,1 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und Aufsparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattung mit Luftschicht, Dampfsperffolie; 3 mm Hartfaserplatte; 20 x 7 cm Sparren mit Dämmung aus Mineralwolle WLG 040; 10 cm Polystyrol-Aufsparrendämmung WLG 035 mit Nut-Feder-Verbindung; Dacheindeckung. k-Wert = 0,136 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit nachträglich bauseits gedämmter Zarge. Glas mit k_v -Wert=1,1 W/m²·K.

Gaubenseitenwand und Gaubendach: Aufbau wie beim Schrägdach; k-Wert = 0,136 W/m²·K.

Decke über Erker: Auskragende Betondecke mit oberseitiger Dämmung aus 20 cm aufliegender Mineralwolle WLG 040. k-Wert = 0,191 W/m²·K.

Heizung

Heizwärmeerzeugung durch wandhängende Niedertemperatur-Gasgebläsetherme mit 9 - 18 kW Leistung in der Küche. Warmwassererzeugung durch indirekt beheizten Untertisch-Brauchwasserspeicher in der Küchenzeile.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwand-Zuluftventile in den Frischlufträumen. Zwei auf der windabgewandten Seite liegende Räume im OG erhalten Frischluft über im Spitzboden verlegte Zuluftleitungen. Ein zentraler Abluftventilator auf dem Spitzboden saugt aus Küche, Bad und Gäste-WC die Abluft ab. Die Lüftungsanlage wird über einen Dimmer neben der Haustür bedarfsabhängig geregelt.

Energetische Kennzahlen

Detmolder Standard

Wärmeleistungsbedarf: 5.7 kW (36,4 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf: 10.011 kWh/a (53,1 kWh/m²a) = 37,1 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer Standard

Energiekennwert Heizwärme: 12.516 kWh/a (66,3 kWh/m²a).



Niedrig-Energie-Haus Schäfer

Bauleute: Helene und Viktor Schäfer
Erich Kästner-Weg 3 Werther
Architekt: Peter Wagener
Gartnischer Weg 22, 33709 Halle

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- u. Nutzfläche 153 m², Luftvolumen 395 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,308 W/m²·K.

Außenwand des beheizten Kellerflures gegen Erdreich: Innenputz; 36,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,99$ W/m·K; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,296 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: 36,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K beidseitig verputzt. k-Wert = 0,30 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Gedämmte Tür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 6 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, 25 cm Porenbeton-Fertigdecke mit $\lambda = 0,19$ W/m·K. k-Wert = 0,313 W/m²·K.

Außenwand: Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K. 14 cm Mineralwolle-Kerndämmung WLG 040, Klinker. k-Wert = 0,210 W/m²·K.

Außenwand zur Garage: Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K. 6 cm Polystyrol-Kerndämmung WLG 035, 17,5 cm Porenbeton, Putz. k-Wert = 0,20 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Kunststoff-Fertigtür mit geringem Verglasungsanteil. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparrendämmung und querlaufender Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luftschicht; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 10 cm Querlattung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; 8 x 18 cm Sparren in 80 cm Achsmaß mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,159 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Aufbau wie Schrägdach; jedoch mit oberseitiger Aufdopplung (10 cm) und statt der Unterspannbahn eine oberseitige Lauffebene aus Massivholz. k-Wert = 0,152 W/m²·K.

Bodenluke: unbekannt.

Gaubenvorderwand: unterhalb der Fenster wie Außenwand; sonst Aufbau mit Innenputz; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 12 cm Holzständerwerk mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; Holzbekleidung mit Faserzementschindeln. k-Wert = 0,148 W/m²·K.

Gaubenseitenwand unter Schrägdach: Innenputz; 11,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,16$ W/m·K; 18 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 040; keilförmiger Luftzwischenraum; Unterdach, Dacheindeckung. k-Wert = 0,184 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern, Thermostatventilen, Außentemperaturfühler und Zeitsteuerung. Wärmeerzeugung über eine raumluftunabhängige Gas-Niedertemperatur-Therme mit 7 - 12 kW Leistung im Keller. Brauchwasserbereitung über die Heizung mit indirekt beheiztem 120 Liter Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über in den Rolladenkästen montierte Zuluftventile mit feuchteabhängiger Steuerung für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küche und Bad im Erdgeschoß sowie Bad im Obergeschoß über einen im Spitzboden über der Gaubendecke positionierten Ventilator.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 5.8 kW (37,7 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 10.544 kWh/a (54,7 kWh/m²·a) = 33,3 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.172 kWh/a (79,6 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Otters

Bauleute: Rita Wegmann-Otters und Bernd Otters, Erich Kästner-Weg 5, Werther

Bauträger: rb-Hausbau,
Heeper Str. 237, 33607 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 147 m², Luftvolumen 368 m³.

Thermische Hüllflächen

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,303 W/m²·K.

Außenwand des beheizten Kellertreppenabgangs: Innenputz; 30 cm Kalksandstein; Außenputz; 10 cm Polystyrol-Perimeter-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,282 W/m²·K.

Leichtbau-Innenwand zwischen beheiztem Kellertreppenabgang und unbeheiztem Keller: Gipskarton; 12 cm Mineralwolle WLG 035 zwischen 6 x 12 cm Holzständern in 65 cm Achsmaß; Gipskarton. k-Wert = 0,322 W/m²·K.

Massive Innenwand zwischen beheiztem Kellertreppenabgang und unbeheiztem Keller: Innenputz; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 11,5 cm Kalksandstein; Putz. k-Wert = 0,286 W/m²·K.

Tür zum Keller: Wärmegedämmte Spezialtür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellertreppenlauf: Gewendelter Beton-Treppenlauf, unterseitig auf Abstandslattung mit Gipskarton kaschiert. Zwischenraum mit 12 cm Mineralwolle WLG 035 verfüllt. k-Wert = 0,300 W/m²·K.

Außenwand: Innenputz; 17,5 cm Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,21$ W/m·K. 15 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 040, Klinker. k-Wert = 0,205 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Holzrahmentür mit Glasfüllung. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Gipskarton; 3 cm Lattenebene mit Mineralwollendämmung WLG 040; 8 cm querlaufende Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 040 zwischen 4 x 8 cm Latten; Polyethylenfolie; 6 x 20 cm Sparren in 75 cm Achsmaß mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,146 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung mit nachträglich bauseits gedämmter Zarge; Glas k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Aufbau wie Schrägdach; jedoch mit oberseitiger Aufdopplung und statt der Unterspannbahn eine oberseitige Lauffebene aus Massivholz. k-Wert = 0,142 W/m²·K.

Bodenluke: Oberseitig zusätzlich abgedeckt mit gedämmtem Kasten. k-Wert = 0,2 W/m²·K.

Erkerbodenplatte: Bodenbelag; Zementestrich; 5 cm Polyurethan-Dämmung der WLG 025; 16 cm Betonplatte; 12 cm unterseitige Dämmung aus Polystyrol WLG 025. k-Wert = 0,14 W/m²·K.

Gaubenwände: Gipskarton; 3 cm Lattenebene mit Polystyrol-Dämmung WLG 040; Polyethylenfolie; 6 x 12 cm Holzständer in 75 cm Achsmaß mit 12 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 040; Aufdopplung aus 4 x 8 cm Balken mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Spanplatte. k -Wert = 0,194 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmezeugung durch eine Gas-Brennwerttherme mit 9 - 18 kW Leistung mit 75 Liter Warmwasserspeicher im Abstellraum des EG.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küche und WC im Erdgeschoß sowie Flur und Bad im Obergeschoß über einen im Spitzboden positionierten Ventilator.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 5.6 kW (38,1 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 10.225 kWh/a (61,2 kWh/m²·a) = 29,7 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.079 kWh/a (82,2 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Schröder

Bauleute: Maria und Werner Schröder
Erich Kästner-Weg 7, Werther
Architekt: Eberhard Thurm
Kormoranweg 6, 33335 Gütersloh

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 159 m², Luftvolumen 466 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 5 cm Polystyrol-Dämmung WLK 040; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,485 W/m²·K.

Außenwand des beheizten Kellerflures: Innenputz; 36,5 cm Bimsstein mit $\lambda = 0,49$ W/m·K; Putz; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLK 040. k-Wert = 0,293 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 17,5 cm Bimsstein mit $\lambda = 0,49$ W/m·K; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLK 040; Putz. k-Wert = 0,314 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Wärmedämmte Innentür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Betondecke, ober- und unterseitig gedämmt. Aufbau: Bodenbelag, Zementestrich, 6 cm Polystyrol-Dämmung WLK 040, 16 cm Betondecke; 6 cm Polystyrol-Dämmung WLK 040. k-Wert = 0,288 W/m²·K.

Außenwand: zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 24 cm Leichtlochziegel mit $\lambda = 0,24$ W/m·K. 12 cm Mineralwoll-Dämmung WLK 035, Klinker. k-Wert = 0,208 W/m²·K.

Außenwand zur Garage: Innenputz; 24 cm Leichtlochziegel; 4 cm Mineralwolle-Dämmung WLK 040; 17,5 cm Kalksandstein; 10 cm Mineralwolle-Dämmung WLK 040; Putz. k-Wert = 0,201 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Kunststoff-Fertigtür mit geringen Verglasungsanteilen. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparrendämmung und längslaufender Untersparrendämmung- Aufbau: Holzschalung; Lattenebene mit Luftschicht; Luftdichtung aus Poly-

ethylenfolie; Untersparrendämmung zwischen seitlich an die Sparren geschraubten Brettern mit 14 cm Mineralwoll-Dämmung WLK 040; 6 x 16 cm Sparren in 71 cm Achsmaß mit 16 cm Mineralwolle-Dämmung WLK 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,149 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Holzbalkendecke mit oberseitiger Aufdopplung. Aufbau: Holzschalung; Lattenebene mit Luftschicht; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 6 x 16 cm Kehlbalken mit Mineralwolle-Dämmung WLK 040; 10 cm Aufdopplung mit Mineralwoll-Dämmung WLK 040; Spanplatte. k-Wert = 0,164 W/m²·K.

Gaubenseitenwand: wie Schrägdach.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung durch Gas-Niedertemperatur-Kessel mit 24 kW Leistung im Keller. Warmwassererzeugung durch die Heizung mit indirekt beheiztem 160 Liter Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile oder über Zuluftleitungen im Spitzboden für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küche im Erdgeschoß sowie Bad im Obergeschoß über Einzel-Außenwandventilatoren.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf: 6,1 kW (38,2 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf: 11.526 kWh/a (58,7 kWh/m²a) = 30,4 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme: 13.236 kWh/a (83,2 kWh/m²a).



Niedrigenergie-Haus Sawatzky

Bauleute: Lydia und Jakob Sawatzky
Erich Kästner-Weg 9, 33824 Werther

Entwurf: Jörg-Olaf Knufinke
Teutoburger Str. 17, 33790 Halle

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn-/Nutzfläche 170 m², Luftvolumen 425 m³.

Aufbau der thermischen Hüllflächen

Sohlplatte im Keller: Bodenbelag; Zementestrich; 5 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 18 cm Beton-Bodenplatte. k-Wert = 0,649 W/m²·K.

Außenwand des beheizten Kellerflurs: Gipskarton; 6 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 36,5 cm Kalksandstein; 5 cm Polystyrol-Perimeter-Dämmung WLG 040; Zementputz. k-Wert = 0,298 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Gipskarton; 17,5 cm Kalksandstein; 10 cm Polystyrol-Hartschaum WLG 040; Putz. k-Wert = 0,328 W/m²·K.

Tür im Kellerflur: Wärme gedämmte Spezial-Innentüre. k-Wert=1,50 W/m²·K.

Kellerdecke: (Ziegeldecke, ober- und unterseitig gedämmt) Bodenbelag; Zementestrich; 6 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 19 cm Ziegelfertigdecke; 6 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040. k-Wert = 0,261 W/m²·K.

Außenwand: (zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung) Innenputz; 17 cm Leichthochlochziegel (1 = 0,18 W/m·K); 12 cm Mineralwolle-Kerndämmung WLG 035; Klinker. k-Wert = 0,215 W/m²·K.

Fenster und Haustür: 2-Scheiben-Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v-Wert=1,3 W/m²·K.

Schrägdach: (Pfettendach mit Zwischensparren- und querlaufender Untersparrendämmung) Gipskarton; Lattung mit Luftschicht, Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 6 x 8 cm querlaufende Latten mit 8 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 035; 20 x 6 cm Sparren mit Dämmung aus Mineralwolle WLG 040; Unterdach aus 2 cm bitumierter Holzweichfaserplatte; Dacheindeckung. k-Wert = 0,146 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen. Glas mit k_v-Wert=1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Gipskarton; Lattung; luftdichtende Folie; 6 x 20 cm Kehlbalken in 75 cm Achsmaß mit 20 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 040; 12 cm Aufdopplung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; Laufebene. k-Wert = 0,134 W/m²·K.

Bodenluke: Handelsübliche Bodentreppe mit 24 cm oberseitiger Zusatzdämmung in Sperrholzkasten. k-Wert = 0,121 W/m²·K.

Heizung

Heizwärmeerzeugung durch Niedertemperatur-Gaskessel mit 17 kW Leistung im Keller. Warmwassererzeugung durch indirekt beheizten Brauchwasserspeicher im Keller.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwand-Zuluftventile in den Frischlufträumen. Zwei auf der windabgewandten Seite liegende Räume im OG erhalten Frischluft über im Spitzboden verlegte Zuluftleitungen. Die Abluft wird aus Küche und den beiden Bädern mit drei Außenwandventilatoren abgesaugt.

Energetische Kennzahlen

Detmolder Standard

Wärmeleistungsbedarf: 6,1 kW (36,0 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf: 11.408 kWh/a (54,2 kWh/m²·a = 32,8 % unter dem Maximalwert nach WSVO).

Hessischer Standard

Energiekennwert Heizwärme: 13.401 kWh/a (78,7 kWh/m²·a).



Niedrigenergie-Haus Wächtler

Bauleute: Karin und Uwe Wächtler
Erich Kästner-Weg 11, 33824 Werther
Architekt: Büro Pappert und Weichynik
August Bebel-Str. 173 a, 33607 Bielefeld

Das Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller und unbeheiztem Kellertreppenabgang, auskragendem Erker im Erdgeschoß und nicht ausgebautem, unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn-/Nutzfläche 133 m², Luftvolumen 347 m³.

Aufbau der thermischen Hüllflächen

Trennwand zum kalten Kellertreppenhaus: Putz; 17,5 cm Kalksandstein; 9 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Putz. k-Wert = 0,325 W/m²·K.

Tür zum Kellertreppenhaus: Standard-Holz­tür mit zusätzlicher Lippendichtung und absenkbarer Bürste. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Betondecke, ober- und unterseitig gedämmt. Aufbau: Bodenbelag, Zementestrich; 7 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 16 cm Betondecke; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040. k-Wert = 0,211 W/m²·K.

Erkerbodenplatte: Bodenbelag; Zementestrich; 8 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Bitumenbahn; 16 cm auskragende Betonplatte; 8 cm unterseitige Dämmung aus Polystyrol der WLG 040. k-Wert = 0,233 W/m²·K.

Treppenlauf zum Obergeschoß über unbeheiztem Kellertreppenabgang: Betontreppe, unterseitig 9 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, Putz. k-Wert = 0,376 W/m²·K.

Außenwand: Einschalige Wand mit Wärmedämm-Verbundsystem. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,14$ W/m·K. 15 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; Außenputz. k-Wert = 0,177 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Haustür: Holztür mit geringen Verglasungsanteilen. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit unterseitiger Längsaufdopplung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; längslaufende Untersparrendämmung 10 cm Mineral-

wolle-Dämmung WLG 040; 6 x 18 cm Sparren in 71 cm Achsmaß mit 18 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dach-eindeckung. k -Wert = 0,155 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzglas in Holzrahmen. Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: wie Schrägdach; jedoch statt der Unterspannbahn eine oberseitige Lauffebene aus Massivholz. k-Wert = 0,155 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit unterschiedlichen Wandheizkörpern. Wärmezeugung über eine Gas-Niedertemperatur-Therme mit 7 kW Leistung im Spitzboden. Warmwasserzeugung über die Heizung mit 160 Liter Speicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung über Kreuzstrom-Wärmetauscher im Spitzboden. Frischlufteinlaß im Ostgiebel; Zuluftleitungen in alle Frischlufträume im EG und OG; Abluftabsaugung aus Küche und WC im EG und Bad im OG. Fortluftabführung über das Dach.

Energetische Kennzahlen

Detmolder Standard

Wärmeleistungsbedarf: 4,9 kW (37,3 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf: 8.160 kWh/a (49,9 kWh/m²·a) = 41,6 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer Standard

Energiekennwert Heizwärme: 8.124 kWh/a (61,3 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Möller

Bauleute: Marie-Luise und Horst Möller
Astrid Lindgren-Weg 3, Werther
Bauträger: Reno-Plan, Herr Westfeld
Detmolder Str. 32, 33604 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, teilunterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur, unbeheiztem Wintergarten und Einliegerwohnung im OG. Beheizte Wohn- / Nutzfläche 242 m², Luftvolumen 652 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohl-/Bodenplatte unter beheiztem Kellerflur und nicht unterkellerten Bereich: Bodenbelag; Zementestrich; 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,288 W/m²·K.

Außenwand des beheizten Kellerflures: Gipskarton; 12 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040 zwischen 3 x 12 cm Holzständern in 75 cm Achsmaß ($\lambda = 0,43$ W/m·K); 30 cm Ortbeton. k-Wert = 0,314 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: 36,5 cm Porenbeton ($\lambda = 0,12$ W/m·K), beidseitig verputzt. k-Wert = 0,30 W/m²·K.

Kellertür: Zusatzgedämmte Serien-Holztür. k-Wert = 0,9 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,278 W/m²·K.

Erkerbodenplatte: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035, 16 cm Betondecke; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040. k-Wert = 0,161 W/m²·K.

Außenwand: Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,18$ W/m·K; 15 cm Mineralwolle-Kerndämmung WLG 040, Klinker-Vormauerschale. k-Wert = 0,198 W/m²·K.

Garagenwand: Innenputz; 17,5 cm Gasbeton ($\lambda = 0,18$ W/m·K); 12 cm Mineralwolle-Kerndämmung WLG 040, 11,5 cm Kalksandstein; Putz. k-Wert = 0,224 W/m²·K.

Gaubenwand: Gipskarton; OSB-Spanplatte als Luftdichtung; 30 cm Mineralwoll-Dämmung zwischen 8 cm starken Ständern im Achsmaß 75 cm; bituminierte Holzweichfaserplatte; Luftraum; Dachdeckung. k-Wert = 0,151 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Kunststofftür. k_v -Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparrendämmung und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; OSB-Spanplatte als Luftdichtung; 29 cm Zwischen- und Untersparrendämmung aus Zelluloseflocken WLG 045 zwischen 6 x 20 cm Sparren in 75 cm Achsmaß und unterseitig längs angeschraubten Brettern; bituminierte Holzweichfaserplatte als Unterdach; Dacheindeckung. k-Wert = 0,157 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Brennwerttherme mit 8 - 20 kW Leistung im Dachgeschoß. Warmwassererzeugung durch die Heizung und 200 Liter Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über in die Rolladenkästen eingebaute Ventile für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küche, Hausarbeitsraum, Wohnraum, Bad und WC im Erdgeschoß sowie Bädern im Obergeschoß über zwei getrennte im Heizungs-/Lüftungsraum im Dachgeschoß positionierte Ventilatoren.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 7,3 kW (30,2 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 16.395 kWh/a (54,2 kWh/m²·a) = 31,7 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 18.946 kWh/a (78,3 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Kloss-Didier

Bauleute: Marion Kloss und Rainer Didier
Astrid Lindgren-Weg 5, Werther
Bauträger: rb-Hausbau,
Heeper Str. 237, 33607 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 189 m², Luftvolumen 473 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 8 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025; 15 cm Betonplatte. k-Wert = 0,288 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich im beheizten Kellerflur: Innenputz; 24 cm Kalksandstein; Außenputz; 10 cm Polystyrol-Perimeterdämmung WLG 040. k-Wert = 0,300 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: 36,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K, verputzt. k-Wert = 0,300 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Gedämmte Holztür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,290 W/m²·K.

Außenwand: Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,18$ W/m·K; 14 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, mineralischer Putz. k-Wert = 0,214 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Holzrahmentür mit großem Glasanteil. k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Decke über Luft über der Terasse: Bodenbelag; Zementestrich; 5 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025; 16 cm Betonplatte; 12 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025; Putz. k-Wert = 0,140 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,1 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; OSB-Spanplatte als Luftdichtung;

Untersparrendämmung mit 10 cm Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 045; 6 x 22 cm Sparren in 93 cm Achsmaß mit 22 cm Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 045; bituminierte Holzweichfaserplatte als Unterdach; Dacheindeckung. k-Wert = 0,145 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Gipskarton; OSB-Spanplatte als Luftdichtung; 8 x 24 cm Balkenlage mit Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 045; 6 cm oberseitige Aufdopplung mit Dämmung aus Zelluloseflocken WLG 045; Laufebene aus Massivholz. k-Wert = 0,159 W/m²·K.

Bodenluke: Serienmäßig gedämmte Spezial-Bodenluke. k-Wert = 1,3 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Brennwerttherme mit 8 - 24 kW Leistung auf dem Spitzboden. Warmwasserbereitung durch die Heizung und 6,9 m² Sonnenkollektoren auf dem Südost-Dach in Verbindung mit 400 Liter Speicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küche, Bad und WC im Erdgeschoß sowie Bad im Obergeschoß über einen im Spitzboden positionierten Ventilator, der über eine Drehzahleinstellung vom EG-Flur aus regelbar ist.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 7,0 kW (36,9 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 13.008 kWh/a (58,9 kWh/m²·a) = 29,6 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 16.070 kWh/a (72,7 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Wissmann

Bauleute: Susanne und Dieter Wissmann
Astrid Lindgren-Weg 7, Werther
Architekt: Wolfgang Hageresch
Engerstr. 12, 33824 Werther

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellervorflur und unbeheiztem Windfang. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 194 m², Luftvolumen 484 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLK 040; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,327 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich des beheizten Kellerflures: Innenputz; 10 cm Innendämmung aus Polystyrol WLK 035; 30 cm Kalksandstein; Außenputz. k-Wert = 0,288 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 10 cm Innendämmung aus Polystyrol WLK 035; 17,5 cm Kalksandstein; Putz. k-Wert = 0,293 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Bauseits gedämmte Holztür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLK 035, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,276 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk, außen verputzt. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,21$ W/m·K; 14 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLK 035, Lochziegel verputzt. k-Wert = 0,186 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Tür zum Windfang: Holzrahmentür mit Glasfüllung. k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischen- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; 3 cm Lattenebene mit Mineralwolle-Dämmung WLK 040; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 10 cm querlaufende Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLK 040; 8 x 20 cm Sparren in 67 cm Achsmaß mit 20 cm Mineralwolle-Dämmung WLK 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,145 W/m²·K.

Gaubenwand: Putz; 17,5 cm Hochlochziegel; 15 cm Außendämmung aus Mineralwolle WLK 035 zwischen 4 x 15 cm Latten; 1,3 cm Spanplatte; Teerpappe; hinterlüftete Holzschalung. k-Wert = 0,210 W/m²·K.

Gaubendach: Gipskarton; 3 cm Lattung mit Dämmung aus Mineralwolle WLK 035; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 x 18 cm Kehlbalken mit 18 cm Mineralwoll-Dämmung WLK 035; 18 cm Zusatzdämmung aus Mineralwolle WLK 040; Luftraum; Dacheindeckung. k-Wert = 0,101 W/m²·K.

Trennwand zwischen kaltem Luftraum über Gaube und ausgebautem Spitzboden: Gipskarton; Luftdichtung; 1,6 cm Spanplatte; 30 x 4 cm Bretter mit 30 cm Mineralwolle-Dämmung WLK 035; 1,6 cm Spanplatte. k-Wert = 0,099 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung durch Gas-Niedertemperatur-Therme mit 15 kW Leistung mit indirekt beheiztem 200 Liter Warmwasserspeicher im Keller.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küche im Erdgeschoß sowie Bad im Obergeschoß über einen im Lüfterraum in der Abseite des Treppenhauses positionierten Ventilator. Regelung über Drehzahlsteller im EG-Flur.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 5.8 kW (38,1 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 10.555 kWh/a (55,0 kWh/m²·a) = 34,9 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.124 kWh/a (80,2 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Kröger

Bauleute: Marie-Luise und Günter Kröger
Astrid Lindgren-Weg 9, Werther
Architekt: Wolfgang Hageresch
Engerstr. 12, 33824 Werther

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Zweifamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppengang und Kellerflur, unbeheiztem Windfang und Wintergarten. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 185 m², Luftvolumen 521 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,271 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich des beheizten Kellerflures: Innenputz; 36,5 cm Kalksandstein; Außenputz; 10 cm Perimeterdämmung aus Polystyrol WLG 035. k-Wert = 0,271 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 10 cm Innendämmung aus Polystyrol WLG 040; 24 cm Kalksandstein; Putz. k-Wert = 0,310 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Bauseits Zusatzgedämmte Holztür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,276 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,56$ W/m·K; 15 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 035, Klinker. k-Wert = 0,204 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Tür zum Windfang: Holzrahmentür mit Glasfüllung. k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischen- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 10 cm unterseitige Querlattung mit Mineralwoll-Dämmung WLG 035; 8 x 20 cm Sparren in 67 cm Achsmaß mit 20 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 035; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,138 W/m²·K.

Gaubenwand: Putz; 17,5 cm Kalksandstein; 16 cm Mineralwoll-Außendämmung WLG 040 zwischen 6 x 20 cm Latten; 1,3 cm Spanplatte; Teerpappe; hinterlüftete Holzschalung. k-Wert = 0,211 W/m²·K.

Gaubendach: Gipskarton; 3 cm Lattung mit Dämmung aus Mineralwolle WLG 035; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 x 18 cm Kehlbalken mit 18 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; 10 cm Zusatzdämmung aus Mineralwolle WLG 040; Luftraum; Dacheindeckung. k-Wert = 0,154 W/m²·K.

Trennwand zwischen kaltem Luftraum über Gaube und ausgebautem Spitzboden: Gipskarton; Luftdichtung; 1,6 cm Spanplatte; 30 x 4 cm Bretter mit 30 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 035; 1,6 cm Spanplatte. k-Wert = 0,099 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über Gas-Niedertemperatur-Therme mit 18 kW Leistung mit indirekt beheiztem 200 Liter Warmwasserspeicher im Keller.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung. Dezentrale Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile bzw. Zuluftleitungen für die Zuluft Räume. Abluftführung wohnungsweise aus Küche und Bad im Erdgeschoß sowie Küche und Bad im Obergeschoß. Zwei im Spitzboden über dem Treppenhaus positionierte Ventilatoren, die über Drehzahlsteller wohnungsweise regelbar sind.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 6,0 kW (32,1 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 10.555 kWh/a (55,0 kWh/m²·a) = 34,9 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.124 kWh/a (80,2 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Günther

Bauleute: Elisabeth und Waldemar Günther
Astrid Lindgren-Weg 17, 33824 Werther

Architekt: Herbert Klemme
Theodor Heuss-Str. 3, 33719 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung im OG, unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn-/ Nutzfläche 175 m², Luftvolumen 351 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,305 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich des beheizten Kellerflures: Innenputz; 12 cm Innendämmung aus Polystyrol WLG 035; 36,5 cm Kalksandstein; Außenputz. k-Wert = 0,273 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: 36,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K, beidseitig verputzt. k-Wert = 0,300 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Wärmedämmte Spezialtür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,290 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K; 14 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 040, Klinker. k-Wert = 0,190 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Kunststofftür mit Glasfüllung. k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 cm querlaufende Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 040; 6 x 20 cm Sparren in 75 cm Achsmaß mit 20 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,156 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 6 x 16 cm Sparren in 75 cm Achsmaß mit 16 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; 14 cm Aufdopplung mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040 zwischen seitlich an die Kehlbalken geschraubten Brettern; Laufebene. k -Wert = 0,136 W/m²·K.

Gaubenwand: Gipskarton; 4 cm Lattenebene mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 6 x 16 cm Balken mit 16 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; 2,2 cm bituminierte Holzweichfaserplatte; Faserzementplatten. k-Wert = 0,204 W/m²·K.

Bodenluke: Gedämmte und bauseits gedichtete Spezial-Bodenluke. k-Wert = 1,3 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Niedertemperatur-Therme mit 24 kW Leistung im Spitzboden. Indirekt beheizter 155 Liter Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftführung aus Küche und Bad im Erdgeschoß sowie Küche, Bad und WC im Obergeschoß über Einzelraum-Außenwandventilatoren.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 7,0 kW (39,9 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 12.375 kWh/a (53,3 kWh/m²·a) = 33,8 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.478 kWh/a (71,3 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Dähne

Bauleute: Gundel und Wolfgang Dähne
Astrid Lindgren-Weg 13, 33824 Werther

Bauträger: Gläser Bau
Auf der Höhe 1, 32051 Herford

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 149 m², Luftvolumen 366 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 10 cm Polyurethan-Dämmung WLG 030; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,273 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich des beheizten Kellerflures: Innenputz; 36,5 cm Kalksandstein; Außenputz; 12 cm Perimeterdämmung aus Polystyrol WLG 035. k-Wert = 0,248 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 11,5 cm Kalksandstein; 15 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Putz. k-Wert = 0,239 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Wärmedämmte Spezialtür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 9 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, 16 cm Betondecke; 3,5 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,276 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 24 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,16$ W/m·K; 14 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040, Klinker. k-Wert = 0,188 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Haustür: Kunststofftür mit Glasfüllung. k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparrendämmung und Dämmung zwischen zusätzlicher oberer und unterer Aufdopplung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 10 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040 zwischen unterseitig längs an die Sparren geschraubten Brettern; 20 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040 zwischen 6 x 16 cm Sparren in 73cm Achsmaß mit 4 x 6 cm oberer Längsaufattung;

diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,143 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Gipskarton; Lattenebene; Polyethylenfolie; 10 cm unterseitige Dämmung aus Mineralwolle WLG 040 zwischen an die Balken geschraubten Brettern; 6 x 20 cm Kehlbalken in 73 cm Achsmaß mit 20 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; Laufebene. k -Wert = 0,140 W/m²·K.

Gaubenwand: Trapezgaube mit innenseitig senkrecht stehenden Wänden. Verfüllung des keilförmigen Hohlraums mit Mineralwolle. k-Wert = 0,150 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Bodenluke: Wärmedämmte und bauseits gedichtete Spezial-Bodenluke. k-Wert = 1,3 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Brennwert-Therme mit 5 - 25 kW Leistung im Heizungs/Lüftungsraum in der Abseite des Treppenhauses. Indirekt beheizter 80 Liter Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung. Dezentrale Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung aus Küche im Erdgeschoß und Bad im Obergeschoß über einen in der Abseite des Treppenhauses positionierten Ventilator.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 4,97 kW (33,3 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 9.110 kWh/a (51,9 kWh/m²·a) = 36,6 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 10.135 kWh/a (67,9 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Willbrandt

Bauleute: Heike und Volker Willbrand
Astrid Lindgren-Weg 11, 33824 Werther

Architekten: Pappert und Weichynik
August Bebel-Str. 173a, 33607 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, teilunterkellertes Zweifamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppengang und unbeheiztem OG-Dachraum und Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 169 m², Luftvolumen 421 m³.

Thermische Hüllflächen

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 11,5 cm Kalksandstein; 15 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Putz. k-Wert = 0,239 W/m²·K.

Kellertür: Holztür. k-Wert = 1,84 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, 16 cm Betondecke; 4 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040. k-Wert = 0,288 W/m²·K.

Sohlplatte im nicht unterkellerten Bereich: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,325 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,21$ W/m·K; 15 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 035, Klinker. k-Wert = 0,183 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Holztür mit geringen Glasanteilen. k_v -Wert = 1,3 W/m²·K, k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Treppenlauf über unbeheiztem Kellerabgang: Betontreppe; unterseitige Dämmung mit 9 cm Mineralwolle WLG 040. k-Wert = 0,388 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 cm Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 035 zwischen seitlich an die Sparren geschraubten Brettern; 6 x 18 cm Sparren in 75 cm Achsmaß mit 18 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,149 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 10 cm

Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 035 zwischen seitlich an die Balken geschraubten Brettern; 8 x 16 cm Balkenlage in 73 cm Achsmaß mit Mineralwoll-Dämmung WLG 035; Laufebene. k-Wert = 0,148 W/m²·K.

Decke unter nicht ausgebautem Dachraum: Putz; 16 cm Betondecke; 12 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040. k-Wert = 0,302 W/m²·K ohne darüberliegendes teilgedämmtes Schrägdach.

Innenwand zum nicht ausgebauten Dachraum: Innenputz; 24 cm Leichthochlochziegel; 10 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,259 W/m²·K.

Bodenluke: Wärmegedämmte Spezial-Bodenluke. k-Wert = 1,3 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Brennwert-Therme mit 5 - 25 kW Leistung im Keller. Indirekt beheizter 200 Liter Warmwasserspeicher

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung durch Kreuzstrom-Wärmetauscher im Spitzboden. Frischlufteinlaß im Nordgiebel. Zuluftleitungen zu allen Frischlufträumen. Abluftabsaugung aus Küche und Bad im Erdgeschoß sowie Bad im Obergeschoß, Fortluftauslaß über das Westdach.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 6,4 kW (37,9 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 11.372 kWh/a (56,0 kWh/m²·a) = 37,4 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 13.079 kWh/a (77,3 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Kordes

Bauleute: Helga und Jürgen Kordes
Astrid Lindgren-Weg 10, 33824 Werther
Bauträger: MHS Massiv-Haus-Systeme
Hermann Ehlers Str. 29, 49082 Osnabrück

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur und unbeheizten Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 142 m², Luftvolumen 346 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 20 cm Betonplatte. k-Wert = 0,314 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich des beheizten Kellerflures: Gipskarton; 12 cm Dämmung aus Mineralwolle WLG 035 zwischen 4 x 12 cm Holzständern in 76 cm Achsmaß ($\lambda = 0,40$ W/m·K); 30 cm Ortbeton. k-Wert = 0,300 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Putz, 36,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,12$ W/m·K, Putz. k-Wert = 0,300 W/m²·K.

Tür zwischen Kellerflur und Keller: Wärme gedämmte Spezialtür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035, 18 cm Betondecke. k-Wert = 0,297 W/m²·K.

Erkerbodenplatte: Bodenbelag; Zementestrich; 10 cm Polystyrol-Dämmung der WLG 035; 18 cm auskragende Betonplatte; 8 cm unterseitige Dämmung aus Polystyrol WLG 035. k-Wert = 0,204 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,29$ W/m·K; 14 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 035, Klinker. k-Wert = 0,209 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Kunststoff-Fertigtür mit geringen Verglasungsanteilen. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Erkerdecke: 18 cm auskragende Betonplatte unter Schrägdach. Verfüllung des Hohlraumes mit ca. 10 - 50 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 035; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,15 W/m²·K.

Schrägdach: Gipskarton; Lattenebene; Polyethylenfolie; 12 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 035 zwischen unterseitig seitlich an die Sparren geschraubten Brettern; 14 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 035 zwischen 7 x 14 cm Sparren in 76 cm Achsmaß; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,149 W/m²·K.

Dachflächenfenster: Spezial-Dachflächenfenster mit gedämmter Zarge; 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Holzwerkstoff-Rahmen; Glas mit k_v -Wert 1,1 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: wie Schrägdach; jedoch statt der Unterspannbahn eine oberseitige Lauffebene aus Massivholz. k-Wert = 0,146 W/m²·K.

Bodenluke: Wärme gedämmte Spezial-Bodenluke. k-Wert = 1,3 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern, Thermostatventilen, Außentemperaturfühler und Zeitsteuerung. Wärmeerzeugung über eine Gas-Brennwert-Therme mit 9 - 18 kW Leistung im Keller. Indirekt beheizter 150 Liter Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung aus Küche und WC im Erdgeschoß sowie aus Flur und Bad im Obergeschoß über einen im Spitzboden positionierten Ventilator. Regelung über Drehzahlsteller im EG-Flur.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 5.2 kW (36,3 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 10.034 kWh/a (55,8 kWh/m²·a) = 33,6 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 10.906 kWh/a (76,8 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Wilms

Bauherrin: Inge Wilms
Astrid Lindgren-Weg 12, 33824 Werther
Architekt: Wolfgang Hageresch
Engerstr. 12, 33824 Werther

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur sowie unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 179 m², Luftvolumen 437 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle im beheizten Kellerflur: Bodenbelag; Zementestrich; 13 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 25 cm Betonplatte. k-Wert = 0,279 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 24 cm Kalksandstein; Putz. k-Wert = 0,296 W/m²·K.

Kellertür: Bauseits zusatzgedämmte Standardtür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellertreppe: Betontreppenlauf mit 10 cm unterseitiger Mineralwoll-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,286 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,276 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Leichtlochziegel mit $\lambda = 0,21$ W/m·K; 14 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 035, Vormauer aus Lochziegeln, Außenputz. k-Wert = 0,178 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Haustür: Holzrahmentür mit Dämmung und Glasfüllung. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 15 cm querlaufende Untersparrendämmung aus Mineralwolle WLG 035; 8 x 20 cm Sparren in 67 cm Achsmaß mit Mineralwoll-Dämmung WLG 035; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,120 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzverglasung in Holzwerkstoff-Rahmen; Glas mit k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Aufbau wie Schrägdach; jedoch statt der Unterspannbahn eine oberseitige Lauffebene aus Massivholz. k-Wert = 0,117 W/m²·K.

Bodenluke: Wärme gedämmte Spezial-Bodenluke mit serienmäßig 5 cm Weichschaumdämmung. k-Wert = 0,88 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärme erzeugung über eine Gas-Brennwert-Therme mit 24 kW Leistung im Keller. Warmwassererzeugung durch die Heizung mit indirekt beheiztem 170 Liter Speicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung aus Küche im Erdgeschoß sowie aus Flur und Bad im Obergeschoß über einen im Abstellraum im OG positionierten Ventilator.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 5.8 kW (32,4 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 10.375 kWh/a (55,3 kWh/m²·a) = 35,9 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.506 kWh/a (69,9 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Bresser

Bauleute: Katrin und Rolf Bresser
Astrid Lindgren-Weg 14, 33824 Werther

Bauträger: Gläser Bauregie
Auf der Höhe 1, 32051 Herford

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit unbeheiztem Keller, beheiztem Kellertreppengang und Kellerflur und Erker. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 152 m², Luftvolumen 387 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle im beheizten Kellerflur: Bodenbelag; Zementestrich; 11 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025; 16 cm Betonplatte. k-Wert = 0,212 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 11,5 cm Porenbeton; 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; Putz. k-Wert = 0,258 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich im beheizten Kellerflur: Innenputz; 36,5 cm Kalksandstein; Außenputz; 10 cm Perimeterdämmung aus Polystyrol WLG 035. k-Wert = 0,272 W/m²·K.

Kellertür: Gedämmte Standardtür.
k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 11 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,212 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 24 cm Porenbeton mit $\lambda = 0,16$ W/m·K; 15 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 035, Klinker. k-Wert = 0,191 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Haustür: Kunststofftür mit Glasfüllung.
k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; 3 cm Lattenebene mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 cm unterseitige Querlattung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; 6 x 20 cm Sparren in 75 cm Achsmaß mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,148 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Decke über Außenluft über Terasse und Haustür: Bodenbelag; Zementestrich; 5 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025; 16 cm Betonplatte; 12 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025.
k-Wert = 0,140 W/m²·K.

Erkerdecke: auskragende Betonplatte mit darüberliegendem Schrägdach; Dämmung des dazwischenliegenden Luftraumes.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Niedertemperatur-Therme mit 18 - 30 kW Leistung im Keller. Warmwassererzeugung durch die Heizung mit indirekt beheiztem 150 Liter Speicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile bzw. Zuluftleitungen in der Kehlbaalkendecke für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung aus Küche im Erdgeschoß, Bad im Obergeschoß und Hobbyraum im Spitzboden über einen im Lüfterraum im Spitzboden positionierten Ventilator. Das WC im Erdgeschoß wird durch einen separaten Außenwandventilator entlüftet.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 5.8 kW (38,4 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 10.504 kWh/a (59,5 kWh/m²·a) = 30,6 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.247 kWh/a (80,6 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Pirog

Bauherr: Udo Pirog
Astrid Lindgren-Weg 16, 33824 Werther
Architekt: Wolfgang Hageresch
Engerstr. 12, 33824 Werther

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Einfamilienhaus mit EG-Einliegerwohnung, beheiztem Kellertreppenabgang und Kellerflur sowie unbeheiztem Keller. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 172 m², Luftvolumen 454 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle des beheizten Kellerflures: Bodenbelag; Zementestrich; 13 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 16 cm Betonplatte. k-Wert = 0,280 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheiztem Kellerflur und unbeheiztem Keller: Innenputz; 17,5 cm Kalksandstein; 12 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 040 zwischen Kanthölzern; Gipskarton.
k-Wert= 0,349 W/m²·K.

Kellertür: Gedämmte Standardtür.
k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 8 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 16 cm Betondecke.
k-Wert = 0,285 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Leichtlochziegel mit $\lambda = 0,39$ W/m·K; 14 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 035; Lochziegel, Außenputz.
k-Wert = 0,201 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Haustüren: Holzrahmentür mit Glasfüllung.
k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 12 cm unterseitige Querlattung mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040; 8 x 20 cm Sparren in 75 cm Achsmaß mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,132 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Niedertemperatur-Therme mit 15 kW Leistung im Spitzboden. Warmwassererzeugung durch die heizung mit indirekt beheiztem 200 Liter Speicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung aus Küche im Erdgeschoß und Bad im Obergeschoß über einen im Spitzboden positionierten Ventilator.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 6,1 kW (35,3 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 12.125 kWh/a (53,5 kWh/m²·a)
= 34,7 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 13.079 kWh/a
(76,0 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Wellenkötter

Bauleute: Andreas und Dieter Wellenkötter
Astrid Lindgren-Weg 18, 33824 Werther

Architekt: Gerd Böger
Friedhofstr. 174, 33659 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Zweifamilienhaus mit unbeheiztem Keller, unbeheiztem Treppenhaus und unbeheiztem Spitzboden. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 157 m², Luftvolumen 396 m³.

Thermische Hüllflächen

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 14 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040, 16 cm Betondecke. k-Wert = 0,248 W/m²·K.

Außenwand: Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem. Aufbau: Innenputz; 17,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,70$ W/m·K; 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Außenputz. k-Wert = 0,202 W/m²·K.

Innenwand zwischen Wohnraum und kaltem Treppenhaus: Putz; 17,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,70$ W/m·K; 8 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Putz. k-Wert = 0,395 W/m²·K.

Wand zur Garage: Innenputz; 17,5 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,70$ W/m·K; 6 cm Mineralwolle-Dämmung WLG 040; 11,5 cm Kalksandstein; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Außenputz. k-Wert = 0,191 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,2 W/m²·K.

Wohnungstüren: Holztür. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; 4 cm Lattenebene mit Mineralwolle-Dämmung WLG 040; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 cm Längslattung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 035; 8 x 20 cm Sparren in 67 cm Achsmaß mit Mineralwolle-Dämmung WLG 035; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,160 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Kehlbalkendecke: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 4 cm unterseitige Längslattung mit Mineralwolle-Dämmung WLG 035; 8 x 16 cm Balkenlage in 67 cm Achsmaß mit Mineralwolle-Dämmung WLG 035; Laufebene. k-Wert = 0,20 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über eine Gas-Brennwert-Therme im Keller. Warmwassererzeugung durch die Heizung mit indirekt beheiztem Warmwasserspeicher.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile oder Fensterschiebeleisten für die Zulufräume. Abluftführung dezentral aus Küchen und Bädern über Einzelraum-Außenwandventilatoren.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 5.5 kW (35,2 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 11.088 kWh/a (58,2 kWh/m²·a) = 33,3 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 12.627 kWh/a (80,6 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Speckmann

Bauherrin: Gisela Speckmann, Werther
Standort: Astrid Lindgren-Weg 20, Werther
Architekt: Büro Dobra, Frau Diekötter
Am alten Kirchplatz 4, 33330 Gütersloh

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Achtfamilienhaus mit Souterrainwohnungen, unbeheiztem Keller und Kellertreppenraum und mit durch Wärmerückgewinnung aus der Abluft beheiztem Treppenhaus. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 784 m², Luftvolumen 1.860 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle der beheizten Kellerwohnräume: Bodenbelag; Zementestrich; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 30 cm Betonplatte.
k-Wert = 0,265 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich der beheizten Kellerräume **aus Beton:** Innenputz; 24 cm Beton; Außenputz; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035.
k-Wert = 0,271 W/m²·K.

Außenwand gegen Erdreich der beheizten Kellerräume **aus Kalksandstein:** Innenputz; 24 cm Kalksandstein; Außenputz; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,251 W/m²·K.

Innenwand zwischen beheizten Kellerräume und unbeheiztem Keller: Innenputz; 24 cm Kalksandstein; 10 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 035 zwischen Metallständern; Gipskarton.
k-Wert = 0,297 W/m²·K.

Außentüren der Kellerwohnungen: Wärmegeämmte Holztüren. k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 20 cm Betondecke. k-Wert = 0,256 W/m²·K.

Außenwand: Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem. Aufbau: Innenputz; 24 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,79$ W/m·K; 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Außenputz.
k-Wert = 0,200 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Balkone über warmen Räumen: 20 cm Betondecke; oberseitig 6 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025 zwischen Holzlatten; 10 cm Polyurethan-Dämmung WLG 025; wasserfeste Spanplatte; Bitumenbahn; Holzroste. k-Wert = 0,169 W/m²·K.

Decke über Luft unter Wohnräumen: Bodenbelag; 3 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 20 cm Betonplatte; 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Putz. k -Wert = 0,182 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Aufsparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 x 20 cm Sparren in 70 cm Achsmaß mit 20 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; 8 cm oberseitig querlaufende Lattung mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Eindeckung. k -Wert = 0,162 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,1 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung durch eine Gas-Brennwerttherme mit 50 kW Leistung im Spitzboden. Warmwassererzeugung durch die Heizung mit 500 Liter Speicher und Zirkulation.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage mit teilweiser Wärmerückgewinnung. Dezentrale Zuluftführung über regelbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung aus Küchen, WCs und Bädern durch wohnungsweise getrennte Ventilatoren im Spitzboden. Die gesamte Abluft wird durch einen Kanal über das Westdach abgeblasen. Ein Teil wird zuvor über einen Wärmetauscher geführt und erwärmt die Zuluft des Treppenhauses.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 24,1 kW (30,7 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 39.195 kWh/a (47,6 kWh/m²·a) = 35,1 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 47.941 kWh/a (61,2 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Junge-Wentrup

Bauleute: Stefan Junge-Wentrup, Werther
Frank Diekmann, Gütersloh und
Ralf Heienbrok, Bielefeld
Standort: Astrid Lindgren-Weg 22, Werther
Architekt: Büro Dobra, Frau Diekötter
Am alten Kirchplatz 4, 33330 Gütersloh

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Vierzehnfamilienhaus mit Souterrainwohnungen in einem Teil des Kellers, unbeheiztem Kellertreppenflur und durch Wärmerückgewinnung aus der Abluft beheiztem Treppenhaus. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 1.099 m², Luftvolumen 2.755 m³.

Thermische Hüllflächen

Sohle der beheizten Kellerräume: Bodenbelag; Zementestrich; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 30 cm Betonplatte. k-Wert = 0,298 W/m²-K.

Außenwand gegen Erde der beheizten Kellerräume: Innenputz; 24 cm Kalksandstein; Außenputz; 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,257 W/m²-K.

Innenwand zwischen beheizten Souterrainwohnungen und unbeheiztem Keller: Innenputz; 24 cm Kalksandstein; 12 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; Putz. k-Wert = 0,278 W/m²-K.

Außentüren der Kellerwohnungen: Wärmedämmte Spezial-Holztür. k-Wert = 0,94 W/m²-K.

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 12 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 25 cm Betondecke. k-Wert = 0,286 W/m²-K.

Decke unter Außenluft im EG: Innenputz; 25 cm Betondecke; 12 cm Polyurethan-Dämmung WLG 020; Bitumenbahn. k-Wert = 0,154 W/m²-K.

Außenwand: Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem. Aufbau: Innenputz; 24 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,79$ W/m-K; 18 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Außenputz. k-Wert = 0,200 W/m²-K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Kunststoffrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²-K.

Außentüren im EG: Holztür mit wärmedämmender Füllung. k-Wert = 1,5 W/m²-K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Aufsparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; Lattenebene mit Luft; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 x 22 cm Sparren in 70 cm Achsmaß mit 22 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040;

8 cm oberseitige Querlattung mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,154 W/m²-K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,1 W/m²-K.

Leichtbau-Außenwand zwischen den Pultdächern: Aufbau wie Schrägdach, jedoch außen mit hinterlüfteter Holzschalung. k -Wert = 0,154 W/m²-K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über zwei Gas-Brennwertthermen mit je 10 - 25 kW Leistung in einer Dachheizzentrale. Warmwassererzeugung durch die Heizung mit zwei 400 Liter Speichern und Zirkulation.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage mit teilweiser Wärmerückgewinnung zur Treppenhausbeheizung. Dezentrale Zuluftführung über einstellbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung aus Küchen, WCs und Bädern wohnungsweise getrennt über im Lüfterraum im Spitzboden über dem Treppenhaus positionierte Ventilatoren. Die gesamte Abluft wird in einem Kanal über das westliche Schrägdach abgeführt. Ein Teilstrom wird mittels eines Wärmetauschers zum Vorwärmen der Zuluft für das Treppenhaus verwendet.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 39,7 kW (36,1 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 55.765 kWh/a (41,5 kWh/m²-a) = 36,2 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 60.672 kWh/a (55,2 kWh/m²-a).



Niedrig-Energie-Haus KWG Halle

Bauherr: Kreis-Wohnstätten-Genossenschaft
Halle, Kättkenstr. 33, 33790 Halle
Standort: Astrid Lindgren-Weg 23-24, Werther
Architekt: Büro Berief, Drees & Partner
Vennhoffallee 97, 33689 Bielefeld

Gebäude

Zwei freistehende, unterkellerte Achtfamilienhäuser mit unbeheiztem Keller und unbeheiztem Treppenhaus. Beheizte Wohn- und Nutzfläche je 619 m², Luftvolumen je 1.578 m³.

Thermische Hüllflächen

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich, 10 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; 18 cm Betondecke. k-Wert = 0,301 W/m²·K.

Außenwand: Zweischaliges Mauerwerk mit Kerndämmung. Aufbau: Innenputz; 24 cm Leichthochlochziegel mit $\lambda = 0,16$ W/m·K; 14 cm Mineralwoll-Kerndämmung WLG 040; Klinker. k-Wert = 0,185 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert = 1,1 W/m²·K.

Innenwand zwischen unbeheiztem Treppenhaus und beheiztem Wohnraum: Einschalige Mauer mit treppenhausseitiger Dämmung. Aufbau: Innenputz; 24 cm Kalksandstein; 8 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; Putz. k-Wert = 0,330 W/m²·K.

Wohnungstüren: Holztür mit k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Untersparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; 3 cm Lattenebene mit Mineralwoll-Dämmung WLG 035; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 cm unterseitige Querlattung mit Mineralwoll-Dämmung WLG 035; 8 x 22 cm Sparren in 70 cm Achsmaß mit 22 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 035; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k-Wert = 0,143 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Decke über unbeheiztem Treppenhaus in den Dachgeschoßwohnungen: Bodenbelag; Zementestrich, 5 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 18 cm Betondecke; 8 cm unterseitige Polystyrol-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,249 W/m²·K.

Flachdach zwischen Gebäudeteilen: Deckenputz; 18 cm Betondecke; Bitumendachbahn; 24 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; Bitumendachbahn. k-Wert = 0,158 W/m²·K.

Decke unter Außenluft in kalter Abseite über OG: Deckenputz; 18 cm Betondecke; 22 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,151 W/m²·K.

Trennwand zu unbeheizter Abseite: Innenputz; 11,5 cm Gasbeton; 25 cm Mineralwolle WLG 035. k-Wert = 0,121 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über gebäudeweise Gas-Brennwerttherme mit je 36 kW Leistung in den Kellern. Warmwassererzeugung durch die Heizung mit jeweils 500 Liter Speicher und Zirkulation.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über in den Fensterblendrahmen eingebaute, einstellbare Zuluftöffnungen in den Zuluftträumen. Abluftabsaugung aus Küchen, WCs und Bädern wohnungsgewise getrennt über in den Wohnungen installierte Ventilatoren. Die Luft wird über das westliche Schrägdach abgeführt.

Energetische Kennzahlen (je Gebäude)

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 24,56 kW (39,7 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 39.853 kWh/a (48,5 kWh/m²·a) = 37,2 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 42.886 kWh/a (69,3 kWh/m²·a).



Niedrig-Energie-Haus Richter

Bauleute: Jutta und Günther Richter
Meyerfeld 32, 33824 Werther
Standort: Astrid Lindgren-Weg 21, Werther
Architekt: Büro Pappert und Weichynik
August Bebel-Str. 173 a, 33607 Bielefeld

Gebäude

Freistehendes, unterkellertes Neunfamilienhaus mit unbeheiztem Keller und unbeheiztem Treppenhaus. Beheizte Wohn- und Nutzfläche 620 m², Luftvolumen 1.605 m³.

Thermische Hüllflächen

Kellerdecke: Bodenbelag, Zementestrich; 4,5 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040; 16 cm Betondecke; 10 cm unterseitige Polystyrol-Dämmung WLG 035. k-Wert = 0,223 W/m²·K.

Außenwand: Einschaliges Mauerwerk mit Wärmedämm-Verbundsystem. Aufbau: Innenputz; 24 cm Kalksandstein mit $\lambda = 0,50$ W/m·K; 16 cm Polystyrol-Dämmung WLG 035; Außenputz. k-Wert = 0,190 W/m²·K.

Fenster: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Holzrahmen mit wetterseitiger Aluminiumabdeckung; Glas mit k_v -Wert = 1,3 W/m²·K.

Innenwand zwischen unbeheiztem Treppenhaus und beheiztem Wohnraum: Einschalige Mauer mit Dämmung auf der Treppenhausseite. Innenputz; 24 cm Kalksandstein; 6 cm Polystyrol-Dämmung WLG 040 mit Gipskarton-Kaschierung. k-Wert = 0,471 W/m²·K.

Wohnungstüren: Holztür mit k-Wert = 1,5 W/m²·K.

Schrägdach: Pfettendach mit Zwischensparren- und zusätzlicher Aufsparrendämmung. Aufbau: Gipskarton; 3 cm Lattenebene mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040; Luftdichtung aus Polyethylenfolie; 8 x 22 cm Sparren in 70 cm Achsmaß mit 22 cm Mineralwoll-Dämmung WLG 040; 6 cm Längsaufattung mit Mineralwoll-Dämmung WLG 040; diffusionsoffene Unterspannbahn; Dacheindeckung. k -Wert = 0,152 W/m²·K.

Dachflächenfenster: 2-Scheiben Wärmeschutzglas in Holzrahmen; Glas mit k_v -Wert 1,3 W/m²·K.

Heizung

Pumpen-Warmwasser-System mit Wandheizkörpern. Wärmeerzeugung über Gas-Brennwerttherme mit 10 - 25 kW Leistung im Dachgeschoß. Zentrale Warmwassererzeugung durch die Heizung mit zwei 500 Liter Warmwasserspeichern und Zirkulation.

Lüftung

Mechanische Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung mit dezentraler Zuluftführung über regelbare Außenwandventile für die Zuluft Räume. Abluftabsaugung über zentrale Steigestränge aus den jeweils übereinanderliegenden Küchen und Bädern und einen zentralen Abluftventilator im Heizungs/Lüftungsraum im Dachgeschoß. Die Fortluft wird oberhalb des Erkers durch die westliche Außenwand abgeblasen.

Energetische Kennzahlen

Detmolder NEH-Standard

Wärmeleistungsbedarf 24,4 kW (39,4 W/m²).

WSVO-Standard

Heizwärmebedarf 36.958 kWh/a (46,6 kWh/m²·a) = 34,9 % unter dem Maximalwert nach WSVO.

Hessischer NEH-Standard

Energiekennwert Heizwärme 39.210 kWh/a (63,2 kWh/m²·a).

10. Tatsächliche Heizenergieverbräuche 1996-1999

Inhaltsübersicht

1994 war der Begriff der Niedrigenergie-Häuser noch relativ neu. Der hier angewandte Wärmeschutzstandard sollte zu einem tatsächlichen Heizenergieverbrauch von etwa 70 kWh/m²*a führen, dessen Erreichbarkeit häufig noch angezweifelt wurde. Das Forschungsprojekt umfaßte daher auch die anschließende Auswertung der tatsächlichen Verbräuche in den Jahren 1996-1999, wobei die Klimadaten und die Energieverbräuche für die Warmwasserbereitung einzubeziehen waren.

Das Ergebnis zeigt, daß das gesteckte Ziel eines Heizwärmeverbrauchs von nicht mehr als 70 kWh/m²*a im Mittel aller Häuser ab der dritten Heizperiode erreicht wird, nachdem die Austrocknung der Massivbauten und die Eingewöhnung in die neuen Häuser und Haustechniken abgeschlossen ist. Die Spanne der einzelnen witterungsbereinigten Heizwärmeverbräuche reicht dabei von 28 bis 159 kWh/m²*a. In den Objekten mit stark überhöhten Verbräuchen, liegen meist nachvollziehbare Ursachen vor. Es sind hier nicht Mängel der Niedrigenergie-Bauweise, sondern unbedachter Umgang mit Wärme, ungenügende Funktion der Lüftungsanlage oder zusätzliche regelmäßige Beheizung von nicht oder nur wenig gedämmten Keller- oder Dachräumen.

10.1. Verfügbare Daten

10.2. Vorgehensweise

10.3. Ergebnisse

10.1. Verfügbare Daten

Für die Ermittlung der Heizenergieverbräuche wurden die Bauleute der Ein- und Zweifamilienhäuser und die Investoren bzw. Eigentümer der Mehrfamilienhäuser im Jahr 1997 und erneut im Jahr 2000 mit Rundschreiben gebeten, folgende Daten mitzuteilen:

- das Datum des Erstbezugs
- das Datum der Inbetriebnahme der Heizanlage
- die Bewohnerzahl in jedem Jahr
- die Warmwasserverbräuche
- die Stromverbräuche der Lüftungsanlagen
- die Kaltwasserverbräuche
- die genutzten Regenwassermengen
- ob Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung bestehen und seit wann sie betrieben werden
- ob zusätzlich Öfen installiert wurden und wie hoch deren Heizmaterialverbrauch war.

Der Rücklauf der Fragebögen war nicht vollständig, aber zufriedenstellend. 1997 lieferten alle Angefragten die ihnen für 1996 verfügbaren Daten und für die Jahre 1997-99 fehlten anfangs Angaben von sechs der 29 Objekte. Der Gasversorger WFG erklärte sich daraufhin bereit, diese fehlenden Daten der Gebäudeheizungsverbräuche bereitzustellen, wenn diese anonymisiert veröffentlicht werden oder die betroffenen Hausbesitzer der Veröffentlichung zustimmen. Dadurch konnten schließlich alle Gebäude ausgewertet werden.

Allerdings ergab der Rücklauf, daß nur ein Teil der angeforderten Daten verwertbar ist. Nahezu immer nutzbar sind die Zeitpunkte des Bezugs und der Inbetriebnahme der Heizung sowie die Bewohnerzahlen in den einzelnen Jahren. Von den energetischen Daten sind dagegen nur die Jahresgasverbräuche sowie teils die Jahresstrom- und Jahreswasserverbräuche verfügbar. Eine separate Erfassung der Warmwasserverbräuche fand in keinem der 18 Ein- oder Zweifamilienhäuser, sondern nur in den 10 Mehrfamilienhäusern statt. Von diesen legten aber nur drei Objekte auswertbare Daten vor.

In den zwei Häusern mit Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung sind keine Meßeinrichtungen für die solare Wärmeerzeugung installiert, sodaß der Beitrag dieser Anlagen nur abgeschätzt werden kann. Wenige EFH haben neben den Gasheizungen auch Feststofföfen in den Wohnzimmern, deren Nutzungshäufigkeit und Heizbeiträge aber in keinem Fall deklariert wurden und damit nicht einfließen können. Fünf Häuser haben Anlagen zur Nutzung von Regenwasser, die auch Meßeinrichtungen enthalten und deren Wasseraufkommen angegeben wurde.

10.2. Vorgehensweise

Aufgrund der Datenlage wurde folgendes Vorgehen gewählt:

1. Auf eine Auswertung der Wasser- und Stromverbräuche wird mangels ausreichender Daten verzichtet.
2. In den Gebäuden ohne separate Erfassung des Warmwasserverbrauchs und ohne Solaranlage wird der Heizgasverbrauch aus dem gesamten Gasverbrauch dadurch berechnet, daß pro Kopf und Jahr 1.000 kWh Gasverbrauchsanteil für die Warmwasserbereitung abgezogen werden. Dieser Wert entstammt einer Publikation der Energieagentur NRW und entspricht ziemlich genau den wenigen tatsächlich gemessenen Verbrauchswerte in den untersuchten MFH. In Gebäuden mit Solaranlage wird angenommen, daß diese 50 % des Jahreswarmwasserbedarfs deckt, sodaß der Abzugsbetrag vom Gesamtgasverbrauch hier nur mit 500 kWh pro Kopf und Jahr angesetzt wurde.
3. Waren Häuser nur zu einem Teil eines Kalenderjahres beheizt, wird ihr tatsächlicher Gasverbrauch anhand des Anteils der Heizgradtage dieses Zeitanteils an den gesamten Heizgradtagen des Abrechnungsjahres auf einen fiktiven Jahresverbrauch hochgerechnet.

4. Waren Häuser nur zu einem Teil des Kalenderjahres bewohnt, so wird der Abzug für den Gasverbrauch der Warmwassererzeugung anhand der Personenanwesenheitstage dieses Zeitanteils vorgenommen.
5. Der so berechnete fiktive Heizgasverbrauch jedes Kalenderjahres wird anhand der langjährigen Heizgradtagstabellen für die nächstgelegene Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (Bad Salzflen) auf Normaljahre umgerechnet.
6. Aus dieser Bereinigung um die Teilbeheizung, Teilbewohnung und Klimaschwankungen ergibt sich der Norm-Heizgasverbrauch jedes Hauses im jeweiligen Jahr.
7. In Gebäuden mit Gasbrennwertkessel zur Heizwärmeerzeugung wird keine Umrechnung von Heizgasverbrauch in Heizwärmeverbrauch vorgenommen, da angenommen wird, daß der Wirkungsgrad der Umwandlung von Gas in Heizwärme bei Gasbrennwertkesseln 100 % beträgt. In Gebäuden mit Niedertemperatur-Gaskessel wird dagegen der Heizwärmeverbrauch mit 90 % des Heizgasverbrauchs angenommen. Eine zusätzliche Berücksichtigung der Bereitschafts- und Verteilverluste erfolgt nicht, da hierfür keine ausreichend genauen Daten vorliegen.
8. Aus den objektweise ermittelten Jahresheizwärmeverbräuchen der einzelnen Jahre werden jahresweise Siedlungsmittelwerte berechnet. Dabei werden die Einzelwerte der Objekte mit deren Wohnflächen gewichtet.
9. Bei der abschließenden Würdigung der Ergebnisse wird bei einzelnen Objekten darauf hingewiesen, wenn sonstige technische oder verhaltensbedingte Gegebenheiten bekannt sind, die auf einen höheren oder niedrigeren Heizwärmeverbrauch als bei bestimmungsgemäßer Nutzung Einfluß gehabt haben könnten.

10.3. Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die Namen der untersuchten Objekte, die Daten des Erstbezugs und Heizbeginns, die Entwicklung der Bewohnerzahlen 1996-1999, die Energiekennwerte der Objekte sowie deren Ausstattung mit Lüftungs- und Solaranlagen.

Der berechnete Wärmeleistungsbedarf der Gebäude liegt meist knapp unter 40 W/m^2 , was Vorgabe des Detmolder Niedrigenergie-Haus-Standards war. Ihr nachträglich berechneter Heizwärmebedarf nach WSVÖ 1995, die zu Baubeginn noch nicht existierte, liegt zwischen 43 und $61 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, was je nach A/V-Verhältnis 25-31 Prozent unter dem jeweiligen Grenzwert der WSVÖ liegt. Die hessischen Energiekennzahlen liegen zwischen 66 und $83 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bei den Ein- und Zweifamilienhäusern und zwischen 20 und $69 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bei den Mehrfamilienhäusern. Lüftungsanlagen sind in jedem Haus eingebaut, meist in der Bauform zentraler Abluftanlagen. Anlagen mit Abluftwärmerückgewinnung WRG sind nur in zwei der jetzt untersuchten EFH eingebaut, Solaranlagen ebenfalls nur in zwei EFH.

Tabelle 2 zeigt die empirisch erhobenen Basiswerte und die daraus berechneten Ergebnisse des Heizwärmeverbrauchs aller Objekte in der im Abschnitt „Vorgehensweise“ beschriebenen Abfolge.

Die erste Spalte „Insg.“ enthält den auf das ganze Kalenderjahr hochgerechneten gesamten Gasverbrauch. Die zweite Spalte „WW“ enthält den Abzug für die Warmwasserbereitung, die sich aus der Nutzerzahl und der Bewohndauer ergibt, sofern keine separat erfaßten Meßwerte vorlagen. Die dritte Spalte „Heiz“ enthält den nach dem WW-Abzug verbleibenden Heizgasverbrauch. Die vierte Spalte „N-Heiz“ enthält den witterungsbereinigten Normal-Heizgasverbrauch. Die fünfte Spalte „N-HWV“ enthält den je nach Kesselwirkungsgrad bei Brennwertkesseln nicht oder bei Niedertemperaturkesseln um 10 % verringerten Norm-Heizwärmeverbrauch in absoluter Menge. Die sechste Spalte enthält diese Angabe als spezifischen Wert pro Quadratmeter offiziell deklariertes Energiebezugsfläche (=beheizte Wohn- und Nutzfläche), jedoch ohne Anrechnung evtl. zusätzlicher tatsächlich beheizter Flächen, die laut Baubeschreibung und Energiebilanz außerhalb des beheizten Gebäudeteils liegen.

Gebäude				Bewohner				EBF m ²	A/V m ² /m ³	WLB W/m ²	HWB WSVO kWh/m ² *a	EKZ HES kWh/m ² *a
Eigentümer	Bezug	Hzg ab	Art	1996	1997	1998	1999					
Beyaz/Cevik	06.05.97	06.05.97	3 FH	0	10	10	10	224	0,73	39,5	53,2	65,8
Hellmann	01.03.96	01.01.96	8 FH	17	15	17	18	572	0,51	39,9	43,3	55,7
Quest	01.02.96	11.12.95	5 FH	11	12	12	12	315	0,67	39,4	48,5	65,0
Hageresch	07.04.97	07.04.97	6 FH	0	12	12	12	337	0,54	39,4	45,7	58,2
Triebel	25.06.96	25.06.96	7 FH	11	11	11	10	488	0,67	39,9	55,8	66,0
Lünstedt	15.07.96	15.07.96	EFH	6	6	6	6	147	0,76	36,4	53,1	66,3
Schäfer V.	01.09.96	20.08.96	EFH	5	5	5	5	153	0,71	37,7	54,7	79,6
Otters	30.12.95	27.10.95	EFH	4	4	4	4	144	0,81	38,1	61,2	82,2
Schröder	01.07.95	01.07.95	2 FH	5	5	5	5	159	0,76	38,2	58,7	83,2
Sawatzky	20.10.95	01.10.95	EFH	4	4	4	4	152	0,64	36,0	54,2	78,7
Wächtler	01.01.96	18.03.96	EFH	3	3	3	3	132	0,86	37,3	49,9	61,3
Möller	31.10.96	01.10.96	EFH	4	4	4	4	242	0,67	30,2	54,2	78,3
Didier	22.06.96	01.06.96	EFH	5	5	5	5	189	0,77	36,9	58,9	72,7
Wissmann	Jun 95	Feb 95	EFH	4	4	4	4	151	0,76	38,1	55,0	80,2
Kröger	Okt 95	Sep 95	EFH	4	4	4	5	199	0,71	32,1	55,0	80,2
Günter	24.09.97	24.09.97	EFH	0	7	7	7	175	0,69	39,9	53,3	71,3
Dähne	23.09.95	Sep 95	EFH		4	4	4	160	0,72	33,3	51,9	67,9
Willbrandt	18.10.95	01.10.95	2 FH	5	5	5	5	169	0,86	37,9	56,0	77,3
Kordes	01.07.96	11.06.96	EFH	2	2	2	2	142	0,76	36,3	55,8	76,8
Wilms	23.01.97	23.01.97	EFH	0	5	5	5	179	0,8	32,4	55,3	69,9
Bresser	11.07.96	11.07.96	EFH	3	3	3	3	152	0,79	38,4	59,9	80,6
Pirog	Aug 95	10.07.95	EFH	3	4	4	4	172	0,71	35,3	53,5	76,0
Wellenkötter	01.12.95	01.10.95	2 FH	4	4	5	6	156	0,81	35,2	58,2	80,6
Speckmann	01.01.96	Aug 95	8 FH	17	18	18	18	713	0,56	30,7	47,6	61,2
Junge-Wentrup	01.06.96	Jun 96	14 FH	25	25	25	25	1099	0,4	36,1	41,5	55,2
KWG	15.10.96	15.10.96	8 FH	22	22	22	22	619	0,63	39,7	48,5	69,3
KWG	01.11.96	01.11.96	8 FH	23	23	23	23	619	0,63	39,7	48,5	69,3
Richter	01.11.95	01.11.95	9 FH	28	28	28	31	630	0,52	39,4	46,6	63,2

EBF=Energiebezugsfläche, WLB=Wärmeleistungsbedarf
HWB=Heizwärmebedarf, WSVO=Wärmeschutzverordnung 1995
EKZ HES = Energiekennzahl (Hessen)

BW = Brennwertkessel, NT
zentr.=zentral, whgw=Woh
WRG=mit Wärmerückgewi

Tab.1 Gebäudedaten

Gebäude	Gasverbrauch 1996				N-HWV		Gasverbrauch 1997				N-HWV		
	Insg. kWh	WW kWh	Heiz kWh	N-Heiz kWh	abs. kWh	spezif. kWh/m²	Insg. kWh	WW kWh	Heiz kWh	N-Heiz kWh	abs. kWh	spezif. kWh/m²	
Beyaz/Cevik	0	0	?	0	0	0	30.526	6.667	23.859	25.601	25.601	114	
Hellmann	93.852	18.599	75.253	65.267	65.267	114	60.920	28.407	32.513	33.709	33.709	59	
Quest	70.007	10.083	59.924	51.972	46.775	148	43.024	12.000	31.024	32.166	28.949	92	
Hageresch	0	0	?	0	0	0	68.186	9.000	59.186	63.277	63.277	188	
Triebel	44.274	8.250	36.024	118.445	106.601	218	57.549	11.000	46.549	48.262	43.436	89	
Lünstedt	19.352	2.750	16.602	36.808	33.127	225	12.775	6.000	6.775	7.024	6.322	43	
Schäfer V.	13.556	1.667	11.889	27.224	24.502	160	22.066	5.000	17.066	17.694	15.925	104	
Otters	23.298	2.000	21.298	18.472	18.472	128	15.485	2.000	13.485	13.981	13.981	97	
Schröder	36.995	5.000	31.995	27.749	24.974	157	24.958	5.000	19.958	20.693	18.623	117	
Sawatzky	28.792	4.000	24.792	21.502	19.352	127	18.790	4.000	14.790	15.334	13.801	91	
Wächtler	16.813	3.000	13.813	11.980	10.782	82	13.502	3.000	10.502	10.888	9.800	74	
Möller	9.790	667	9.123	25.324	25.324	105	21.037	4.000	17.037	17.664	17.664	73	
Didier	10.703	1.250	9.453	18.431	18.431	98	12.898	2.500	10.398	10.781	10.781	57	
Wissmann	25.496	4.000	21.496	18.644	16.779	111	22.038	4.000	18.038	18.702	16.832	111	
Kröger	28.811	4.000	24.811	21.519	19.367	97	22.123	4.000	18.123	18.790	16.911	85	
Günter	0	0	?	0	0	0	21.289	2.333	18.956	20.355	18.319	105	
Dähne	15.831	4.000	11.831	10.261	10.261	64	12.302	4.000	8.302	8.607	8.607	54	
Willbrandt	22.732	5.000	17.732	15.379	15.379	91	18.797	5.000	13.797	14.304	14.304	85	
Kordes	13.556	1.000	12.556	24.371	24.371	172	19.778	2.000	17.778	18.432	18.432	130	
Wilms	0	0	?	0	0	0	27.155	4.583	22.572	27.133	27.133	152	
Bresser	19.332	1.500	17.832	39.052	35.147	231	20.536	3.000	17.536	18.181	16.363	108	
Pirog	18.974	3.000	15.974	13.854	12.469	72	16.306	4.000	12.306	12.759	11.483	67	
Wellenkötter	28.537	4.000	24.537	21.281	21.281	136	23.954	4.000	19.954	20.688	20.688	133	
Speckmann	99.809	24.903	74.906	64.966	64.966	91	73.855	203	73.652	76.362	76.362	107	
Junge-Wentrup	59.362	14.583	44.779	86.914	86.914	79	123.325	25.000	98.325	101.943	101.943	93	
KWG	20.053	4.583	15.470	53.668	53.668	87	78.274	22.000	56.274	58.345	58.345	94	
KWG	20.053	3.833	16.220	57.455	57.455	93	78.274	23.000	55.274	57.308	57.308	93	
Richter	85.309	28.000	57.309	49.704	49.704	79	63.290	34.719	28.571	29.622	29.622	47	
Summe HWV:					861.369	100	Summe HWV:					768.919	90

Gebäude	Gasverbrauch 1998				N-HWV		Gasverbrauch 1999				N-HWV		
	Insg. kWh	WW kWh	Heiz kWh	N-Heiz kWh	abs. kWh	spezif. kWh/m²	Insg. kWh	WW kWh	Heiz kWh	N-Heiz kWh	abs. kWh	spezif. kWh/m²	
Beyaz/Cevik	34.347	10.000	24.347	25.551	25.551	114	16.766	5.000	11.766	19.671	19.671	88	
Hellmann	55.371	23.308	32.063	33.649	33.649	59	61.411	25.693	35.718	40.009	40.009	70	
Quest	40.263	12.000	28.263	29.661	26.695	85	17.327	6.000	11.327	18.937	17.043	54	
Hageresch	37.782	12.000	25.782	27.057	27.057	80	18.162	6.000	12.162	20.333	20.333	60	
Triebel	52.068	11.000	41.068	43.099	38.790	79	25.890	5.000	20.890	34.925	31.433	64	
Lünstedt	13.937	6.000	7.937	8.330	7.497	51	7.376	3.000	4.376	7.316	6.584	45	
Schäfer V.	20.118	5.000	15.118	15.866	14.279	93	10.102	2.500	7.602	12.709	11.438	75	
Otters	16.098	2.000	14.098	14.795	14.795	103	8.279	1.000	7.279	12.169	12.169	85	
Schröder	26.289	5.000	21.289	22.342	20.108	126	30.063	5.000	25.063	28.074	25.267	159	
Sawatzky	17.919	4.000	13.919	14.608	13.147	86	10.529	2.000	8.529	14.259	12.833	84	
Wächtler	13.626	3.000	10.626	11.152	10.036	76	8.003	1.500	6.503	10.872	9.785	74	
Möller	19.938	4.000	15.938	16.726	16.726	69	17.638	4.000	13.638	15.276	15.276	63	
Didier	11.418	2.500	8.918	9.359	9.359	50	4.415	1.250	3.165	5.291	5.291	28	
Wissmann	23.986	4.000	19.986	20.975	18.877	125	12.352	2.000	10.352	17.307	15.576	103	
Kröger	22.477	4.000	18.477	19.391	17.452	88	11.678	2.500	9.178	15.344	13.810	69	
Günter	31.988	7.000	24.988	26.224	23.602	135	18.077	3.500	14.577	24.371	21.934	125	
Dähne	13.767	4.000	9.767	10.250	10.250	64	8.260	2.000	6.260	10.466	10.466	65	
Willbrandt	19.127	5.000	14.127	14.826	14.826	88	18.249	5.000	13.249	14.841	14.841	88	
Kordes	17.740	2.000	15.740	16.518	16.518	116	15.513	2.000	13.513	15.136	15.136	107	
Wilms	31.516	5.000	26.516	27.828	27.828	155	14.953	2.500	12.453	20.820	20.820	116	
Bresser	24.071	3.000	21.071	22.113	19.902	131	11.336	1.500	9.836	16.444	14.800	97	
Pirog	16.475	4.000	12.475	13.092	11.783	69	7.975	2.000	5.975	9.989	8.990	52	
Wellenkötter	25.024	5.000	20.024	21.015	21.015	135	14.184	3.000	11.184	18.698	18.698	120	
Speckmann	80.508	233	80.275	84.246	84.246	118	39.656	9.000	30.656	51.252	51.252	72	
Junge-Wentrup	121.281	25.000	96.281	101.044	101.044	92	52.378	12.500	39.878	66.670	66.670	61	
KWG	60.192	22.000	38.192	40.081	40.081	65	26.678	11.000	15.678	26.211	26.211	42	
KWG	60.192	23.000	37.192	39.032	39.032	63	26.678	11.500	15.178	25.375	25.375	41	
Richter	60.485	27.218	33.267	34.913	34.913	55	61.230	29.375	31.855	35.682	35.682	57	
Summe HWV:					739.056	86	Summe HWV:					587.396	68

Tab.2 Berechnung der Heizwärmeverbräuche aus den Gesamt-Gasverbräuchen in 1996-99

In Tabelle 3 sind die berechneten spezifischen Heizwärmeverbräuche als Jahressummen zusammengestellt. Aus dieser Tabelle gehen als Ergebnis die Siedlungsmittelwerte hervor.

Aus der untersten Zeile mit den flächengewichteten Mittelwerten der einzelnen Jahre ist zunächst deutlich erkennbar, daß der Heizwärmeverbrauch der gesamten Siedlung zwischen dem Bezugsjahr 1996 und dem letzten ausgewerteten Jahr 1999 von 100 kWh/m²*a auf 68 kWh/m²*a um 32 Prozent zurückgegangen ist. Der stark überhöhte Verbrauch im Jahr 1996 und der noch etwas überhöhte Verbrauch im Jahr 1997 und 1998 dürfte Folge der bei Massivbauten üblichen anfangs verstärkten Lüftungswärmeverluste wegen des Trockenheizens sein sowie auch Folge der erst allmählichen Eingewöhnung der Bewohner in die in Niedrigenergie-Häusern angemessenen Heiz- und Lüftungsgewohnheiten. Einige Häuser waren auch in der ersten Heizperiode noch nicht fertiggestellt, sodaß hier im ersten Heizjahr im Gasverbrauch auch noch die Beheizung der (Winter-) Baustelle enthalten ist. Eventuell hat sich auch die Ende 1998 bis Anfang 1999 erfolgte Nachregulierung vieler Lüftungsanlagen noch verbrauchssenkend ausgewirkt, die vom NEI im Rahmen eines separaten Forschungsprojekts erfolgte.

Gebäude	Art	1996	1997	1998	1999
		Jährlicher N-HWV kWh/m ²			
Beyaz/Cevik	3 FH	0	114	114	88
Hellmann	8 FH	114	59	59	70
Quest	5 FH	148	92	85	54
Hageresch	6 FH	0	188	80	60
Triebel	7 FH	218	89	79	64
Lünstedt	EFH	225	43	51	45
Schäfer	EFH	160	104	93	75
Otters	EFH	128	97	103	85
Schröder	2 FH	157	117	126	159
Sawatzky	EFH	127	91	86	84
Wächtler	EFH	82	74	76	74
Möller	EFH	105	73	69	63
Didier	EFH	98	57	50	28
Wissmann	EFH	111	111	125	103
Kröger	EFH	97	85	88	69
Günter	EFH	0	105	135	125
Dähne	EFH	64	54	64	65
Willbrandt	2 FH	91	85	88	88
Kordes	EFH	172	130	116	107
Wilms	EFH	0	152	155	116
Bresser	EFH	231	108	131	97
Pirog	EFH	72	67	69	52
Wellenkötter	2 FH	136	133	135	120
Speckmann	8 FH	91	107	118	72
Junge-Wentrup	14 FH	79	93	92	61
KWG	8 FH	87	94	65	42
KWG	8 FH	93	93	63	41
Richter	9 FH	79	47	55	57
Mittelwerte		100	90	86	68

An dem Siedlungs-Jahreswert von 1999 ist nun erkennbar, daß im dritten Wohnjahr die angestrebte Obergrenze des Heizwärmeverbrauchs von 70 kWh/m²*a für Niedrigenergie-Häuser erreicht bzw. mit 68 kWh/m²*a geringfügig unterschritten wurde. Ob dieser bisher niedrigste Jahreswert auf Dauer erhalten bleiben wird, bleibt abzuwarten.

Bild 4 zeigt die 1999er Werte des Heizwärmeverbrauchs aller gebäude in sortierter Reihenfolge und gegliedert nach den beiden Gebäudearten EFH und MFH. Weiterhin ist die SOLL-Linie eingezeichnet. Im Vergleich der Gebäude ist an den Ergebnissen deutlich ablesbar, daß die individuelle Spanne der Einzelverbräuche in jedem Jahr sehr groß ist, so z.B. in 1999 zwischen 28 und 159 kWh/m²*a bei den Ein- und Zweifamilienhäusern und zwischen 41 und 72 kWh/m²*a bei den Mehrfamilienhäusern. Während das EFH mit dem höchsten spezifischen Verbrauch 253 % mehr Heizwärme verbraucht, als das sparsamste EFH, verbraucht das MFH mit dem höchsten spezifischen Verbrauch 75 % mehr Heizwärme als das sparsamste MFH. Dies wirft die Frage auf, ob besondere Gründe die Ausreißer erklärbar machen.

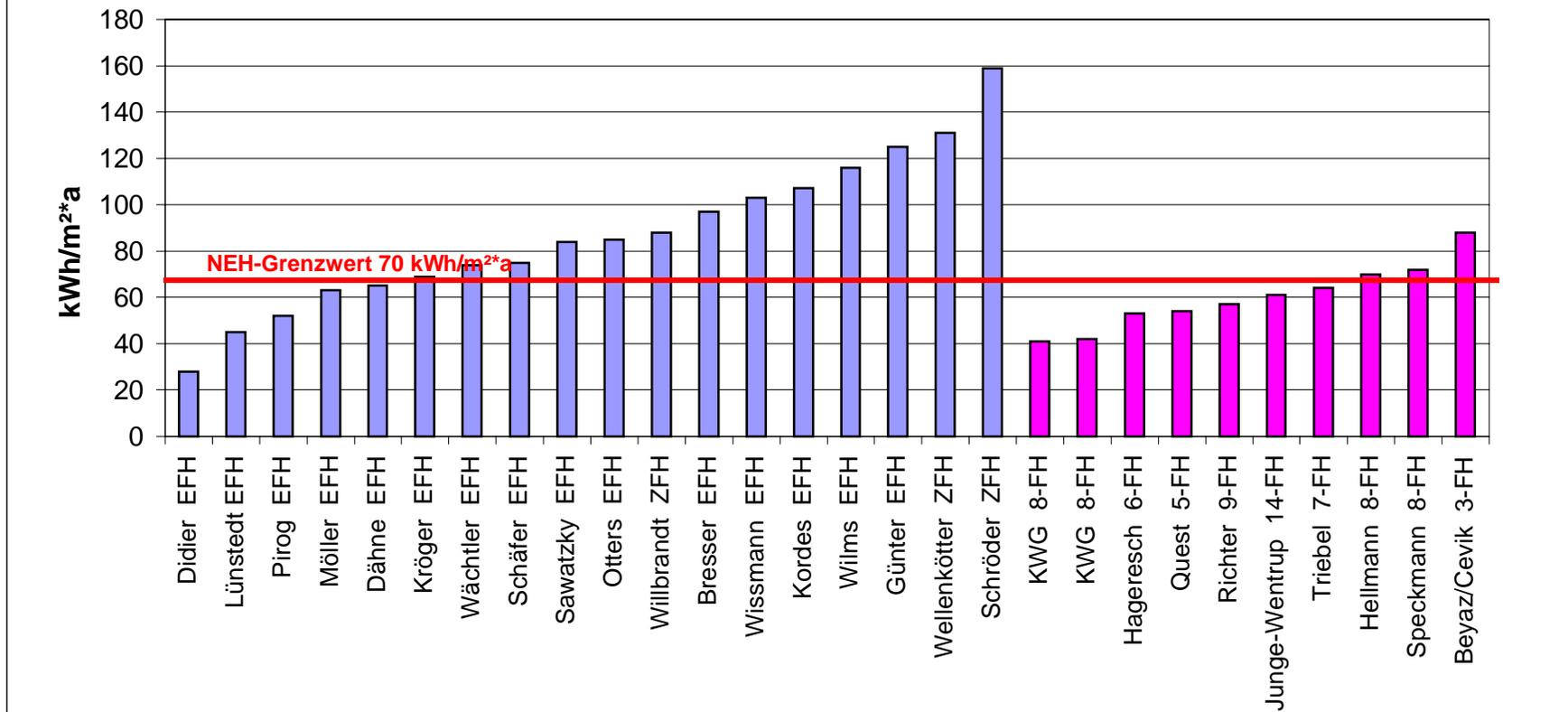
Tab.3 Jahressummen Heizwärmeverbräuche 1996-1999

NEI, Detmold 17-03-82a.xls

Aus der zurückliegenden Begleitung der Planung und Bauausführung der Objekte sowie aus den Erkenntnissen des späteren Forschungsprojekts zur Effizienzermittlung der installierten Lüftungsanlagen sind zumindest in einigen Fällen Erklärungen verfügbar.

In dem EFH mit den höchsten Einzelverbräuchen sind alle Kellerräume als unbeheizt deklariert und wurden daher weder gegen Außenluft noch gegen Erdreich oder Sohlplatte NEH-gerecht wärme gedämmt. Die thermische Abgrenzung des beheizten Gebäudekerns endet unterseitig mit der Kellerdecke und den

Heizwärmeverbräuche von Niedrigenergiehäusern in Werther 1999



Tab 4: Nach Höhe geordnete Heizwärmeverbräuche 1999

Umfassungsflächen des Kellerabgangs. Die „unbeheizten“ Kellerräume wurden aber zum erheblichen Teil mit großen Fenstern und großflächigen Heizkörpern ausgestattet und werden vermutlich regelmäßig beheizt. Der dadurch verursachte stark erhöhte Wärmeabfluß aus dem Kellerbereich ist auf der Thermographie eines vergleichbaren Hauses auf der Titelseite vorstellbar. In diesem Haus wurde auch bis zur Schlußabnahme durch das NEI keine funktionsfähige Lüftungsanlage installiert; insofern treten evtl. zusätzlich überhöhte Lüftungswärmeverluste auf.

Bei den beiden EFH mit den nächsthohen Heizwärmeverbräuchen sind dagegen nur geringe bauliche Mängel bekannt und auch Bewohner vorhanden, die an energetischen Fragen und richtigem Umgang mit der Lüftungstechnik stets interessiert waren. Eventuell werden hier inzwischen auch ehemals als unbeheizt geplante und mangelhaft gedämmte Kellerräume regelmäßig beheizt oder treten höhere Warmwasserverbräuche auf, als in der hiesigen Berechnung angenommen.

Bei dem MFH mit dem höchsten Heizwärmeverbrauch waren ebenfalls nahezu keine Bau- oder Luftdichtemängel bekannt geworden. Allerdings stellte sich nachträglich heraus, daß die eingebauten Aluminiumfenster nicht der Rahmengruppe 1 sondern der Gruppe 2.1 angehören, was den k_f -Wert von deklarierten 1,4 auf 1,8 W/m²K und den gesamten Heizwärmebedarf um etwa 12 % erhöht. Auch hatte die recht aufwendig geplante Lüftungsanlage, wie sich bei einer Nachuntersuchung Anfang 1999 herausstellte, erhebliche Funktionsstörungen und war teilweise falsch installiert. Insofern dürften gleichermaßen höhere Transmissionswärmeverluste wie auch überhöhte Lüftungswärmeverluste hier eine Rolle spielen. Ob dieser Mangel der Lüftungsanlage inzwischen behoben ist, ist nicht bekannt. Ein überhöhter Warmwasserverbrauch kommt in diesem Objekt nicht als Ursache infrage, da diese Verbräuche hier gemessen werden und insofern in ihrer Höhe sicher bekannt sind.

Bemerkenswert ist auch der aus den Daten erkennbare starke Rückgang der Heizenergieverbräuche bei den beiden fast baugleichen Mehrfamilien-Mietwohnbauten der KWG zwischen 1996 und 1999. Der anfangs deutlich überhöhte Energieverbrauch der ersten Jahre hatte hier zunächst zu Unzufriedenheiten der Bewohner geführt. Möglicherweise war er auf den Anfangsaufwand des Trockenheizens und auf die schwierigere Umgewöhnung der dortigen Mieterklientel mit hohem Ausländer- bzw. Spätumsiedleranteil auf die Niedrigenergie-Bauweise und Lüftungstechnik zurückzuführen. Die ausführlichen Einweisungen der oft älteren Mieter in diese Technik bei der Vermessung und Einregulierung Anfang 1999 kann hier hilfreich gewesen sein.

Insgesamt zeigt die Auswertung der tatsächlichen Verbräuche jedenfalls, daß die gesteckten Ziele erreicht werden konnten und daß dort, wo sie nicht erreicht werden, meist nachvollziehbare Gründe für überhöhte Verbräuche vorliegen, die nicht in Mängeln der Niedrigenergie-Bauweise, sondern in unbedachtem Umgang mit Wärme außerhalb der durch die Niedrigenergie-Bauweise definierten Bereiche ihre Ursache haben.

Die Auswertung zeigt indirekt auch, daß aktive Maßnahmen zur Qualitätssicherung der energetischen Planung und Bauausführung, die hier als Nebenleistung der wissenschaftlichen Begleituntersuchung vom Detmolder Niedrig-Energie-Institut vorgenommen wurden, deutlich erkennbare Ergebnisse haben. Die Teilmenge der Gebäude mit den sehr niedrigen Verbräuchen überschneidet sich zum hohen Anteil mit der Teilmenge der Häuser mit Architekten, Bauträgern und Investoren, die im Rahmen des Forschungsvorhabens intensiv sowohl während der Planungs- als auch während der Bauphase betreut worden waren und dadurch in der Regel offener für Anregungen zur Verbesserung ihrer ursprünglichen Gebäudeentwürfe, Detailplanungen und evtl. Fehler bei der Bauausführung waren. Bei den Gebäuden mit höheren Verbräuchen finden sich dagegen besonders viele derer wieder, die im Rahmen des Forschungsprojekts zwar auch in der Planungsphase, nicht aber in der Bauphase intensiv begleitet wurden und bei denen auch keine Luftdichtheitsmessung stattfand.

Anlagen

1. Auszüge aus den Grundstücksverkaufsverträgen der Stadt Werther betreffend Niedrigenergie-Bauweise und "Detmolder Niedrigenergie-Haus-Standard"
2. Angaben und Nachweise zur Einhaltung des Niedrigenergie-Haus-Standards (Anlage 4 zum Grundstückskaufvertrag)
3. Literatur zu Niedrigenergie-Häusern

Anlage 1

Auszug aus den Grundstücksverkaufsverträgen der Stadt Werther betreffend Niedrigenergie-Bauweise

"§ 5

1) Der Käufer (...) verpflichtet sich,

(...)

c) das auf dem Grundstück zu errichtende Gebäude entsprechend dem Detmolder Niedrig-Energie-Haus-Standard zu bauen und die dafür erforderlichen Angaben und Nachweise entsprechend der Erläuterung "Angaben und Nachweise zur Einhaltung des Niedrig-Energie-Haus-Standards" innerhalb der dort genannten Fristen zu erbringen.

Der Käufer ist damit einverstanden, daß das Niedrig-Energie-Institut (NEI) (...) im Rahmen eines Forschungsprojektes des Ministeriums für Wissenschaft und Forschung NRW den Bau des Niedrig-Energie-Hauses dokumentiert und die Einhaltung der Auflagen überprüft. Er wird dem NEI alle dazu erforderlichen Angaben machen oder zukommen lassen. Er stimmt insbesondere zu, daß

- Mitarbeiter des NEI während der Bauzeit jederzeit die Baustelle (auf eigene Gefahr) betreten und den Baufortschritt insgesamt sowie im Detail durch Aufzeichnungen, Messungen, Filme oder Fotografien dokumentieren dürfen.,
- das NEI zu einem vom Baufortschritt her geeigneten Zeitpunkt eine örtliche Winddichtemessung an dem Neubau durchführt, und
- das NEI alle Unterlagen des Bauantrags sowie alle zusätzlichen Unterlagen und Nachweise, die für den Nachweis des Neidrig-Energie-Standards erforderlich sind, auswerten und publizieren darf.

Es ist unzulässig, nach Fertigstellung des Gebäudes den Niedrig-Energie-Standard ohne Zustimmung der Stadt Werther (Westf.) zu verändern.

(...)

2) Sollte der Käufer den Verpflichtungen gemäß Ziff. 1a, b oder c nicht nachkommen, hat er auf Verlangen der Stadt Werther (Westf.) das Grundstück kostenfrei auf diese zurückzuübereignen gegen Erstattung des geleisteten Kaufpreises einschließlich gezahlter Beiträge, wobei eine Verzinsung nicht erfolgt. Der Käufer ist verpflichtet, das unbebaute Grundstück auf seine Kosten in seinen bei Erwerb vorhanden gewesenen Zustand zu versetzen. Für den Fall, daß der Käufer bereits mit der Baumaßnahme begonnen hat, leistet die Stadt Werther (Westf.) Wertersatz in Höhe des Mehrerlöses, den sie bei der Weiterveräußerung des Grundstücks aufgrund der vorhandenen Baumaßnahmen erzielt hat, und zwar nach Abzug eigener Aufwendungen, die bei der Weiterveräußerung entstanden sind.

(...)

3) Für den Fall eines Verstoßes gegen Ziff. 1 c und 1 d wird zudem jeweils eine Vertragsstrafe vereinbart.

Der Käufer verpflichtet sich, an die Stadt Werther (Westf.) einen Betrag von DM 15.000,00 zu zahlen, wenn das Haus nicht als Niedrig-Energie-Haus nach dem Detmolder Modell gebaut wird.

(...)

§ 9

Der Detmolder Niedrig-Energie-Haus-Standard ist in der Anlage 1 der Urkunde vom ... (Urkundenrolle Nr: ... des amtierenden Notars) beschrieben; die erforderlichen Angaben und Nachweise sind in der Anlage 2 der Urkunde vom ... (Urkundenrolle Nr: ... des amtierenden Notars) aufgeführt."

Niedrigenergie-Haus-Standard

Detmolder Rechenverfahren

Hoher Wärmeschutz der Hüllfläche

Außenwände	k-Wert < 0,20 W/m²*K
Dach oder oberste Geschosßdecke	k-Wert < 0,15 W/m²*K
Decken oder Wände zu Erde oder unbeheizten Räumen	k-Wert < 0,30 W/m²*K
Fenster, Außentüren und Türen zu unbeheizten Räumen	k-Wert < 1,50 W/m²*K

Wärmeleistungsbedarf

Wärmeleistungsbedarf nach DIN 4701
oder nach Hüllflächenverfahren zzgl.
Lüftungswärmebedarf

25 - 40 W/m²

Wärmebrückenfreie Konstruktion

insbesondere an Übergängen zwischen Keller-, Wand- und Dachdämmung sowie an Fenstern und Türen.

Lüftung

Kontrollierte mechanische Be- und Entlüftung. Auslegung auf 0,3-fachen bis 0,8-fachen Luftwechsel pro Stunde je nach Gebäudetyp, Jahres- und Tageszeit. Ventilatoren mit geringem Stromverbrauch. Bei Anlagen mit Abluft-Wärmerückgewinnung darf der Stromverbrauch im Jahresmittel nicht höher als 20 % des Wärmegewins sein.

Gebäudehülle

Luftdichte Ausführung, insbesondere im Dachbereich. Bei 50 Pascal Unterdruck muß der Luftwechsel in Gebäuden mit Abluftanlage ohne Wärmerückgewinnung ≤ 150 % und in Gebäuden mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ≤ 100 % des Luftvolumens der beheizten Räume pro Stunde sein. Messung vor Fertigstellung des Innenausbaus bzw. Verkleidung der winddichtenden Ebenen.

Heizung:

Schnell regelbares effizientes Niedertemperatur-System mit Brauchwassererwärmung. Jahresnutzungsgrad Kessel > 85 %. Verfügbare Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (Blockheizkraftwerk) soll genutzt werden. Keine elektrische Widerstandsheizung.

Sanitärinstallation:

Kurze Leitungswege und sehr gute Rohrinsolation. Warmwasseranschlüsse für Wasch- und Spülmaschine. Einbaumöglichkeit für Solaranlage vorsehen.

Erläuterung: Von den einzelnen k-Wert Vorgaben dieses Standards kann bis zu 10 % abgewichen werden, wenn die dadurch bewirkten Effekte an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden, und das Ziel des geringen Heizenergieverbrauchs insgesamt erreicht wird.

Auskünfte über Detailanforderungen und Methoden zur Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs gibt das Niedrig-Energie-Institut, Rosental 21, 32756 Detmold, Tel. 05231-390 747, Fax: 390 749.

Anlage 2

Anlage 4 des Grundstücksverkaufsvertrages der Stadt Werther betreffend Angaben und Nachweise zur Einhaltung des Niedrigenergie-Haus-Standards

"1. Einzureichende Planunterlagen:

- bemaßte Grundrißzeichnungen aller Etagen (auch Keller und Dachboden) im Maßstab 1:100 oder 1:50
- Ansichtszeichnungen aller Ansichten im Maßstab 1:100 oder 1:50
- bemaßte Schnitte für alle Ebenen, die zum Erkennen der Baukonstruktion erforderlich sind
- Lageplan mit Gebäudeumriß EG und Nordpfeil
- Lüftungsplan im Maßstab 1:100 oder 1:50 mit Zu- und Abluftinstallationen, ggf. Luftkanälen, Überströmöffnungen zwischen Räumen oder Etagen, Schalldämpf-, Brandschutz und Regeleinrichtungen mit Angabe der Dimensionierung und der Materialien (z.B. in Grundrisse und Schnitte farbig einzeichnen)
- Verlegeplan der Warmwasserinstallation (z.B. in Grundrisse und Schnitte farbig einzeichnen)

2. Detailzeichnungen

- a) Schnittzeichnungen des Schichtaufbaus aller unterschiedlich konstruierter Hüllflächen-Komponenten im Maßstab 1:10 mit Maßen, genauen Materialangaben (siehe unten) und zugehörigen k-Wert-Berechnungen. Hüllflächen-Komponenten können z.B. sein:
- normale Außenwand gegen Außenluft
 - Außenwand im Bereich einer Heizkörpernische
 - Außenwand im Brüstungs- oder Sturzbereich oder bei Ringankern
 - Außenwand eines Erkers
 - Außenwand gegen Erdreich
 - Seitenwand einer Dachgaube
 - Trennwand beheizter zu unbeheiztem Raum (z.B. Treppenhauswand im Keller- oder Dachbodenbereich)
 - Schrägdach, Flachdach oder Kehlbalkendecke (mit Sparrenmaßen und Abständen)
 - Dach über Gaube oder Erker
 - EG-Decke gegen Keller
 - Kellerdecke gegen Erdreich
 - auskragende Decke über Terrasse oder eingebauter Garage oder unter Erker
- b) Detailzeichnungen von Anschlußpunkten mit evtl. Wärmebrücken im Maßstab 1:10, genauen Materialangaben und Angabe der Lage ggf. vorhandener dampf-, wind- oder wassersperrender Schichten oder anderer Dichtungen. Solche besonderen Anschlußpunkte können z.B. sein:
- Übergänge zwischen Erdreich, Fundamenten, unterster Geschoßdecke und aufstehenden Wänden bei nicht unterkellerten Gebäuden oder Gebäuden mit beheizten Räumen im Keller
 - Übergänge zwischen Kelleraußen- und Innenwänden sowie EG-Decke und aufstehenden EG-Außen- und Innenwänden bei unterkellerten Gebäuden mit unbeheizten Kellern
 - Seitliche, untere und obere Anschlüsse von Fenstern und Außentüren sowie von Fenstern und Türen zwischen beheizten und unbeheizten Räumen einschließlich Dachbodentreppen. Falls Rolläden, Außen- oder Innenschiebeläden vorhanden, ebenfalls deren Anschlüsse und Schnitte
 - Übergänge von Außenwand zu Schräg- oder Flachdach
 - Übergänge von Schrägdach zu gedämmten Kehlbalkendecken
 - Übergänge von Schrägdach/Flachdach/Kehlbalkendecke zu Giebelwand und angeschlossenen oder durchgehenden Innenwänden
 - Durchdringungen von Schrägdach/Flachdach/Kehlbalkendecke durch Kamine, Entlüftungsrohre, Steigleitungen, etc.

3. Materialangaben

- bei Mauerwerk: Steinart, Rohdichte, Wärmedurchlaßwiderstand.
- bei Innen- und Außenputzen: Putzart (Zusammensetzung), Rohdichte, Wärmedurchlaßwiderstand, Dicke.
- bei massiven Decken zwischen beheizten und unbeheizten Räumen: Materialien, Rohdichten, Schichtdicken, Wärmedurchlaßwiderstände.

- bei Trockenestrichaufbauten: Holzanteile in den Lager- und Abstands-Balken-Ebenen.
 - bei Dämmstoffen: Material, Wärmeleitfähigkeitsgruppe, hygroskopische Eigenschaften (Imprägnierung/Zulassung als Kerndämmstoff), Angabe, ob ein- oder mehrschichtig verlegt.
 - bei Verklinkerung: Angabe über Material, Rohdichte, Wärmedurchlaßwiderstand, Wasser-Saugfähigkeit und Dampfdiffusions-Widerstand (nur bei zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung).
 - bei Dampfbremsen und Dampfsperren: Material, Dampfdiffusions-Widerstand, Schichtdicke, Verbindungstechnik (richtige Kleber bzw. Dichtbänder!).
 - bei Unterdächern und Unterspannbahnen: Material, Dampfdiffusions-Widerstand, Schichtdicke, bei Holzwerkstoffen auch Wärmedurchlaßwiderstand.
 - bei Fenstern und Fenstertüren: k- und g-Werte der Gläser, Material und k-Werte der Rahmen. Rahmenanteile, bezogen auf Rohbaumaß oder mittlerer k-Wert der gesamten Fenster oder Fenstertüren, bezogen auf Rohbaumaß lt. Herstellerangabe.
 - bei Außentüren: Aufbau, Material, mittlerer k-Wert (bezogen auf Rohbaumaß).
 - bei Dachluken: Aufbau, Material, mittlerer k-Wert.
- Bei allen Materialien möglichst auch Hersteller- und Produktbezeichnungen.

4. Rechnerischer Nachweis für den Wärmeleistungsbedarf:

Als Nachweis für den vorgegebenen spezifischen Wärmeleistungsbedarf von 25-40 W/m² wird neben dem DIN-Rechengang auch ein vereinfachtes Hüllflächenverfahren zzgl. Lüftungswärmebedarf anerkannt. Bei diesem Verfahren werden der Transmissions-Wärmebedarf der Hüllfläche mit dem Lüftungswärmebedarf zum Gesamtwärmebedarf addiert und durch die beheizte Wohnfläche zum spezifischen Wärmeleistungsbedarf in Watt/m² dividiert. Als Zielwert muß 25-40 W/m² erreicht werden. Das Rechenverfahren geht wie folgt:

Zunächst wird die Hüllfläche um das beheizte Gebäudevolumen herum ermittelt. Für die Flächenermittlung sind dabei stets die Außenkanten der wärmedämmenden Hülle heranzuziehen. Für die Teilflächen wird anhand ihrer Fläche, ihres k-Werts und der Temperaturdifferenz zu ihrer jeweiligen Umgebung die zum Auslegungszeitpunkt maximal abfließende Wärmeleistung ermittelt. Teilflächen mit gleichem Schichtaufbau, die gegen identische Umgebungen (Außenluft, Erdreich oder unbeheizter Raum) abgrenzen, werden zusammengezählt. Die Summe der Wärmeleistungen aller Teile der Hüllfläche ergibt den Transmissionswärmeverlust bzw. den zu dessen Ausgleich erforderlichen Wärmebedarf zum Auslegungszeitpunkt.

Die Temperaturdifferenz zum Auslegungszeitpunkt zwischen beheizten Räumen und Außenluft ist mit 32 K (innen +20°C, außen -12°C) vorgegeben, dieser Wert gilt auch zwischen beheizten Räumen und durchlüfteten Spitzböden oder ein- oder angebauten Garagen. Die Temperaturdifferenz zwischen beheizten Räumen und Erdreich oder unbeheizten, nicht luftdurchströmten Räumen ist mit 13 K (innen +20°C, Erde/Keller +7°C) vorgegeben.

Die folgende Tabelle zeigt eine beispielhafte Summenberechnung. Der Transmissions-Wärmeverlust bzw. der zum Ausgleich erforderliche Wärmeleistungsbedarf beträgt hier 3293 W bzw. 3,29 kW.

Teilflächen der Gebäudehülle	Fläche (m ²)	k-Wert (W/m ² K)	Temp Diff (K)	Wärme-Leistung (W)
Außenwand gg. Außenluft	100	0,200	32	640
Außenwand (Hzg-Nische)	10	0,200	32	64
Gaube-Seitenwand(=Außenw.)	10	0,200	32	64
Schrägdach	100	0,150	32	480
Gaube-Dächer	20	0,150	32	96
Kehlbalkendecke zu Spitzbod.	20	0,150	32	96
Erker-Dach	6	0,150	32	29
Auskrag.Decke über Terasse	10	0,150	32	48
Fenster	20	1,500	32	960
Außentüren	4	1,500	32	192
Türen zu unbeheizten Räumen	2	1,500	13	39
Decke EG gg. unbeheizt. Keller	80	0,300	13	312
Außenwand gg. Erdreich	20	0,300	13	78
Kellerdecke gg. Erdreich	12	0,300	13	39
Trennwand gg. unbeheizt. Raum	40	0,300	13	156
Hüllfläche insg.	568	—	—	3293 W

Die Lüftungswärmeverluste werden aus dem tatsächlichen Innenvolumen des beheizten Gebäudekörpers, der vorgegebenen Luftwechselrate, der Temperaturdifferenz zwischen Innenluft und Außenluft und dem spezifischen Energiegehalt der Luft berechnet.

Das Luftvolumen der beheizten Räume ergibt sich aus Wohnflächen und Raumhöhen. Als beheizte Räume zählen hierbei alle Volumina innerhalb der dämmenden Hülle, egal, ob sie nach üblicher Wohnflächenberechnung als Wohnfläche gelten oder nicht. Als Luftwechselrate sind für die Berechnung vorgegeben:

- bei Gebäuden/Wohnungen mit über 40 m² Wohnfläche/Kopf 0,3 /h
- bei Gebäuden/Wohnungen mit 30-40 m² Wohnfläche/Kopf 0,5 /h
- bei Gebäuden/Wohnungen mit unter 30 m² Wohnfläche/Kopf 0,8 /h.

Die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft ist mit 32 Kelvin vorgegeben. Der spezifische Energiegehalt von Luft beträgt 0,34 Wh/m³*K. In der folgenden Beispielrechnung ist ein Gebäude mit 135 m² Wohnfläche, 2,5 m Raumhöhe und 0,5/h Luftwechselrate dargestellt:

$$\begin{array}{ccccccc} 135 \text{ m}^2 & * & 2,5 \text{ m} & * & 0,5/\text{h} & * & 32 \text{ K} & * & 0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K} & = & 1728 \text{ W} \\ \text{WFI} & & \text{Höhe} & & \text{LWRate} & & \text{Temp-Diff} & & \text{Energiegehalt Luft} & & \text{Lüftungswärmebedarf} \end{array}$$

Der gesamte Wärmeleistungsbedarf ist die Summe von Transmissions- und Lüftungswärmebedarf, hier also 3293 W + 1728 W = 5021 W. Der spezifische Wärmeleistungsbedarf pro Quadratmeter Wohnfläche beträgt bei angenommenen 135 m² Wohnfläche hier 5021 W / 135 m² = 37,19 W/m² und liegt damit im zulässigen Bereich von 25-40 W/m² des Detmolder Niedrigenergie-Haus-Standards.

Um die Berechnung nachvollziehbar und prüfbar zu machen, ist es sinnvoll, die Berechnung und Addition der Teilflächen und Teilvolumina in einer übersichtlichen Tabelle anzulegen und den Teilflächen und Volumina Namen oder Nummern zuzuordnen, die anhand der Baupläne nachvollziehbar sind oder besser sogar in den Bauplänen eingezeichnet sind. Auf Wunsch kann eine für diese Berechnungen vorstrukturierte Tabellenkalkulation für die PC-Software Multiplan 3.0 zur Verfügung gestellt werden.

5. Nachweis für die Auslegung der Lüftungsanlage

An die Lüftungsanlage wird die Mindestanforderung gestellt, daß durch die Ventilatoren das gesamte Luftvolumen der beheizten Räume (siehe oben) bei Windstille mit Luftwechselraten in der Regelbandbreite von 0,3/h bis 0,8/h durchströmt werden muß. Nicht vorgegeben ist, ob die Lüftungsanlage mit dezentralen oder zentralen Ventilatoren ausgerüstet wird. Auch die Entscheidung, ob eine Abluftwärmerückgewinnung eingebaut wird oder nicht, ist freigestellt. Die Mindestaustattung ist eine reine Entlüftungsanlage mit dezentralen Abluftventilatoren in den Abluft- bzw. Feuchträumen (Küche und Bad/Bädern/Duschen/ggf. beheizter Hauswirtschaftsraum) sowie Zuluftöffnungen in den Frischlufräumen (Wohn-, Eß-, Arbeits-, Schlaf- und Kinderzimmern).

Als Nachweise werden verlangt,

- daß die Abluft aus den Ablufträumen mit für Dauerbetrieb geeigneten dezentralen oder zentralen Abluftventilatoren abgesaugt werden kann,
- daß die Frischluft in die Zulufräumen durch raumweise regelbare Zuluftöffnungen mit geeigneten Querschnitten nachströmen kann,
- daß zwischen Zu- und Ablufträumen auch bei geschlossenen Türen geeignete Strömungswege für die Luft vorhanden sind,
- daß die Leistung der installierten und für Dauerbetrieb geeigneten Ventilatoren die erforderliche Durchströmung ermöglicht,
- und daß evtl. Brandschutzaufgaben sowie sonstige evtl. gegebene baurechtliche Anforderungen eingehalten sind.

Um den gewünschten Komforteffekt und Energiespareffekt zu erreichen, wird allerdings dringend empfohlen, über diese formalen Mindestanforderungen hinaus auch Kriterien des Schallschutzes, der Unabhängigkeit von Richtung und Stärke des Außenwinds, der Wartungsfreundlichkeit, des geringen Stromverbrauchs sowie einer guten Regeltechnik einzuplanen.

6. Nachweise für Heizungs- und Sanitärinstallation

Die Anforderungen an die Wärmeerzeuger sind im Niedrigenergie-Haus-Standard beschrieben. Bei der Wärmeverteilung ist zu beachten, daß eine ausschließliche oder überwiegende Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung kein schnell regelbares und effizientes System im Sinne des Niedrigenergie-Haus-Standards ist und insofern die Anforderungen nicht erfüllt. Fußbodenheizungen nur im Feuchtraumbereich werden jedoch akzeptiert, wenn für die Schnellaufheizung in den Übergangsjahreszeiten auch ein Konvektor installiert ist.

Bei der Sanitärinstallation sollte das Gebot der kurzen Leitungswege und guten Rohrisolation sowohl aus Energiespar- als auch aus hygienischen Gründen (Legionellen-Vorsorge) beachtet werden. Bei der Platzierung der Speicher sollte bedacht werden, daß diese nahe den häufigst genutzten Zapfstellen und nicht nahe dem

Heizkessel stehen sollten. Energieverluste und hygienische Probleme treten nicht in der Speicherladeleitung zwischen Kessel und Speicher, sondern nur in den Zapfleitungen zwischen Speicher und Zapfstellen auf.

7. Nachweis für die Winddichtigkeit

Das Maß der zu erreichenden Winddichtigkeit ist eine Luftwechselrate von weniger als 3 /h bei einem mittels einer Abpumpanlage künstlich hergestellten Unterdruck im Gebäude von 50 Pascal. Der Nachweis erfolgt durch empirische Messung mit einer Minneapolis Blower-Door, sobald der Ausbau soweit fortgeschritten ist, daß alle winddichtenden Ebenen im Dach, Wand-, Fenster- und Türbereich sowie bei den Installationen fertiggestellt sind. Um bei evtl. erheblichen Undichtigkeiten noch mit geringem Aufwand nachbessern zu können, wird empfohlen, Verkleidungen vor winddichtenden Ebenen (z.B. Rigips vor der Wind- und Dampfsperffolie im Dach oder Bodenbelag auf dem Estrich) noch nicht vor der Messung zu montieren. Vielmehr sollte ein für die Winddichtemessung geeigneter Bauzwischenzustand im Bauzeitenplan sorgfältig eingeplant werden.

Angesichts der noch fehlenden oder erst geringen Erfahrungen der örtlichen Bauwirtschaft in Werther und Umgebung mit der praktischen Umsetzung von Winddichte-Anforderungen ist die Winddichtigkeit kein hartes Prüfkriterium (Muß), sondern eine Soll-Anforderung. Es wird allerdings erwartet, daß festgestellte Leckagen, besonders bei für Bauschäden empfindlichen Bauteilen nach der Messung weitestgehend nachgebessert werden.

Die erste Winddichte-Messung ist für Bauleute kostenlos. Weitere Messungen (z.B.auf Wunsch der Bauleute) durch das NEI können nur gegen Kostenerstattung erfolgen. Es wird empfohlen, die Anforderung winddichter Ausführung von Details in Ausschreibungstexte und Gewährleistungsbedingungen aufzunehmen, vor allem bei im Fenster- und Türenbau, im Estrich- und Dachausbau tätigen Gewerken.

8. Angabe von Baukosten und der Mehrkosten

Die Baukosten für das reine Bauwerk und die am Bauwerk für die Ausführung als Niedrigenergie-Haus gegenüber üblicher Ausführung entstandenen Mehrkosten sind anzugeben. Diese sind zu untergliedern in jene für

- zusätzliche Dämmung der Außenwände
- zusätzliche Dämmung des Daches bzw. der Dächer,
- zusätzliche Dämmung der Bodenplatte bzw. EG-Decke
- zusätzliche Dämmung der Trennwände zu Erdreich oder zu unbeheizten Räumen
- zusätzliche Dämmung bzw. verbesserter Standard der Fenster, Fenstertüren und anderen Außentüren
- die Lüftungsanlage.

Entstandene Minderkosten für die kleinere Auslegung der Heizungsanlage sollen angegeben werden. Die Aufstellung kann zusätzlich Kostenangaben für das Grundstück, die Erschließung, die Außenanlagen und die Planung enthalten.

9. Angabe der tatsächlichen Verbräuche

Die tatsächlichen Verbräuche für Gas, Öl, Strom, Kalt- und Warmwasser sind von den Eigentümern oder Mietern der Häuser oder Wohnungen in den ersten drei Abrechnungsjahren nach dem Erstbezug anzugeben. Sofern die Stromverbräuche der Lüftung oder die Energieverbräuche der Warmwasserbereitung separat erfaßt werden, sollen auch diese Angaben mitgeteilt werden. Für die Strom-, Gas- und Kaltwasserverbräuche kann anstelle von Verbrauchsmitteilungen auch dem Niedrig-Energie-Institut eine Vollmacht erteilt werden, daß das Niedrig-Energie-Institut diese bei den jeweiligen Versorgungs- oder Abrechnungsunternehmen anfordern kann.

10. Nachweisfristen

Die Angaben und Nachweise sind zu folgenden Zeitpunkten zu erbringen:

- (1)-(4) zum Baubeginn,
- (5)-(6) drei Monate nach Baubeginn,
- (7) zu einem geeigneten Zeitpunkt (Vgl. Punkt 7),
- (8) drei Monate nach Bezug,
- (9) jeweils zum 15.2. des Folgejahres.

Anlage 3

Literatur zu Niedrigenergie-Häusern

a) Einführung

„**Niedrigenergiehäuser in der Praxis**“, Autoren: H.Scharping, G.Heitmann, K.Michael, Hrg.: BINE 7/1997, ca. 120 Seiten, 25 DM (gute Übersicht zu Planungs- und Bauaspekten mit Beispielen gebauter Häuser).

„**Niedrigenergiehäuser**“ (Nr.3 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrg.: Hess.Umweltministerium 3/1995, 20 Seiten, bei Einzelbestellung kostenlos, (illustrierte Einführung in das Thema mit vielen Detailhinweisen).

„**Niedrigenergiehäuser**“ Hrg.: NRW-Bauministerium, 1/1995, Faltblatt, 19 Seiten, kostenlos (illustrierte Einführung in das Thema für Bauleute, Inhalt ähnlich wie o.g.Hess.Broschüre).

„**Niedrigenergiehäuser**“, Hrg.: Stadtwerke Hannover, 4/1996, 26 Seiten, kostenlos (gute illustrierte Einführung in das Thema mit vielen Detailhinweisen).

„**Wärmedämmung von Außenwänden mit dem Wärmedämmverbundsystem (Thermohaut)**“ (Nr.2 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrg.: Hess.Umweltministerium, ca 16 S., bei Einzelbestellung kostenlos, (Einführung in Konstruktion und Detailfragen von Thermohäuten aus PS und Mineralwolle mit Dimensionierungshinweisen).

„**Wärmedämmung von geneigten Dächern**“ (Nr.6 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrg.: Hess. Umweltministerium 11/1994, 12 Seiten, bei Einzelbestellung kostenlos, (technische Kurzbeschreibung verschiedener Dämmmethoden bei Flach- und Schrägdach und nachträglicher Dämmung von außen).

„**Wärmedämmung von Außenwänden mit der hinterlüfteten Fassade**“ (Nr.10 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrg.: Hess.Umweltministerium 12/1994, 12 Seiten, bei Einzelbestellung kostenlos.

„**Wärmedämmung von Außenwänden mit der Innendämmung**“ (Nr.11 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrg.: Hess.Umweltministerium 5/1993, 12 Seiten (Kurze Einführung in Konstruktionen der Innendämmung mit Hinweisen auf Problematik des Feuchteschutzes).

„**Energieeinsparung an Fenstern und Außentüren**“ (Nr.11 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrg.: Hess.Umweltministerium 12/1994, 12 Seiten, (kurze Einführung in Energiesparmöglichkeiten bei diesen Komponenten; hinsichtlich lieferbarer Glasqualitäten etwas veraltet)

b) Planungshilfen für Architekten

„**Planungshilfe Niedrigenergiehaus (für den ein- und zweischaligen Mauerwerksbau)**, Hrg.: Stadtwerke Hannover AG u.a., 5/1997, ca 400 Seiten, 92 DM (sehr gute technische Planungshilfe mit einer Fülle ausführlich erläuteter Detailzeichnungen von Aufbauten und Anschlußpunkten auf hohem NEH-Standard sowie einem Extrakapitel über Lüftungstechnik)

„**Kalksandstein - Wärmeschutz, Optimierte Details**“, Autoren: Prof.W.-H.Pohl, S.Horschler, R.Pohl, Hrg.: Kalksandstein-Information, Hannover 2/1997, ca 250 Seiten, 50 DM (detaillierte Planungs- und Ausführungsempfehlungen mit einer Fülle ausführlich erläuteter Detailzeichnungen für den ein- und zweischaligen Kalksandstein-Mauerwerksbau mit Schwerpunkt auf Wärmebrückenvermeidung und Luftdichtheit).

„Niedrigenergiehäuser - bauphysikalische Entwurfsgrundlagen (beim Holzbau)“ (Reihe 1, Teil 3, Folge 2 des Holzbau-Handbuchs des Informationsdienstes Holz), Autoren: Gerd Hauser und Frank Otto, Hrsg.: EGH München 8/1994, 24 Seiten, bei Einzelbestellung kostenlos (detaillierte Einführung in energetische und bauphysikalische Effekte verschiedener Konstruktionsprinzipien und Bauteil Ausführungen beim Holz-NEH. Die Dämmwerte entsprechen teils nicht strengen NEH-Standards, die Konstruktionen sind aber auf andere Dämmstärken übertragbar).

„Niedrigenergie-Häuser - Planungs und Ausführungsempfehlungen (beim Holzbau)“ (Reihe 1, Teil 3, Folge 3 des Holzbau-Handbuchs des Informationsdienstes Holz), Autoren: Gerd Hauser und Frank Otto, Hrsg.: EGH München 3/1995, 28 Seiten, bei Einzelbestellung kostenlos (detaillierte Darstellung verschiedener Detail Ausführungen von Holz-Wänden, -Dächern- und Decken im Regelaufbau und an Anschlüssen. Die Dämmwerte entsprechen teils nicht strengen NEH-Standards, die Konstruktionen sind aber auf andere Dämmstärken übertragbar).

„Hochgedämmte Wand- und Deckenkonstruktion für Niedrigenergiehäusern“; Autoren: Klaus Michael und Gudrun Heitmann, Hrsg.: NEI, Detmold; 16 Seiten, 5 DM (detaillierte technische Kurzbeschreibung von Wand und Deckenkonstruktionen von verschiedenen Bautypen in Niedrig-Energie-Bauweise).

„Hochgedämmte Dachkonstruktionen für Niedrigenergie-Häuser“; Autor: Klaus Michael, Hrsg.: NEI, Detmold; 10 Seiten, 5 DM (Konstruktionsvarianten von Zwischen-, Unter- und Aufsparrendämmungen und Einzelfragen der Zimmermannskonstruktionen).

„Das Niedrigenergie-Haus - Handbuch mit Planungsregeln zum Passivhaus“; Autoren Huber, Müller, Oberländer; Verlag W. Kohlhammer, 142 S eiten, 58 DM. ISBN 3-17-013527-9 (viele Details in Wort und Bild).

c) Wärmebrücken-Vermeidung

„Wärmebrücken“ (Nr.4 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrsg.: Hess.Umweltministerium 5/1993, 8 Seiten, bei Einzelbestellung kostenlos, (Übersicht über häufige Konstruktionsfehler und deren Folgen).

„Wärmebrückenvermeidung bei Niedrig-Energie-Häusern“; Autorin: G. Heitmann, Hrsg.: NEI, Detmold; 11 Seiten, 26 DM (Erklärung der Problemstellen an den Trennflächen zwischen kalt und warm mit 26 farbigen Detailfotos von konstruktiven Lösungen für typische Wärmebrücken im Massivbau).

„Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau“ Autoren: Gerd Hauser und Horst Stiegel, Bauverlag Wiesbaden und Berlin, Bestell-Nr.: ISBN 3-7625-2794-6, Ausgabe 1990, 120 DM (umfangreiche und sehr gut illustrierte Darstellung von Wärmebrücken im Mauerwerksbau, mit Berechnungen; Handbuch für Architekten und Statiker: dargestellte Wand- und Deckenaufbauten entsprechen nicht NEH-Standard, Lösungsvorschläge sind aber meist übertragbar).

d) Wind- und Luftdichtheit

„Luftdichtigkeit von Wohngebäuden - Messung und Bewertung, Ausführungsdetails“, Autoren: J.Zeller und K.Biasin, Hrsg.: RWE Energie AG, Vertrieb über Energie-Verlag, Heidelberg, 67 S., Preis 15 DM + ca 3 DM Porto; (Sehr gute Darstellung von Problemen und Detaillösungen mit Hilfen für Planung und Ausschreibung).

„Wind- und Luftdichtigkeit bei geneigten Dächern“ (Nr.7 der Reihe "Energiespar-Informationen"), Hrsg.: Hess.Umweltministerium 12/1993,, 12 Seiten, bei Einzelbesetzung kostenlos, (Einführung in Bedeutung der Winddichtigkeit und Planung winddichtender Ebenen mit Verarbeitungshinweisen).

„Luftdichtigkeit von Gebäuden“ Autoren: Jochen Zeller, Sigrid Dorschky, Robert Borsch-Laaks und Wolfgang Feist; Hrsg.: IWU, Darmstadt; 221 Seiten, 33 DM; (Ausführliche Einführung in Theorie der Luftdurchströmung von Gebäuden, Lüftungskonzepte für Gebäude, Bedeutung der Luftdichtigkeit, internationale Normen und Empfehlungen, Meßverfahren, bisherige Meßergebnisse, typische Undichtigkeitsprobleme und konstruktive Detaillösungen).

„Voraussetzung für die Durchführung von Winddichtemessungen an Wohngebäuden“; Hrsg: NEI, Detmold; 3 Seiten, 5 DM (Checkliste für Bauleute für die Vorbereitung von Winddichtemessungen mit Liste von Anbietern von Winddichtemessungen).

e) Heizung und Lüftung

„**Lüftung im Wohngebäude**“ Hrsg.: NRW-Bauministerium, 15 Seiten, kostenlos (kurze illustrierte Einführung in die Lüftungs-Thematik im Wohnhaus mit Empfehlungen zur Konzeption kleiner technischer Lüftungsanlagen).

„**Lüftung im Wohngebäude**“, Hrsg.: Hess.Umweltministerium (Nr.8 der Reihe "Energiespar-Informationen"), 12 Seiten, 5/93 (Einführung in Bedeutung der Lüftung, Bedarfsermittlung und Lüftungstechniken).

„**Kontrollierte Wohnungslüftung**“, Hrsg.: Hess.Umweltministerium (Nr.9 der Reihe "Energiespar-Informationen"), 16 Seiten, 9/94 (Einführung in Planung technischer Lüftungsanlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung).

„**Checkliste Kontrollierte Wohnungslüftung**“ Hinweise zu Planung, Ausführung, Abnahme und Wartung, Autoren: J. Werner und W. Eicke-Henning, Hrsg.: IWU Darmstadt, 13 Seiten, Bestell-Nr.: 02/95, 2,20 DM (sehr gute Sammlung wichtiger Merkpunkte).

„**Heizung und Lüftung in Niedrig-Energie-Häusern**“; Autor: K. Michael, Hrsg.: NEI, Detmold; 10 Seiten, 5 DM (Verschiedene Heizungsaufbauten und Planungsablauf einer einfachen Abluftanlage).

„**Meßtechnische Überprüfung und Dokumentation von Wohnungslüftungsanlagen in hessischen Niedrigenergiehäusern - Endbericht**“, ausgeführt durch Ingenieurbüro ebök, Tübingen; Autoren: Johannes Werner, Ulrich Rochard, Joachim Zeller, Matthias Laidig (sehr wichtige Studie über nachträglich erkannte Qualitäten und Mängel von Lüftungsanlagen; gibt wichtige Anregungen für gute Planung). Hrsg.: IWU Darmstadt, 1995, 164 Seiten, 16,50 DM Bestell-Nr.: 01/95.

„**Lüftung im Passivhaus**“, Autor: Wolfgang Feist, 1994, Hrsg.: IWU Darmstadt, 65 Seiten, 5,50 DM, Bestell-Nr.: 06/95 (Kurze Darstellung von Planung, Ausführung, Einregulierung, nachträgl. Änderung sowie von Luftqualitätsmessungen einer Lüftungsanlage mit WRG und Erdreichwärmetauscher, die besonders hohen Anforderungen an die Energieeffizienz entspricht).

„**Luftqualität im Passivhaus**“, Autor: Wolfgang Feist, 1994, Hrsg.: IWU Darmstadt, 297 Seiten, 22 DM, Bestell-Nr. 09/95 (Ausführlicher Endbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt).

„**Lüftung im Passivhaus**“; Hrg. Wolfgang Feist, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser; Protokollband Nr.4, Darmstadt, 1997, Passivhaus-Institut (Tagungsband).

f) Andere Einzelaspekte

„**Primärenergie und Emissionsbilanzen von Dämmstoffen**“ Autor: Wolfgang Feist, Hrsg.: IWU Darmstadt, 1986, 27 Seiten, 5,50 DM, Bestell-Nr.: 03/86 (Abhandlung zum oft infrage gestellten Verhältnis von Herstellungsaufwand und Nutzen von Dämmstoffen).

„**Energiebilanz und Temperaturverhalten**“; Hrg. Wolfgang Feist, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser; Protokollband Nr. 5, Darmstadt 1997, Passivhaus-Institut (Tagungsband).

„**Ist Wärmespeichern wichtiger als Wärmedämmen?**“ Autor: Wolfgang Feist, Hrsg.: IWU Darmstadt, 1986, 23 Seiten, 5,50 DM, Bestell-Nr.: 05/86 (kritischer Diskussionsbeitrag zu „wärmespeichernden“ und „atmenden“ Wänden).

„**Investive Mehrkosten der Niedrigenergie-Bauweise**; Abgerechnete Kosten öffentlich geförderter Wohnhäuser in Hessen und Schleswig-Holstein“, Autor: Werner Eicke-Hennig, Hrsg.: IWU Darmstadt 1993, 33 Seiten, 5,50 DM, Bestell-Nr: 01/93.

„**Besonders sparsame Haushaltsgeräte 1997**“, Autor: Klaus Michael u.a., Hrsg.: Bund der Energieverbraucher, 16 Seiten, 5/97, Einzel: 5 DM, ab 20 Stück 0,50 DM+Versand; (Verbraucherinformation über besonders sparsame Kühl- und Gefriergeräte, Wasch- und Spülmaschinen und Wäschetrockner).

g) Projektberichte

„**11 Niedrigenergie-Häuser in Detmold**“; Autoren: K.Michael, H.Scharping, Hrsg.: NEI, Detmold; 8 Faltblätter mit je 4 Seiten; 12,50 DM; (Technische Beschreibungen von 11 zwischen 1991 und 1996 in Detmold gebauten NEHs mit Grundriß, Details, Energiebilanz und Kostenplan).

„**Wissenschaftliche Begleituntersuchung von 31 Niedrigenergie-Häusern in NRW**“, Autoren: K.Michael, G.Heitmann, H.Scharping, Hrsg.: NEI, Detmold; 246 Seiten, ca 200 SW-Abb., 75 DM; (Detaillierte Analyse der begleiteten Planung und Bauausführung von 20 EFH und 11 MFH, die zwischen 1995 und 1998 in Werther (Kreis Gütersloh) gebaut wurden. Endbericht eines Forschungsprojekts der AGSolar/NESA NRW).

„**Forschungs- und Demonstrationsgebäude Niedrigenergiehaus Schrecksbach - Abschlußbericht**“
Autoren: Wolfgang Feist und Eberhard Hinz, Hrsg.: IWU Darmstadt, 9/1992, 176 Seiten, 11 DM, Bestell-Nr.: 20/92 (wissenschaftl. Auswertung eines der ersten hessischen Niedrigenergie-Häuser in Massivbauweise mit Thermohaut).

„**Die Niedrigenergie-Siedlung Diestelweg in Niedernhausen; eine Projektdarstellung**“ Autoren: Horst Menje und Tobias Loga, Hrsg.: IWU Darmstadt, 28 Seiten, 5,50 DM, Bestell-Nr.: 22/92 (kurze Projektbeschreibung einer der ersten Niedrigenergie-Siedlungen mit 40 Häusern und Nahwärmeversorgung).

„**Die Niedrigenergie-Siedlung Diestelweg in Niedernhausen- Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit für Wärmeschutz und Nahwärmeversorgung**“ Autoren: Tobias Loga, Heidrun Hampel-Balzereit, Gerhard Claßen, Hrsg.:IWU Darmstadt, 1994, 11 Seiten, 5,50 DM, Bestell-Nr.: 10/95 (Beispiel einer NEH-Siedlung mit ca 40 Doppelhaushälften bzw. Reihenhäusern und Nahwärme mit BHKW).

„**Niedrigenergiehäuser in Dänemark und Schweden - ein Reisebilderbuch**“ Autor: Wolfgang Feist, Hrsg.: IWU Darmstadt, Bestell-NR.: 06/87, 1987, 5,50 DM (illustrierte Einführung in skandinavische Erfahrungen).

„**Das LBS-Öko-Haus - Bauherren-Handbuch**“ Autoren: Robert Borsch-Laaks und Ralf Pohlmann; Hrsg: LBS Münster/Düsseldorf, 3/1993, 72 Seiten, kostenlos (sehr gute Einführung in moderne NEH-Holzbautechnik mit Kostenplanung).

„**Passive Häuser, Bauvorbereitendes Forschungsprogramm; Endbericht**“ Autor: Wolfgang Feist , Hrsg.: IWU Darmstadt, Bestell-Nr.: 13/92, 148 Seiten, 11 DM (technische Beschreibung und wissenschaftl. Erfahrungsbericht des 4-Fam.-Passivhauses in Darmstadt-Kranichstein)

„**Bau des Passiv-Hauses in Darmstadt-Kranichstein**“ - Abschlußbericht, Autoren: Wolfgang Feist, Witta Ebel, Jürgen Militzer, Hrsg.:IWU Darmstadt, 39 Seiten, 5,50 DM, Bestell-Nr.: 01/94.

Bezugsquellen

EGH München	Entwicklungsgemeinschaft Holzbau; Bezugsquelle für Broschüren ist: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Postfach 300141, 40401 Düsseldorf
IWU Darmstadt	Institut Wohnen u.Umwelt, Annastr. 15, 64285 Darmstadt, Fax: 06151-2904-97
Passivhaus-Institut	Steubenplatz 12, 64293 Darmstadt, Fax: 06151-8269911
Bund der Energieverbraucher	Grabenstraße 17, 53619 Rheinbreitbach
Energie-Verlag GmbH	Postfach 102140, 69011 Heidelberg, Fax: 06221-901341
Hess. Umweltministerium	Hessisches Ministerium für Umwelt, Mainzer Str. 80, 65189 Wiesbaden
Kalksandstein-Information	Bundesverband KS-Industrie e.V., Postfach 210660, 30401 Hannover
LBS Münster/Düsseldorf	Himmelreichallee 40, 48130 Münster
NRW-Bauministerium	Ministerium für Bauen und Wohnen, Elisabethstr. 5-11, 40217 Düsseldorf
NEI Detmold	Niedrig-Energie-Institut GbR, Rosental 21, 32756 Detmold
ARGE Kiel	Arbeitsgemeinschaft f. zeitgemäßes Bauen, Walkerdamm 17, 24103 Kiel
BINE	BINE, Mechenstr. 57, 53129 Bonn (oder über den Buchhandel)
Stadtwerke Hannover	Stadtwerke Hannover AG, Abt. 9004,Postfach 5747, 30057 Hannover
Stadtwerke Viernheim	Stadtwerke Vienheim, Industriestr.2, 68519 Vienheim

(Preise i.d.R. incl. MWSt zzgl. Versandkosten, Preisangaben außer für NEI-Broschüren unverbindlich).