

Wirtschaftlichkeit von Niedrigenergiehäusern

Energiesparmaßnahmen können auf die Wärmekosten umgerechnet werden. Als Datenbasis dienen gebaute und bewohnte Niedrigenergiehäuser. Eine genaue Analyse zeigt, daß der Standard der neuen Wärmeschutzverordnung mit Wärmekosten von 3,5 Pf/kWh bereits heute wirtschaftlich ist. Niedrigenergiehäuser sind mit Wärmekosten um 8 Pf/kWh vor dem Hintergrund künftiger Energiepreise als wirtschaftlich vernünftig einzustufen.

Für die ökonomische Analyse des Niedrigenergiehausstandards kann inzwischen auf eine Vielzahl von in Deutschland gebauten und seit einigen Jahren bewohnten Niedrigenergiehäusern zurückgegriffen werden [1]. Besonders geeignet sind die Niedrigenergiesiedlungen, bei denen eine Vielzahl baugleicher (oder zumindest ähnlicher) Gebäude vorliegt. Damit kann sich die Wirtschaftlichkeitsanalyse auf die abgerechneten Baukosten und die daraus bestimmten Mehrkosten in einer statistisch ausreichend großen Gesamtheit stützen.

Unter Niedrigenergiehäusern (NEH) werden hier Gebäude verstanden, deren Jahresheizwärmebedarf unter 70 kWh/(m²a) (Nutzwärme) liegt. NEH verbrauchen daher etwa 50% weniger Heizwärme als Gebäude, die nach der noch gültigen Wärmeschutzverordnung (WschVO) von 1982 erbaut wurden und immer noch ca. 30% weniger Heizwärme, als es den Anforderungen der ab 1995 gültigen neuen WschVO entspricht.

Erhobene Mehrkosten für den NEH-Standard

Es gibt derzeit zwei detaillierte Erhebungen von abgerechneten Mehrkosten bei Niedrigenergiehäusern in Deutschland [2,3]. In beiden Arbeiten werden genaue Angaben zu den abgerechneten baulichen Bruttomerkosten, jeweils aufgeteilt auf die betroffenen Bauteile, gemacht.

Entscheidend für eine sachgerechte Mehrkostenerhebung ist, daß nur die

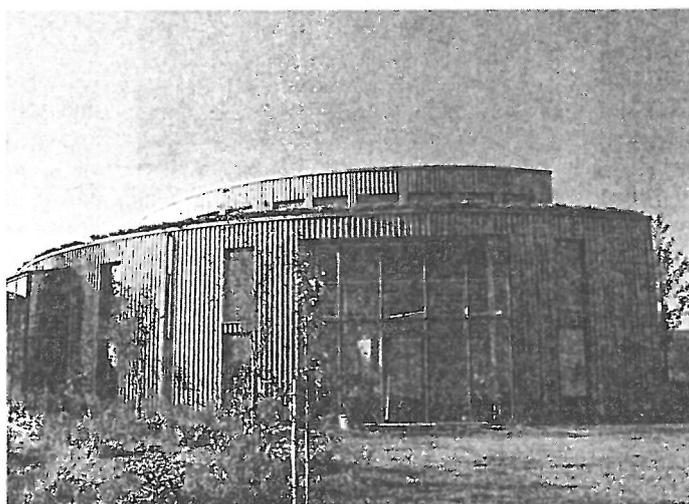


Abb. 1: Doppelhaus in Kassel-Weimar.

FOTOS (3): IWU

Differenzkosten der zur Erreichung der Energieeinsparung jeweils gewählten Bauteile zur Bauausführung gemäß WschVO 1982 angesetzt werden dürfen. Die für die konventionelle Bauweise angesetzten Preise stammen aus Angeboten vergleichbarer Projekte bzw. sind Erfahrungswerte aus dem gleichen Zeitraum.

Beispiel für die Mehrkosten-Ermittlung bei der Dämmung von Außenwänden: Die Außenwandfläche eines Reihenmittelhauses der Bauher-

rengemeinschaft „Genesis“ (20 Häuser) in Niedernhausen beträgt 142 m² (bei 147 m² Wohnfläche). In konventioneller Bauweise wären die Außenwände als außen verputzte porosierte Ziegelwand (30 cm) mit einem k-Wert von 0,7 W/(m²K) errichtet worden. Die Nettokosten hierfür hätten etwa 157 DM/m² oder insgesamt 22.294,- DM je Mittelhaus betragen. Realisiert wurde jedoch eine gemauerte Kalksandsteinwand mit nur 17,5 cm Dicke und einem Wärmedämmverbundsystem aus 16 cm Polystyrolplatten mit Außenputz (k-Wert:

0,23 W/(m²K)). Die abgerechneten Baukosten für Außenwand und Wärmedämmverbundsystem lagen bei 24.140,- DM bzw. 170 DM/m² Wandfläche (ohne Mehrwertsteuer). Die Differenzkosten für das gedämmte Bauteil betragen in diesem Fall daher incl. Mehrwertsteuer (170-157) x 1,14 DM/m² = 14,82 DM/m².

Dokumentation der empirisch ermittelten Mehrkosten: Tabelle 1 zeigt die erhobenen Mehrkosten gegenüber konventionell errichteten Gebäuden. In der dritten Spalte ist die Zahl der (weitgehend baugleich) errichteten Wohneinheiten (WE) aufgeführt, in der vierten die Wohnfläche je Wohneinheit. Die folgenden fünf Spalten enthalten die Mehrkosten je Wohneinheit für das betroffene Bauteil jeweils incl. Mehrwertsteuer. Diese Mehrkosten wurden analog zur Vorgehensweise im obigen Beispiel ermittelt. Hier werden nur solche Maßnahmen aufgeführt, die der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes mit dem Ziel der Energieeinsparung dienen.

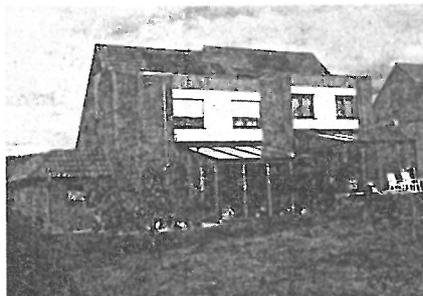


Abb. 2: Niedrigenergiehaus mit Solaranlage (Melsungen).

1 Nr.	2 Haus	3 Zahl WE	4 Wohn- fläche m ² /WE	5-10 Mehrkosten					11 SUMME DM/WE	12 spezif. DM/m ²	13 relativ	14 Kosten Lüftung insges.	15 Lüftungs- system	
				Außen- wand DM/WE	Dach DM/WE	Keller- decke DM/WE	Fenster DM/WE	WRG DM/WE						Sonst. DM/WE
1	A-Niedernh. Reihenmittelh.	9	111	3054	2274	675	1268	0	-	7271	66	3,0%	4885	Abluft
2	B-Niedernh. Endhäuser	4	111	10406	2274	675	1423	0	-	14778	133	6,2%	6517	Abluft
3	C-Niedernh. Reihenmittelh.	12	147	2818	1480	1181	3899	0	-	9378	64	3,0%	6295	Abluft
4	D-Niedernh. Endhäuser	8	147	3882	1480	1181	3598	0	-	10140	69	3,2%	-	-
5	E-Niedernh. Reihenmittelh.	6	163	3893	2244	777	2614	0	-	9528	58	2,7%	6216	Abluft
6	F-Niedernh. Endhäuser	2	170	8306	2244	619	3283	0	-	14452	85	4,0%	5874	Abluft
7	MFH-Dietz. Brackrock	13	119	1189	1308	714	1784	0	-	4995	42	2,1%	3687	Abluft
8	MFH-Dietz. Baufrösche	19	105	8383	996	0	1362	0	-	10741	103	5,2%	3458	Abluft
9	EFH-Frankenber	1	189	4186	2184	1456	5460	3860	-	17146	91	4,2%	7360	WRG
10	EFH-Schmitt	1	180	11340	5040	2520	2700	2620	-	24220	135	6,3%	6120	WRG
11	EFH-Offenbach	1	134	5640	987	1128	3807	0	4713	16275	122	5,7%	3525	Abluft
12	EFH-Homberg	1	207	18254	2697	1452	5186	0	415	28003	135	6,3%	4149	Abluft
13	EFH-Schwalmstadt	1	120	10243	2410	1928	2049	0	1446	18075	151	7,0%	3736	Abluft
14	EFH-Lauterbach	1	161	15456	3220	1288	2254	0	161	22379	139	6,5%	3475	Abluft
15	EFH-Romrod	1	107	11051	3219	1292	1824	0	536	17922	167	7,8%	3990	Abluft
16	EFH-Marburg	1	203	7966	2332	1943	7966	0	-	20207	100	4,6%	3109	Luftheizung
17	DHH-Kassel-Weimar	1	164	4600	3500	5320	6700	4000	0	24120	147	6,8%	7500	WRG
18	EFH-Usingen	1	158	5375	3953	2688	6324	8358	-	26697	169	7,8%	11858	WRG
19	DHH-Melsungen	1	109	3386	1311	218	655	0	3167	8738	80	3,7%	5570	Abluft
20	EFH-Lich	1	326	5534	0	5208	2930	5940	-	19611	60	2,8%	9440	WRG
21	EFH-Bad Orb	1	164	7553	5911	0	7224	3560	3776	28024	171	7,9%	7060	WRG
22	EFH-Fulda-Horas	1	108	13116	2710	1084	1951	0	650	19512	180	8,4%	4119	Abluft
23	EFH-Offenb. II	1	183	6419	10087	5502	2017	0	-	24025	131	6,1%	4035	Abluft
24	DHH-Kassel-Weimar	1	164	4600	3500	5320	6700	4000	0	24120	147	6,8%	7500	WRG
25	EFH-Bad Hersfeld II	1	178	13924	2644	4054	3701	0	2115	26438	148	6,9%	5288	Abluft
26	EFH-Schrecksbach	1	168	4458	2143	1106	1332	6000	2750	17788	106	4,9%	9500	WRG
27	MFH-Kassel	6	74	1563	2459	504	2170	0	0	6695	90	4,2%	2343	Abluft
28	EFH-Neukirchen	1	322	12059	4895	2128	6630	0	285	25997	81	3,7%	4831	Abluft
29	Passivhaus IST	4	156	8972	3939	7419	22843	29056	16844	89073	571	15,6%	32556	WRG Regel
30	Passivhaus-1991 „A“	4	156	8972	3939	7419	8873	22033	16844	68080	436	12,6%	25533	WRG 84%
31	Passivhaus-„B“	4	156	8972	2184	2332	22843	22033	3077	61440	394	11,5%	25533	WRG 84%
32	Passivhaus-„C“	4	156	8972	2184	2332	22843	10500	3077	49907	320	9,8%	14000	Std-WRG
33	Passivhaus-„D“	4	156	8972	2184	2332	2083	10500	3077	29147	187	5,9%	14000	Std-WRG
34	Passivhaus-„E“	4	156	4148	1186	982	2083	10500	3077	21977	141	4,5%	14000	Abluft
35	Passivhaus-„F“	4	156	4148	1186	982	2083	0	3077	11477	74	2,5%	3500	Abluft

Tabelle 1: Bauliche Mehrkosten hessischer Niedrigenergiehäuser und von Varianten des Passivhauses Darmstadt.

Unter den Bauteilbezeichnungen sind die Mehrkosten des jeweiligen Bauteils je Wohneinheit gegenüber der Ausführung nach Wärmeschutzverordnung 1982 aufgeführt (Spalten 5 bis 10). Die Summe der baulichen Mehrkosten incl. Mehrwertsteuer steht in Spalte 11.

Legende: WRG = Wärmerückgewinnung; WE = Wohneinheit; EFH = Einfamilienhaus; DHH = Doppelhaushälfte; MFH = Mehrfamilienhaus.

Zur Gewährleistung einer hygienisch einwandfreien Luftqualität ist in Neubauten grundsätzlich eine kontrollierte Wohnungslüftung zu empfehlen: Herkömmliche Neubauten sind heute bereits so dicht, daß eine ausreichende Lüftung über verbliebene Fugen nicht mehr gewährleistet ist. Die heute vielfach empfohlene Fenster-Stoßlüftung ist stark vom Nutzerverhalten abhängig und erfahrungsgemäß in vielen Fällen unzureichend. Das einfachste System, das in der Lage ist, hygienisch einwandfreie Lüftungsverhältnisse in Neubauten sicherzustellen, ist eine kontrollierte Wohnungslüftung mit

einer Abluftanlage: Dabei wird belastete Innenluft kontinuierlich aus Bädern, Toiletten und der Küche abgesaugt; (kalte) Frischluft strömt über Außenwand- oder Fensterventile in die Wohn- und Schlafräume nach. Solche Anlagen haben sich seit über 25 Jahren in Schweden bewährt und wurden auch in der überwiegenden Zahl der hier dokumentierten NEH eingesetzt.

Eine Heizwärmeeinsparung wird durch solche Anlagen i.a. nicht erzielt, da die Außenluft ohne Wärmerückgewinnung direkt den Aufenthaltsräumen zugeführt wird. Diese Anlagen dienen ausschließlich der Verbesserung

der Luftqualität und nicht der Energieeinsparung: Die Kosten der Anlagen sind daher nicht als Mehrkosten für den Niedrigenergiestandard anzusehen und daher auch nicht mit in den Summenkosten (Spalte 11) enthalten; der Vollständigkeit halber sind die (Voll-) Kosten der Lüftungsanlagen jedoch in der letzten Spalte der Tabelle 1 dokumentiert. Die Mehrkosten der Lüftungswärmerückgewinnung gegenüber einfachen Abluftanlagen (mit 3.500 DM je Wohneinheit angesetzt) gehen jedoch in die Kostenkalkulation ein.

Bezieht man die gesamten baulichen Mehrkosten der NEH auf die

Wohnfläche, so erhält man die in Spalte 12 aufgeführten spezifischen baulichen Mehrkosten. Diese schwanken in den NEH-Projekten zwischen 40 und 180 DM/m² mit einem Mittelwert von 86 DM/m². Die Ursachen für die vergleichsweise große Streuung sind:

1. In einigen Fällen wurden suboptimale Bauteilausführungen gewählt: Wenn im obigen Beispiel statt der dort aufgeführten 17,5 cm Kalksandstein-Außenwand eine dickere Wand (24 oder 30 cm) oder sogar ein teurer Stein (Gasbeton oder porosierter Ziegel) verwendet wird, wird die Konstruktion erheblich teurer, ohne daß dies einen Vorteil für die Energieeinsparung bringt.

2. Bei einigen Projekten wurden von den Architekten teure Wintergartenvorbauten bei der Berechnung der Mehrkosten einbezogen, deren energietechnische Auswirkungen ebenfalls fraglich sind.

3. Die hochwärmedämmte Bauweise war zum Zeitpunkt der Ausführung der hier dokumentierten Häuser in Deutschland noch innovativ. Dadurch ergaben sich bei den Ausschreibungen vielfach nur eingeschränkte Rückläufe und damit geringere Auswahlmöglichkeiten zwischen den Anbietern.

Alle drei Ursachen führen zu überhöhten Kosten gegenüber einem eingeführten Niedrigenergiestandard.

Bezieht man die baulichen Mehrkosten auf die durchschnittlichen reinen Baukosten von Einfamilienhäusern (2.152 DM/m²) bzw. Mehrfamilienhäusern (1.966 DM/m²) in Hessen 1990/91, so ergeben sich die in Spalte 12 aufgeführten relativen baulichen Mehrkosten des Niedrigenergiehausstandards: Diese betragen bei den hier dokumentierten Niedrigenergiehäusern (Objekte 1 bis 28) zwischen 2,1 und 8,4%.

Erhobene Mehrkosten für den Passivhausstandard

Das Passivhaus Darmstadt Kranichstein ist ein „Niedrigenergiehaus“ in extremer Ausführung, das 1990/91 als Forschungsprojekt des IWU mit Förderung durch das Hessische Umweltministerium (HMUB) gebaut wurde und seit Oktober 1991 bewohnt ist [4]. Für dieses Mehrfamilienhaus mit vier Wohneinheiten gibt es gemessene Heizwärmeverbrauchswerte aus den Heizperioden 1991/92, 1992/93 und 1993/94. Im Endausbauzustand (letzte beide

Heizperioden) wurde ein gemessener Energiekennwert Heizwärme unter 10 kWh/(m²a) erreicht [5]. In der ersten Heizperiode waren die speziell handwerklich gefertigten Rahmendämmelemente noch nicht angebracht, so daß sich für diese ein höherer Energiekennwert Heizwärme von 18 kWh/(m²a) ergab. Für die hier vorliegende Untersuchung wird nur die Heizwärme und die Wärmeschutzmaßnahmen zu ihrer Verringerung betrachtet. Bei der Würdigung dieser extrem niedrigen Verbräuche ist zu bedenken, daß auch die übrigen Energieverbräuche bei diesem Forschungsprojekt außerordentlich gering sind: So ist der Endenergieverbrauch für Warmwasser mit rund 6,2 kWh/(m²a) um etwa 75% niedriger als in konventionellen Neubauten (gute Rohrleitungs- und Speicherdämmung sowie Warmwasser-Solaranlage) und der Stromverbrauch mit 13,8 kWh/(m²a) um mehr als 50% niedriger als im Durchschnitt in der Bundesrepublik [6].

Für das Passivhaus liegt eine detaillierte ex-post-Erhebung (Erhebung nach Abschluß des Projektes) aller baulichen Mehrkosten zur Erzielung dieses extrem geringen Energieverbrauchs vor [7]. Diese sind im unteren Teil der Tabelle 1 für das fertiggestellte Passivhaus (Mai 1992) dokumentiert. Bei der Einschätzung dieser – nicht geringen – Mehrkosten muß der Forschungscharakter des Projektes berücksichtigt werden: Zahlreiche Einzelkomponenten waren 1991 nicht am Markt erhältlich und mußten in handwerklicher Einzelfertigung erstellt werden (z. B. die schon erwähnten Rahmendämmelemente, aber auch die CO₂-geführte Luftqualitätsregelung und der Abwasser-Auskühltank). Die baulichen Mehrinvestitionen betragen mit 571 DM/m² (Wohnfläche) etwa 16% der reinen Baukosten.

In der folgenden Zeile sind die Mehrkosten zur Erreichung des baulichen Zustandes „A“ bis Oktober 1991 (erste Heizperiode) aufgeführt: Hier waren die Rahmendämmelemente und die innovative Lüftungsregelung noch nicht eingebaut.

In den folgenden fünf Zeilen sind weitere bauliche Zustände des Passivhauses abgeleitet, die aus dem existierenden Haus durch „Abspecken“ entstehen: Nach und nach werden Systemkomponenten entfernt bzw. auf den Standard eines „normalen“ Niedrig-

energiehauses zurückversetzt. Diese Zustände werden in [7] im einzelnen definiert und diskutiert, hier kann nur eine Kurzcharakterisierung erfolgen:

- Passivhaus „B“: Passivhaus, wie es heute (1994) gebaut würde, wenn die gesamte Erfahrung aus dem Forschungsprojekt als bekannt vorausgesetzt werden kann. Einige teure Details des gebauten Hauses erwiesen sich als energietechnisch verzichtbar: die speziell gefertigten Laibungsdämmelemente (ohne Einspareffekt), die CO₂-geführte Luftqualitätsregelung (wird faktisch nur zu Meßzwecken eingesetzt) und der Abwasser-Auskühltank (vernachlässigbare Energieeinsparung) würden ganz entfallen. Die Dämmung der Kellerdecke würde auf der Betondecke (statt von unten angeklebt) ausgeführt. Die Dachdämmung würde konventionell mit zweilagigen Dämmplatten (statt Einblasdämmsystem) realisiert. Ohne daß sich der Energiekennwert des Hauses merklich ändert, würden die baulichen Mehraufwendungen auf unter 13% der Baukosten sinken. Weitere Kosteneinsparungen durch industrielle Vorfertigung (insbesondere der Fenster und der Rahmendämmung) sind denkbar, wurden hier aber noch nicht berücksichtigt.

- Passivhaus „C“: Wie „B“, zusätzlich wird jedoch die aufwendige hocheffiziente Wärmerückgewinnung mit Erdreichwärmetauscher durch ein marktgängiges Standardsystem mit nur noch 70% Rückwärmegrad ersetzt. Der Energiekennwert Heizwärme steigt auf 16,7 kWh/(m²a).

- Passivhaus „D“: Wie „C“, zusätzlich werden jedoch die Spezialfenster (k-Wert: 0,7 W/(m²K)) durch Standard-Wärmeschutzverglasung ohne die spezielle Rahmendämmung (k-Wert: 1,5 W/(m²K)) ersetzt. Der Energiekennwert Heizwärme steigt auf 28,3 kWh/(m²a).

- Passivhaus „E“: Wie „D“, zusätzlich werden jedoch alle Dämmstoffdicken auf das „Normalniveau“ bei Niedrigenergiehausstandard reduziert (also: Wand nur 17,5 cm, Dach 30 cm, Kellerdecke 12 cm Dämmung). Der Energiekennwert Heizwärme steigt auf 37,7 kWh/(m²a).

- Passivhaus „F“: Wie „E“, im letzten Schritt zum Standard-NEH wird nun auch die Lüftung mit Wärmerückgewinnung durch ein einfaches Abluftsystem ersetzt: Der Energiekennwert Heizwärme steigt auf 63,4 kWh/(m²a).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nr.	Haus	Zahl WE	Wohnfläche je WE m ² /WE	spez. baul. Mehrkosten DM/m ²	spez. WRG-Mehrkosten DM/m ²	spez. Planungs-Mehrkosten DM/m ²	annuitätische Mehrkosten DM/(m ² a)	Energiekennwert WschVO 82 kWh/(m ² a)	Energiekennwert N-E-H (Ist) kWh/(m ² a)	spezif. Einsparenergie- kWh/(m ² a)	Kosten der Einsparenergie Pf/kWh
1	A-Niedernhausen Reihenmittelh.	9	111	66	0	6	4,19	124	67	57	7,38
2	B-Niedernhausen Endhäuser	4	111	133	0	12	8,52	163	81	82	10,46
3	C-Niedernhausen Reihenmittelh.	12	147	64	0	6	4,08	148	67	82	5,00
4	D-Niedernhausen Endhäuser	8	147	69	0	6	4,42	178	76	102	4,33
5	E-Niedernhausen Reihenmittelh.	6	163	58	0	5	3,74	111	61	51	7,40
6	F-Niedernhausen Endhäuser	2	170	85	0	8	5,44	146	72	74	7,38
7	MFH-Dietz. Brackrock	13	119	42	0	4	2,69	105	69	36	7,47
8	MFH-Dietz. Baufrösche	19	105	103	0	9	6,56	117	51	66	9,94
9	EFH-Frankenber	1	189	70	20	8	6,40	150	74	76	8,41
10	EFH-Schmitt	1	180	120	15	12	9,03	165	64	101	8,94
11	EFH-Offenbach	1	134	122	0	11	7,80	165	95	70	11,14
12	EFH-Homberg	1	207	135	0	12	8,64	126	64	62	13,94
13	EFH-Schwalmstadt	1	120	151	0	14	9,67	177	87	90	10,74
14	EFH-Lauterbach	1	161	139	0	13	8,93	146	77	69	12,94
15	EFH-Romrod	1	107	167	0	15	10,69	176	78	98	10,93
16	EFH-Marburg	1	203	100	0	9	6,39	175	79	96	6,65
17	ZFH-Kassel-Weimar	1	164	123	24	13	10,12	131	58	73	13,86
18	EFH-Usingen	1	158	116	53	15	12,33	176	83	93	13,27
19	ZFH-Melsungen	1	109	80	0	7	5,12	166	80	86	5,96
20	EFH-Lich	1	326	42	18	5	4,38	148	73	75	5,83
21	EFH-Bad Orb	1	164	149	22	15	11,55	190	77	113	10,22
22	EFH-Fulda-Horas	1	108	180	0	16	11,52	172	99	73	15,71
23	EFH-Offenb. II	1	183	131	0	12	8,39	161	91	70	11,96
24	ZFH-Kassel-Weimar	1	164	122	24	13	10,09	131	60	71	14,21
25	EFH-Bad Hersfeld II	1	178	148	0	13	9,49	146	77	69	13,76
26	EFH-Schrecksbach	1	168	70	36	10	7,81	130	60	70	11,17
27	MFH-Kassel	6	74	90	0	8	5,79	121	55	66	8,78
28	EFH-Neukirchen	1	322	81	0	7	5,16	142	68	74	6,98
29	Passivhaus IST	4	156	385	186	51	41,91	128	10	118	35,66
30	Passivhaus-1991 „A“	4	156	295	141	39	32,00	128	18	109	29,31
31	Passivhaus-„B“	4	156	253	141	35	29,28	128	10	117	24,96
32	Passivhaus-„C“	4	156	253	67	29	22,42	128	17	111	20,23
33	Passivhaus-„D“	4	156	120	67	17	13,90	128	28	99	14,01
34	Passivhaus-„E“	4	156	74	67	13	10,95	128	38	90	12,19
35	Passivhaus-„F“	4	156	74	0	7	4,71	128	63	64	7,34

Tabelle 2: Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zur Erreichung des Niedrigenergiehaus- bzw. Passivhaus-Standards bei den in Tab. 1 aufgeführten Gebäuden. In Spalte 8 stehen die annuitätischen Kapitalkosten je Quadratmeter Wohnfläche und Jahr, die für die Mehrinvestitionen in den Wärmeschutz abzuzahlen sind. Die Spalten 9 und 10 führen die Energiekennwerte Heizwärme für das Referenzhaus nach Wärmeschutzverordnung (Spalte 9) und für das tatsächlich realisierte Haus (N-E-H) auf. In Spalte 12 sind die Kosten der Einsparenergie dokumentiert: Dies sind die annuitätischen Kosten aus Spalte 8 dividiert durch die Differenzen der Energiekennwerte Heizwärme aus den Spalten 9 und 10.

Verbrauchsstatistik

Bestimmung der Energieeinsparung durch den Niedrigenergiehausstandard: Alle dokumentierten Häuser sind realisiert, seit einigen Jahren bewohnt und es liegen gemessene Energieverbrauchswerte vor. Derzeit ist eine Untersuchung in Arbeit [8], in welcher die gemessenen Verbrauchswerte mit den rechnerisch nach dem Leitfadens „Energiebewußte Gebäudeplanung“ [9] bestimmten verglichen werden. Im statistischen Mittel stimmen die rechnerischen Energiekennwerte mit den Meßwerten gut überein;

im Einzelfall ergeben sich aber auch durchaus größere Abweichungen, die durch ein unterschiedliches Nutzerverhalten der jeweiligen Bewohner bestimmt sind [1]. Für die hier zu bestimmende Wirtschaftlichkeit des NEH-Standards sind nicht die (zufälligen) aktuellen Nutzungsbedingungen entscheidend, sondern die Verbräuche, die sich unter durchschnittlicher Standardnutzung einstellen würden. Daher werden der Kalkulation die nach dem Jahresverfahren des Leitfadens berechneten Energiekennwerte der NEH zugrundegelegt (Spalte 10 von Tabelle 2).

Im Durchschnitt sind diese Werte geringfügig höher als die gemessenen Verbrauchswerte. Einige Objekte erfüllen die Niedrigenergiehaus-Definition mit etwas über 70 kWh/(m²a) strenggenommen nicht.

Zur Bestimmung der Energieeinsparung wurden sämtliche Gebäudedatensätze so verändert, daß nur noch die Anforderungen der seit 1984 gültigen WschVO erfüllt werden. Dazu wurden die Außenbauteile der Häuser durch die Standardbauteile ersetzt, gegenüber denen die im ersten Abschnitt dokumentierten Mehrkosten

bestimmt worden waren. In der Regel führt dies auf baugleiche Häuser mit Standard-Isolierverglasung (k-Wert: 2,6 bis 2,8 W/(m²K)), Leichthochlochziegelwänden (k-Werte zwischen 0,51 und 0,89 W/(m²K)), Dachdämmungen zwischen 12 und 15 cm Dicke und Kellerdecken mit k-Werten zwischen 0,5 und 0,6 W/(m²K). In allen Fällen ist die Bedingung $k_m \leq k_{m,max}$ der WschVO erfüllt [8]. Die resultierenden Energiekennwerte Heizwärme sind in Spalte 9 der Tabelle 2 dokumentiert. Die durch den NEH-Standard erreichte Einsparung ist die in Spalte 11 aufgeführte Differenz der Kennwerte des Objekts nach WschVO minus dem der NEH im realisierten baulichen Ist-Zustand.

Zur Methodik der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Eine Diskussion verschiedener Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung für Energiesparmaßnahmen und regenerative Energiegewinnung findet sich in [10]. Danach sind alle dynamischen Wirtschaftlichkeitskalküle auf der Basis der Barwerte aller Kostenarten mit der Nutzungsdauer der Einzelkomponenten als Betrachtungszeitraum gleichwertig und adäquat für die Fragestellung.

Besonders anschaulich ist die Anwendung der Annuitätenmethode, bei der sich die Kapitalkosten als jährlich konstante Annuitäten über die gesamte Nutzungszeit umlegen und so mit den eingesparten jährlichen Betriebskosten vergleichen lassen. Anschaulich sind die annuitätischen Kapitalkosten gleich den – bei Fremdfinanzierung – jährlich an Zins und Tilgung an das Kreditinstitut abzuführenden Beträgen. Eine besondere Anschaulichkeit wird erreicht, wenn diese Kosten auf die jährlichen Energieeinsparungen bezogen werden: Dadurch lassen sich die Kosten einer eingesparten Kilowattstunde (in Pf/kWh) bestimmen. Dies sind sozusagen die „Gestehungskosten“ einer durch Energiesparmaßnahmen gewonnenen „Einsparenergie“. Diese Kosten lassen sich mit den Bezugskosten für Energie oder auch mit den Kosten anderer Energiebereitstellungsalternativen vergleichen.

Zusätzlich zu den in Tabelle 1 aufgeführten baulichen Mehrkosten sind bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung

auch die Planungsmehrkosten und sonstigen Baunebenkosten zu berücksichtigen. Diese wurden für das Passivhaus detailliert als Differenz der Honorare nach der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) erhoben [7]: Es ergaben sich 9% der baulichen Mehrkosten. Dieser Prozentsatz wurde in Spalte 7 von Tabelle 2 auch für die übrigen Objekte verwendet.

Einen zusätzlichen Instandhaltungsaufwand gibt es bei den ergriffenen Wärmeschutzmaßnahmen nicht; im Gegenteil: Durch den guten Wärme-



Abb. 3: Passivhaus in extremer Ausführung (Darmstadt-Kranichstein).

schutz sinkt die Anfälligkeit der Substanz für Feuchteschäden. Dadurch bedingte Minderkosten werden aber in der hier vorgelegten Kalkulation nicht berücksichtigt. Auch andere Minderkosten (z. B. kleinere Heizkörper, kleinere Heizwärmeerzeuger) werden nicht berücksichtigt.

Konkret wurde hier mit folgenden Randbedingungen gerechnet: Der Kalkulationszinsfuß ist der üblicherweise im Zeitraum 1993/94 von hessischen Kreditinstituten geforderte effektive Jahreszins eines Hypothekenkredites ($p = 7,6\%$). Gerechnet wird mit dem um die Inflationsrate bereinigten Realzins (4,26%) mit einer Inflationsrate von 3,2%. Zugrunde liegt eine Nutzungsdauer von 30 Jahren für alle baulichen Energiesparmaßnahmen und von 15 Jahren für die Lüftungswärmerückgewinnung.

Wärmekosten für die Energieeinsparung

In der letzten Spalte von Tabelle 2 sind die Kosten der Einsparenergie in Pf/kWh für die hier betrachteten NEH, berechnet nach dem oben beschriebenen Verfahren, aufgeführt. Diese Kosten variieren zwischen 4 und 16 Pf/kWh (ohne Varianten Passivhaus). In

Abb. 4 sind diese spezifischen Einsparenergiekosten über dem erreichten wärmetechnischen Standard (Energiekennwert Heizwärme) aufgetragen. Es ergibt sich eine Punktwolke mit Schwerpunkt bei 67,2 kWh/(m²a) und 8,09 Pf/kWh.

Die Punkte mit Quadratsymbol in Abb. 4 kennzeichnen Wertepaare von spezifischen Einsparenergiekosten und Energiekennwerten der Varianten „A“ bis „F“ des Passivhauses. Diese liegen für das vollständig zum Standard-Niedrigenergiehaus abgespeckte Haus „F“ bei 63 kWh/(m²a) und 7,34 Pf/kWh bis zum Passivhaus im gebauten Ist-Zustand mit 10 kWh/(m²a) (gemessen) und 35,66 Pf/kWh. Letztere Kosten erscheinen auf den ersten Blick sehr hoch, sind aber bereits vergleichbar mit heutigen Kosten für den Strombezug und mit den Gestehungskosten von Nutzwärme aus herkömmlichen solarthermischen Kollektoranlagen zur Warmwasserbereitung. Die Variante „B“ zeigt darüberhinaus, daß bereits heute eine Reduktion auf 25 Pf/kWh möglich ist; der erreichte Energiekennwert Heizwärme beträgt weniger als ein Zwölftel gegenüber dem Referenzneubau nach WschVO!

Die ausgezogene Kurve in Abb. 4 gibt den aus den obigen Einzeldaten abgeleiteten Verlauf der Wärmekosten in Abhängigkeit von den erreichten Energiekennwerten Heizwärme an (supply-curve). Diese Kurve zeigt wie erwartet einen hyperbelförmigen Verlauf. Die herausgegriffenen Anhaltswerte sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Ausblick

Die Kostenkurve wurde für diese Untersuchung ausschließlich aus erhobenen Mehrkosten bereits realisierter Forschungs- und Demonstrationsbauvorhaben ermittelt. Nur die dort erhobenen Mehrkosten gingen in die Kalkulation ein – ebenfalls nachweisbare Minderkosten blieben unberücksichtigt. Auch die übrigen Vorteile, die sich durch die Verbesserung des wärmetechnischen Standards ergeben, werden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt; sie schlagen sich aber durchaus auch in reduzierten finanziellen Belastungen nieder, wenn sich diese auch nicht immer einfach ermitteln lassen:

- Durch den verbesserten Wärmeschutz ist ein erheblich besserer Schutz der Bausubstanz vor Feuchteschäden

und gegenüber Temperaturspannungen gegeben. Bei wohnraumüblichen relativen Feuchten kommt es im Niedrigenergiehaus an keiner Bauteiloberfläche zur Tauwasserbildung. Ein außenliegender Wärmeschutz begrenzt den Temperaturgang z. B. in der Mauerwerkskonstruktion im Sommer wie im Winter erheblich. Nachgewiesen ist, daß die Gleichgewichtsbaufeuchte in den gut gedämmten Konstruktionen niedriger bleibt als in konventionellen Bauten.

- Durch den besseren Wärmeschutz steigen die Innenoberflächentemperaturen aller Außenbauteile an. Dadurch ergibt sich ein verbessertes Raumklima (höherer Strahlungsanteil der Wärme) und eine bessere Nutzbarkeit der außenwandnahen Bereiche des Wohnraumes.
- Durch den sehr niedrigen Energieverbrauch ist das Risiko gegenüber künftigen Energiepreiskrisen reduziert. Bei den hier zugrunde gelegten Gebäuden wurde der Niedrigenergie-Standard durch zusätzliche Maßnahmen an der Gebäudehülle zur Verbesserung des Wärmeschutzes erreicht. Es gibt aber auch schon eine ganze Reihe von Beispielen, bei denen Häuser schon von vorn herein als NEH mit für solche Gebäude speziell angepaßten und optimierten Bauteilen errichtet wurden. Dadurch lassen sich die Kosten erheblich senken. Ein Beispiel ist die 1986 errichtete Niedrigenergie-Reihenhausanlage in Ingolstadt mit 11 Wohneinheiten und einem gemessenen Energiekennwert Heizwärme von 43 kWh/(m²a), bei welcher die Baukosten gegenüber den üblichen im sozialen Wohnungsbau nicht erhöht waren [11].

Zusammenfassung und Diskussion

Die aus abgerechneten Kosten gebauter Häuser ermittelte Kostenkurve für Einsparenergie in Abhängigkeit vom erreichten Energiekennwert Heizwärme zeigt, daß der Standard der neuen WschVO mit Wärmekosten von 3,5

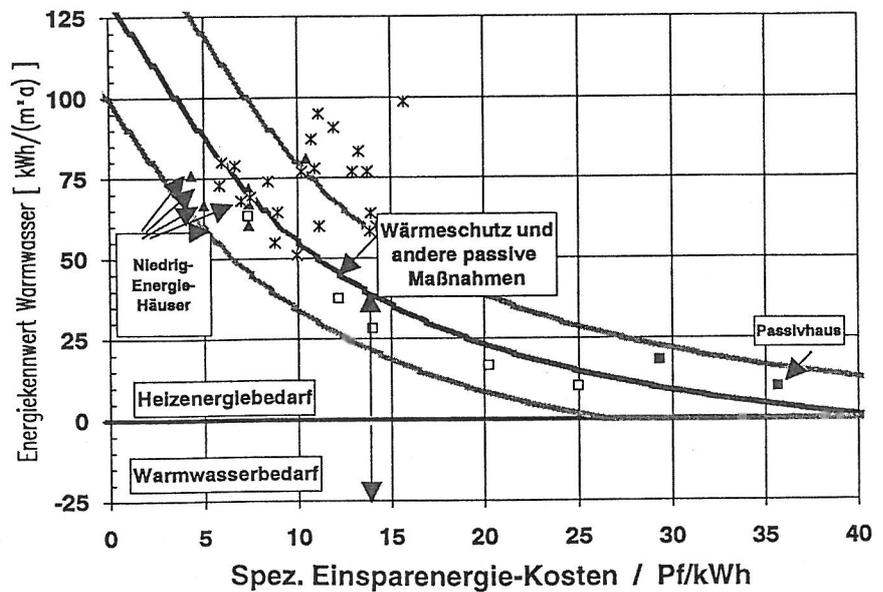


Abb. 4: Spezifische Einsparenergiekosten in Abhängigkeit vom erreichten wärmetechnischen Standard (Energiekennwert Heizwärme). Die Punkte kennzeichnen Wertepaare von spezifischen Einsparenergiekosten und Energiekennwerten (siehe Tabelle 2): Die Dreiecke entsprechen den Pos. 1 bis 6 der Tabelle, die Sternsymbole den Pos. 7 bis 28 und die Quadrate den Passivhaus-Standards (Pos. 29 bis 35). Die bereits realisierten Projekte (Passivhaus IST und Passivhaus 1991 „A“) werden durch ein schwarzes Quadratsymbol dargestellt, die berechneten (Passivhaus „B“ bis „F“) durch weiße Quadrate.

GRAFIK: IWU

Pf/kWh bereits heute wirtschaftlich ist: Der Nutzwärmepreis für eine Kilowattstunde Heizwärme aus einem Öl- oder Gaswärmereizger für ein Einfamilienhaus liegt bei über 6,4 Pf/kWh. Auch der Niedrigenergiehausstandard mit Wärmekosten von 7,4 Pf/kWh ist vor dem Hintergrund künftig real steigender Energiepreise als wirtschaftlich vertretbar anzusehen.

Weitergehende Energieeinsparungen führen zu steigenden Kosten der eingesparten Kilowattstunde, die aber selbst bei einem „guten Niedrigenergiehaus“ mit 40 kWh/(m²a) bei 13,6 Pf/kWh liegen und daher immer noch deutlich unter den Kosten jeder verfügbaren regenerativen Wärmebereitstellung und auch unter den gegenwärtigen Strompreisen bleiben.

Die Wärmekosten für die Energieeinsparung beim Forschungsprojekt Passivhaus (10 kWh/(m²a) bei 25 bis 35 Pf/kWh) liegen im Bereich heutiger Kosten für den Bezug von Haushaltsstrom und den Gesteuerungskosten der Wärme in konventionellen solaren Brauchwasseranlagen. Sie liegen am optimistischen untersten Kennwerte- und Kostenrand der Angaben von

Fisch et al. im Artikel [12] über „solare Nahwärme“ (27 bis 35 Pf/kWh) für die Wärmebereitstellung aus großen jahreszeitlichen Wärmespeichern. Die im genannten Artikel ebenfalls gemachten Angaben zu den Wärmekosten durch „Wärmeschutz/passive Maßnahmen“ liegen weit oberhalb der hier dokumentierten erhobenen Kosten und der hier abgeleiteten Kostenkurve. In [12] wurden die behaupteten Wärmekosten (weder für die solare Nahwärme noch für den Wärmeschutz) nicht aus erhobenen Kosten an realisierten Projekten, sondern aus Kostenschätzungen für projektierte Anlagen gewonnen.

Die hier vorgelegte Dokumentation zeigt, daß die Energieeinsparung durch Wärmeschutz und andere passive Maßnahmen am Neubau bis hinunter zu Energiekennwerten des Passivhauses (10 kWh/(m²a)) gegenüber allen in [12] diskutierten Alternativen die wirtschaftlichsten Maßnahmen zur Verringerung des fossilen Brennstoffverbrauchs sind. Schwedische Erfahrungen zeigen, daß Investoren bei Großsystemen zur solaren Wärmeversorgung gut beraten sind, wenn sie zunächst durch Einsparinvestitionen an den Gebäuden den Wärmebedarf so weit wie möglich senken. Dadurch verringern sich die Investitionen in die aufwendigere solare Kollektor- und Speichertechnik und die teure Solarwärme wird (wegen des geringen Verbrauchs) erst zumutbar.

Mit der vorgestellten Kostenkurve wird eine ökonomische Gesamtopti-

Energiekennwert		Wärmekosten
100 kWh/(m ² a)	(entspricht etwa der neuen WschVO 1995)	3,5 Pf/kWh
70 kWh/(m ² a)	(Niedrigenergiestandard)	7,4 Pf/kWh
40 kWh/(m ² a)	(gutes NEH)	13,6 Pf/kWh
10 kWh/(m ² a)	(Passivhaus-Standard)	29,0 Pf/kWh

Tabelle 3: Energiekennwerte und Wärmekosten

Literatur

mierung regenerativer Versorgungskonzepte möglich; im Ansatz wird dies in [13] versucht. Ein Optimum in der Kombination „bauliche Einsparung“ und „solare Wärmeversorgung“ dürfte sich danach in einem Bereich mit Heizwärmekennwerten um 30 kWh/(m²a) einstellen (Heizwärme + Warmwasser = 55 kWh/(m²a)). Wie schon Hörster 1980 [14] zeigte, wird die Solarenergienutzung erst mit fortgeschrittener Energietechnik attraktiv. Die „Solar-Freaks“ und die „Spar-Apostel“ sollten daher nicht in Grabenkämpfen die Ansätze der Kollegen angreifen, sondern sich um eine Umsetzung der bestehenden Potentiale im Interesse des Umweltschutzes bemühen. ■

WOLFGANG FEIST
MATTHIAS BIALLY
WERNER EICKE-HENNIG
TOBIAS LOGA
MARITA LÜNEBURG
JÜRGEN MILITZER

Dr. Wolfgang Feist, Dipl.-Ing. Werner Eicke-Hennig, Dipl.-Ing. Tobias Loga und Dipl.-Ing. Marita Lüneburg sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut Wohnen und Umwelt (IWU) in Darmstadt. Dipl.-Ing. Matthias Bially und Dipl.-Ing. Jürgen Militzer haben im Auftrag des IWU an der Datenerhebung mitgearbeitet. Dieser Artikel wurde im April 1994 verfaßt.

[1] Feist, Wolfgang: Erfahrungen mit Niedrigenergie- und Passivhäusern; Energieanwendung, 43. Jahrgang (1994), Heft 2, S. 71-76

[2] Eicke-Hennig, Werner: Investive Mehrkosten der Niedrigenergiebauweise, 1. Aufl., Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt, 1993

[3] Loga, Tobias und Menje, Horst: Mehrkosten für Wärmeschutz und Nahwärmeversorgung in der „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ (Niedernhausen); 1. Aufl., Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt 1994

[4] Passivhaus Darmstadt Kranichstein. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten und Institut Wohnen und Umwelt; 1. Aufl., Wiesbaden 1991; 3. Auflage 1994

[5] Feist, Wolfgang und Werner, Johannes: Passivhaus Darmstadt – Gesamtenergiekennwert < 32 kWh/(m²a); BundesBaublatt 1994, Heft 2, Februar 1994

[6] Ebel, Witta: Haushalts-Stromverbrauch: Senkung um 50% durch rationelle Energienutzung; Energieanwendung, 43. Jahrgang (1994), in Vorbereitung

[7] Militzer, Jürgen und Feist, Wolfgang: Analyse des Kosten-Nutzenverhältnisses der im Passivhaus Darmstadt ergriffenen Energiesparmaßnahmen; 1. Aufl., Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt (in Vorbereitung); 1994

[8] Lüneburg, Marita: Vergleich von Verfahren zur Berechnung des Energiekennwertes Heizwärme; 1. Aufl., Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt (in Vorbereitung); 1994

[9] Ebel, Witta: Rechenverfahren für den Wärmeschutznachweis auf der Basis von Energiekennwerten, 1. Aufl., Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt 1991

[10] Feist, Wolfgang: Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit bei wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen; Skriptum im Weiterbildenden Studium Energietechnik, Gesamthochschule Kassel 1983; auch in Schmidt, Helmut: Wirtschaftlichkeit und Finanzierungsprobleme rationaler Energienutzung; 1. Aufl., Darmstadt, Institut Wohnen und Umwelt, 1988

[11] Breustedt, Walter u.a.: Deutsch-schwedisches Gemeinschaftsprojekt Energiesparhäuser Ingolstadt-Halmstad, itp Frankfurt und LBS, München 1990

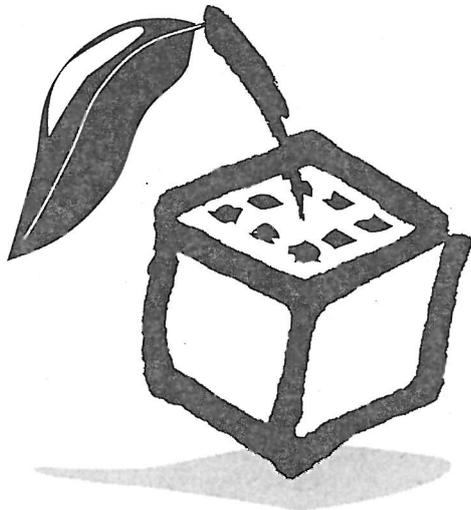
[12] Fisch, Norbert; Kübler, Rainer; Lutz, Anton; Hähne, Erich: Solare Nahwärme – Stand der Projekte; Sonnenergie und Wärmetechnik 1/94, S. 14-18

[13] Rentz, Michael: Kostenoptimierte Minimierung der CO₂-Emissionen bei saisonaler Wärmespeicherung“. 9. Internationales Sonnenforum, Stuttgart 1994 (in Vorbereitung)

[14] Hörster, H.: Wege zum energiesparenden Wohnhaus; Philips Fachbücher, Aachen 1980

ÖKO UND BAU

Fachmesse mit Kongreß für ökologisches Bauen.



1. 9. - 4. 9. '94



Mannheim, Maimarktgelände

Die Ausstellerunterlagen können Sie bei der Fachagentur ORTEC, Hausener Str. 32, 35463 Fernwald, Tel. 0641/94 00 6-0, Fax 0641/940 06-11 anfordern.

Wer die UMWELT schützt ...



hat gute Aktien!



Erwerben Sie jetzt unsere FAIREST - Umweltaktie und sichern Sie sich eine gute Rendite im Markt der Zukunft. Erzielen Sie gute Erträge und leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Umwelt. Rufen Sie bitte unseren Herrn Albig an.

Die FAIREST - Umweltaktie auch für den Kleinleger.

FAIREST Beteiligungs-Aktiengesellschaft an Handels- und Produktionsfirmen für Umwelttechnologie

Repräsentanz Deutschland:
Steinbeisweg 25 - 27, D-74 523 Schwäbisch Hall
Tel. 07 91 / 58 01 58, Fax 07 91 / 58 01 59