

**Meßbericht BPH 197/96**

**Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten  
der Heizperiode 1994 / 95 und 1995 / 96  
in der Ökosiedlung  
"Auf der Staig"**

Auftraggeber:  
Stadtverwaltung Donaueschingen  
Bauverwaltungsamt  
Rathausplatz 1  
78 166 Donaueschingen

Auftrag vom 08.11.1994 (Zeichen 60 HB/Ma)

Dieser Teilmeßbericht BPH 197/96 umfaßt 13 Seiten.  
Stuttgart, den 24.10.1996



Prof. Dr. Stohrer  
Projektleiter



Dipl.-Ing. (FH) B. Bordt  
Sachbearbeiterin

## **Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperiode 1994/95 und 1995/96 in der Ökosiedlung "Auf der Staig"**

### **Inhaltsverzeichnis**

1. Siedlungskonzeption
2. Ziele der meßtechnischen Untersuchung
3. Gegenüberstellung der Ergebnisse

### 5. Anhang

Bild 1: Lageskizze  
Bild 2a: Erdhügelhäuser  
Bild 2b: Holzblockhäuser  
Bild 2c: Solarhäuser

Tab. 1: Charakteristische Merkmale  
Tab. 2: Gegenüberstellung Energieverbrauchskennzahlen  
Tab. 3: Außen- und Innentemperaturen in Erdhügel- und Solarhäusern

### 6. Anlagen

Bericht BPH 197/96-1 Teil 1: Erdhügelhäuser  
Bericht BPH 197/96-2 Teil 2: Holzblockhäuser  
Bericht BPH 197/96-3 Teil 3: Solarhäuser

## Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperiode 1994/95 und 1995/96 in der Ökosiedlung "Auf der Staig"

### 1. Siedlungskonzeption

"Auf der Staig soll eine ganz normale Siedlung mit vielen Kindern und jungen Ehepaaren entstehen und gezeigt werden, daß jeder gesunde Niedrigenergiehäuser bauen kann."  
(Oberbürgermeister Dr. Everke)

Entsprechend dem Klimakonzept der Stadt Donaueschingen vom 16. Juni 1992 war bei der Konzeption der Ökosiedlung "Auf der Staig" der Heizenergiebedarf der Häuser auf das Niedrigenergiehausniveau zu beschränken, wobei wo möglich Sonnenenergie eingesetzt werden sollte. Die Vorstellung war ein Heizenergieverbrauch von  $6 \text{ m}^3$  Gas pro  $\text{m}^2$  und Jahr ( $60 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ). Das Demonstrationsbauvorhaben sollte es Handwerkern, Architekten und Bauherren ermöglichen, praktische Erfahrungen mit ökologischen Bauzielen und den erhöhten Anforderungen an Planung, Ausführung und Betrieb zu sammeln.

Die Vorgaben wurden mit drei Gebäudeentwürfen angegangen, siehe Bild 1:

- a.) Erdhügelhäuser: neun Holzständerhäuser mit vollständig begrünter Dachfläche  
Projektträger: ARCHI NOVA, Bönnigheim  
Architekt: Dipl.-Ing. Jürgen Carstens, Bönnigheim  
Planungsidee: Ein neues Hauskonzept, bei dem sowohl Energie- als auch Baukosten gesenkt werden sollen.  
Die Gewölbekonstruktion gibt maximale Freiheit bei der Raumaufteilung bei einem optimalen Verhältnis von Oberfläche zu Volumen.  
Durch die gewählte Bauweise soll ein gesundes Raumklima geschaffen werden.  
Der Natur wird durch die Erdüberdeckung verbautes Land zurückgegeben.
- b.) Solarhäuser: sechs Atrium-Häuser verbunden zu einer Hausreihe  
Projektträger: Kraftwerke Lauffenburg, Donaueschingen  
Architekt: Ludszuweit, Dipl.-Ing. freie Architekten BDA, Donaueschingen  
Planungsidee: Ein hoch wärmegeprägter Massivbau mit hoher Wärmespeicherkapazität und hohem Solargewinn soll Energie einsparen.  
Integrierter Wintergarten, transparente Wärmedämmung und Sonnenkollektoren auf dem Dach prägen das Aussehen der Häuser.  
Entsprechend dem Dämmstandard und dem Solarenergiekonzept kann die Heizung von April bis Oktober ausgeschaltet bleiben.  
Der Anteil der Solarenergie für Heizung und Warmwasserbereitung soll 50% betragen.

- c.) Holzblockhäuser: fünf Reihenhäuser in Niedrigenergiebauweise  
Projektträger: Josef Keilhöfer GmbH, Zwiesel  
Architekt: Dipl.-Ing., Dipl.-Ing. Ulrich Weber, Freier Architekt, Tuttlingen  
Verkauf /  
Baubetreuung: Wilfried Schmidt und Joachim Schmidt-Stania, Donaueschingen  
Planungsidee: "Das Haus soll wie eine dritte Haut sein: atmungsfähig und wie auch die zweite Haut, die Kleider, sollte es keine künstlichen Stoffe enthalten."  
Der Gesamtenergieverbrauch soll durch äußerst strenge ökologische Bauanforderungen auf ein wirtschaftlich sinnvolles Minimum optimiert werden.  
Wandflächenheizsystem als Infrarot-Strahlungsheizung (Kachelofenprinzip).

In Tabelle 1 sind die charakteristischen Merkmale Hauskonzeptionen zusammengestellt.

Die Planung und Ausführung wurde von den jeweiligen Projektträgern und Architekten eigenverantwortlich durchgeführt. Einzelne städtebauliche und bauphysikalische Fragestellungen wurden bei gemeinsamen Besprechungen zwischen Projektträger, Architekt, Stadtplanungsamt Donaueschingen, Forschungsgemeinschaft Bauphysik Stuttgart und Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg diskutiert. Der Aufgabenbereich der Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft Bauphysik e.V. war auftragsgemäß auf die wissenschaftliche Begleitung des Demonstrationsbauvorhabens beschränkt.

## 2. Ziele der meßtechnischen Untersuchung

Zur energetischen Beurteilung des Planungskonzepts wurden unter standardisierten Klimaverhältnissen und einem normgerechten Nutzerverhalten rechnerisch der aus der Baukonstruktion folgende Jahresheizwärmebedarf bestimmt; einheitlich wurde dazu das auf der europäischen Norm DIN EN 832 bestehende Software-Simulationsverfahren ENERBED eingesetzt. Theoretisch wurden folgende Werte für den spezifischen Heizwärmebedarf erwartet, wobei die beheizte Fläche als beheizte Energiebezugsfläche (brutto) nach SIA 380/1 angesetzt ist. (Die WSV 95 berechnet dagegen die Gebäudenutzfläche aus dem beheizten Bruttobauwerksvolumen nach der Beziehung  $A_N = 0,32 \cdot V$ .) :

- a.) Erdhügelhäuser: 25,9 kWh je m<sup>3</sup> beheiztes Volumen und Jahr  
67,8 kWh je m<sup>2</sup> beheizte Fläche und Jahr
- b.) Solarhäuser: 16,9 kWh je m<sup>3</sup> beheiztes Volumen und Jahr  
47,2 kWh je m<sup>2</sup> beheizte Fläche und Jahr
- c.) Holzblockhäuser: Nordhaus: 21,3 kWh je m<sup>3</sup> beheiztes Volumen und Jahr  
47,2 kWh je m<sup>2</sup> beheizte Fläche und Jahr  
Mittelhaus: 66,8 kWh je m<sup>2</sup> beheizte Fläche und Jahr  
Südhaus: 57,1 kWh je m<sup>2</sup> beheizte Fläche und Jahr



In einer Meßkampagne während der Heizperiode 1994/95 sollten die prognostizierten Heizwärmebedarfswerte durch Verbrauchsmessungen der Energieträger überprüft werden. Der so berechnete Jahresheizwärmebedarf liegt bei den Erdhügelhäusern und den mittleren Holzblockhäusern ca. 10 % über dem Planungsgrenzwert von  $60 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ . Angesichts der neuartigen Bauweisen dieser beiden Niedrigenergiehauskonzeptionen wurde jedoch das Wärmedämmkonzept nicht geändert, weil vermutet wurde, daß im Betrieb diese Werte geringer liegen.

Aus finanzieller Beschränkung wurde eine Meßkonzeption entwickelt, bei dem die Verbrauchsstände der Wärmezähler, Gaszähler, Stromzähler, Warm- und Kaltwasserzähler in periodischen Abständen (ca. 1 Woche) von den Bewohnern in eine Liste eingetragen und zur Auswertung der FEB zur Verfügung gestellt werden.

Eine Messung der Raumtemperaturen, der Außentemperatur oder des lokalen Klimas mit Hilfe eines Datenerfassungssystems kam nur für den Zeitraum vom 17. Februar 1996 bis zum 17. Juni 1996 zustande (siehe Tab.3).

Folgende Meßwerte wurden über Formblätter erfaßt:

In den einzelnen Häusern:	WZ-H	Wärmezähler Heizung in MWh
	WW-H	Wärmezähler Warmwasser in MWh
	W-H	Warmwasserzähler in $\text{m}^3$
	KW-H	Kaltwasserzähler in $\text{m}^3$
	GZ-H	Gaszähler Haushalt in $\text{m}^3$
		Gaszähler Heizung und Warmwasser in $\text{m}^3$
	SZ-H	Stromzähler Haushalt in kWh
In der Heizzentrale:	WZ-WW	Wärmezähler Warmwasser in MWh
	WZ-SW	Wärmezähler Solaranlage in MWh
	GZ-Z	Gaszähler Heizung und Warmwasser in $\text{m}^3$
	KW-Z	Kaltwasser für Warm- und Kaltwasser in $\text{m}^3$
	SZ-H	Stromzähler in kWh

### 3. Gegenüberstellung

In der ersten Heizperiode 1994/95 lassen sich spezifische Jahresverbräuche lassen sich nur bei den Erdhügelhäusern und zweien der Holzblockhäusern auswerten. Bei den Erdhügelhäusern sind die Daten weitgehend vollständig, bei den Holzblockhäusern liegen sie wegen Umplanungen und Bauverzögerungen nur für zwei Bauten vor, die Solarhäuser gingen erst kurz vor Beginn der Winterzeit in Betrieb; die Daten wurden in der ersten Heizphase der Solarhäuser jedoch nicht registriert.

In der zweiten Heizperiode 1995/96 liegen von weitgehend allen Häusern Verbrauchsdaten vor, so daß die spezifischen Jahresverbräuche berechnet werden konnten. Bei den Holzblockhäusern und den Solarhäusern fehlen von jeweils einem Gebäude die Verbrauchsdaten, und damit gibt es für diese zwei Gebäude keine spezifischen Jahresverbräuche.

Die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Hausprojekte sind in der Anlage beigefügt; Teil 1 für die Erdhügelhäuser, Teil 2 für die Holzblockhäuser und Teil 3 für die Solarhäuser enthält jeweils die Meßanordnung, die gemessenen Verbräuche sowie die Auswertung der Meßdaten. Außerdem wurde eine erste grobe Analyse der Meßdaten durchgeführt.

Die spezifischen Jahresverbräuche in der Heizperiode II 1995/96 wurden in Tabelle 2 als volumenbezogene Energieverbrauchskennzahlen gegenübergestellt.

Hierbei ergibt sich folgendes Bild:

**Heizwärme:** Die Verbräuche schwanken zwischen 4,3 und 31,4 kWh/m<sup>3</sup>a im Mittel bei ca. 16 kWh/m<sup>3</sup>a.  
Die Erdhügelhäuser sind i.a. am niedrigsten, die Holzblockhäuser am höchsten und die Solarhäuser dazwischen, tendieren aber zu den Holzblockhäusern. Bei den Solarhäusern gab es noch in der Heizperiode II das Problem der Bautrocknung und des Zusatzwärmebedarfs beim Einzug (wegen später Fertigstellung und spätem Bezug).

**Warmwasser:** Die Verbräuche schwanken zwischen 7,1 und 63 m<sup>3</sup>/a, im Mittel bei 35 m<sup>3</sup>/a.  
Die Heizwärmekennzahlen für Warmwasser schwanken zwischen 1,2 und 7,5 kWh/m<sup>3</sup>a, im Mittel bei 4,2 kWh/m<sup>3</sup>a.

Es zeigt sich eine starke Nutzerabhängigkeit und ein Bewohnerzahleinfluß, deshalb ist die Korrelation zum Haustyp sinnlos.

Die tatsächliche Aufenthaltsdauer und Nutzung der Wohnung sind entscheidend.

**Elektro:** Die Verbräuche schwanken von 3 bis 13,1 kWh/m<sup>3</sup>a, im Mittel bei 7,2 kWh/m<sup>3</sup>a  
Es gibt ebenfalls keine Haustypbeziehung, sondern starke Nutzerabhängigkeit (Bewohnerzahl, Art des Küchenherds, Elektrifizierung des Haushalts, Energiespargeräte)

Gas Haushalt: Nur die Erdhügelhäuser haben Gasherde, nicht die Solarhäuser und Holzblockhäuser,  
deshalb ist kein Ergebnisvergleich sinnvoll.

Aus den mit Wärmezählern gemessenen Werten des Heizkessels für das Heizwärmenetz der Häuser und den für die Warmwasserbereitung sowie dem Gasverbrauch in der Heizperiode ergeben sich die mittleren Jahresnutzungsgrade des Heizkessels in der Heizperiode II unter Annahme eines unteren Brennwertes des Erdgases von  $37\,000\text{ kJ/m}^3$ .

Mittlerer Jahresnutzungsgrad:            bei den Erdhügelhäuser 82 %  
   bei den Holzblockhäusern zwischen 90 % und 100 %  
   bei den Solarhäusern 89 %

Der vergleichsweise niedrige mittlere Jahresnutzungsgrad von 82 % bei den Erdhügelhäusern hat vermutlich seine Ursache in der niedrigen Heizenergieabnahme, da gegenüber der Bedarfsplanung der Heizwärmeverbrauch im Mittel um 50 % niedriger liegt. Holzzusatzheizung und der erheblich niedrigere Heizwärmeverbrauch reduzieren die Heizwärmeanforderungen an die Heizung gegenüber der Planung und verringern dadurch den mittleren Jahresnutzungsgrad.

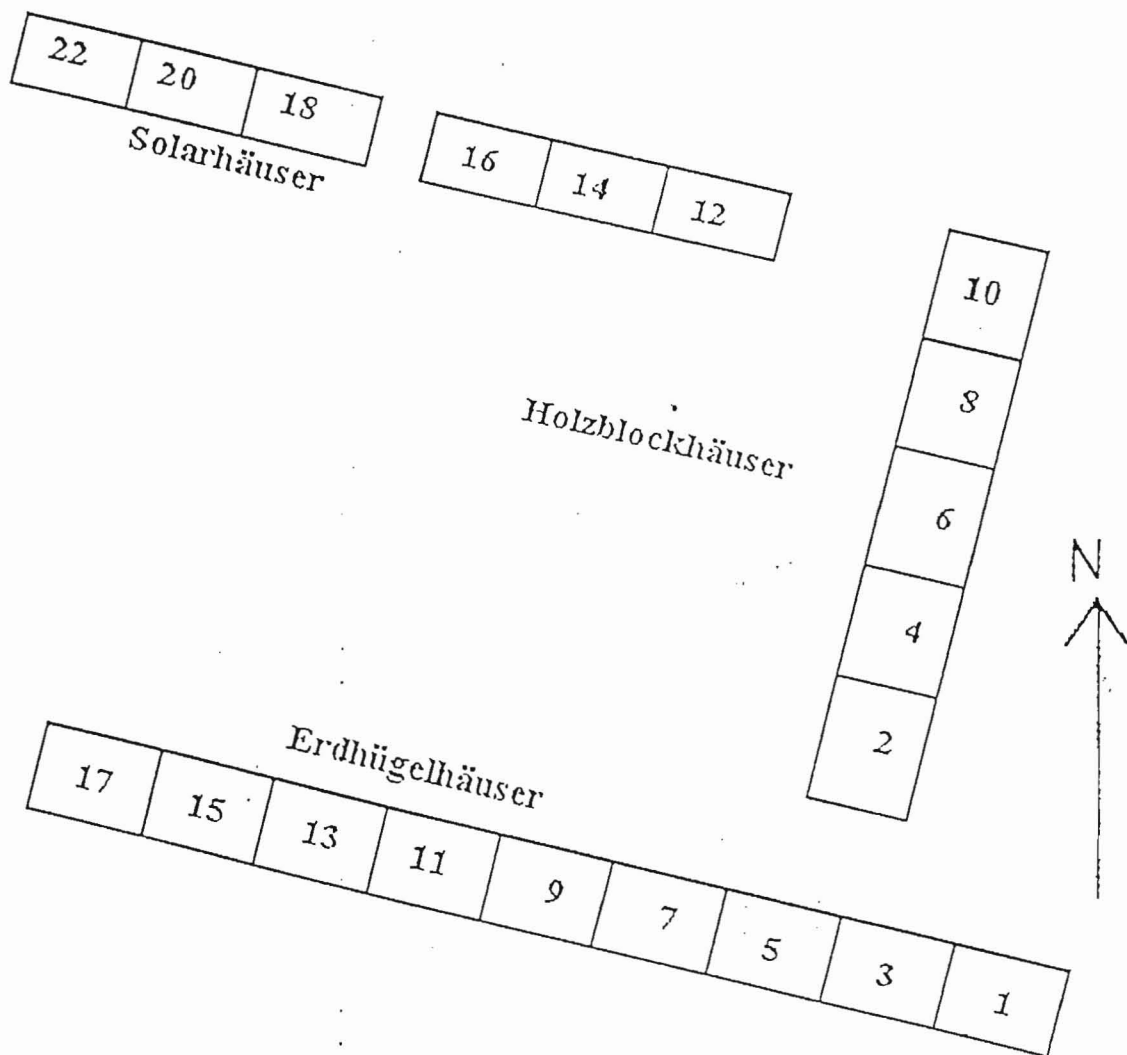


Bild 1: Lageskizze



Bild 2a: Bild Erdhügelhäuser

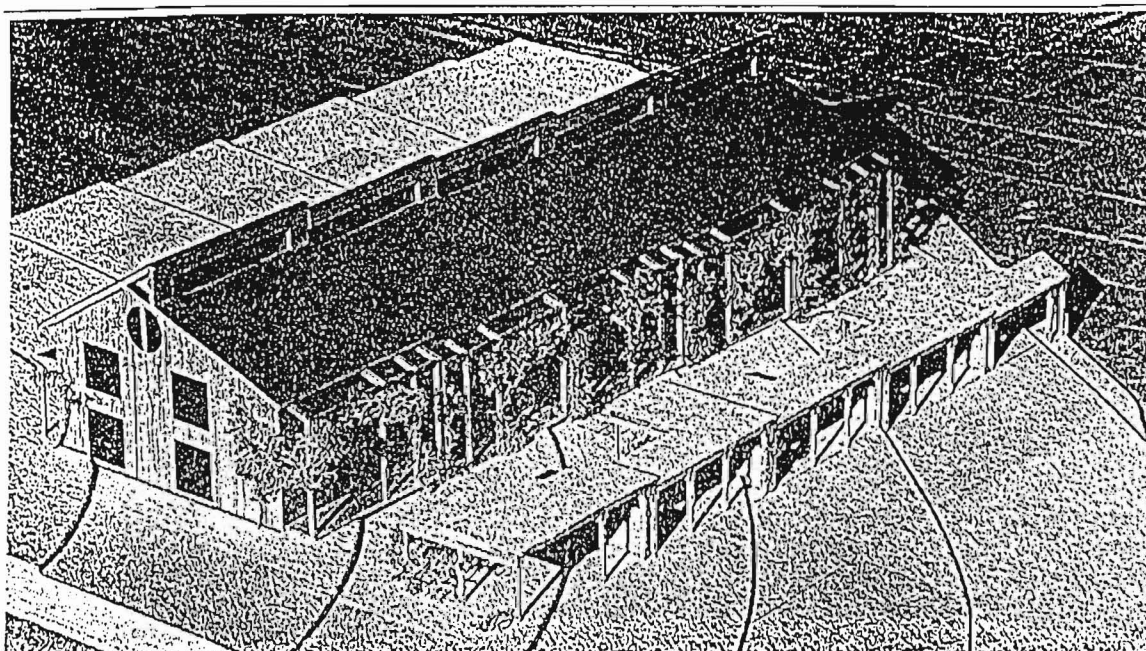


Bild 2b: Bild Holzblockhäuser

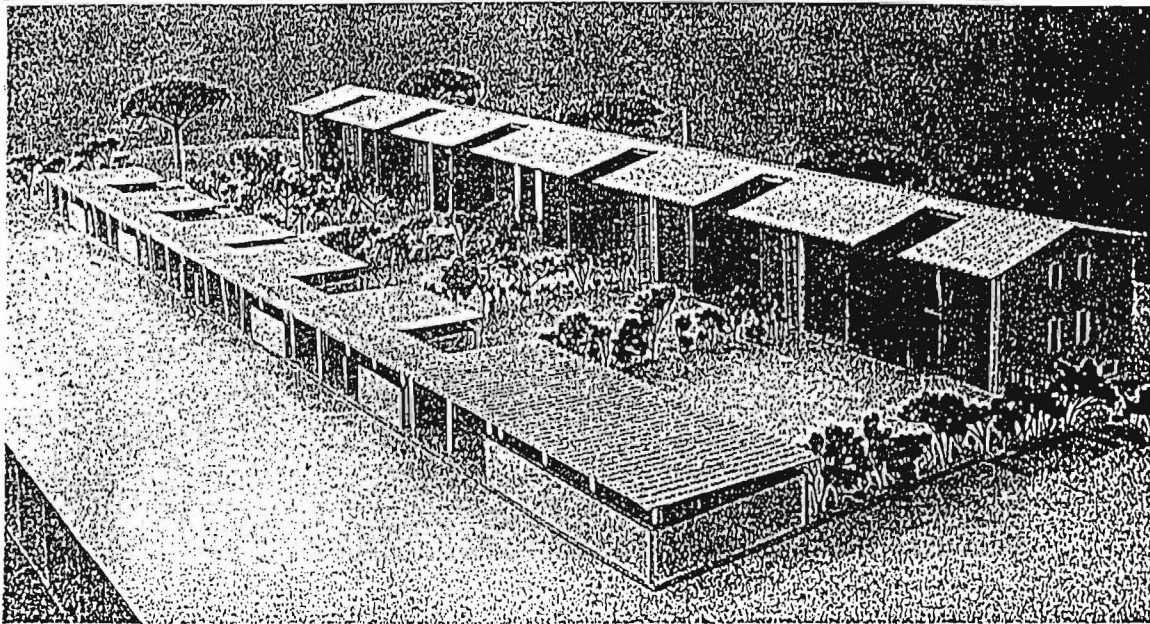


Bild 2c: Bild Solarhäuser

	Ge- bäude- typ	Verbrauchs- daten erfassung	Bemerkungen
Solarhaus 12	EFH mit ELW	ab August 1994	Einzug Oktober 1994 Wintergarten, Holzofen
Solarhaus 14	EFH	ab Januar 1995	Einzug September 1994 Wintergarten
Solarhaus 16	EFH	ab März 1995	Einzug Oktober 1994 Wintergarten
Solarhaus 18	EFH	Daten unvollständig	Einzug August 1994 Wintergarten
Solarhaus 20	EFH mit Büro (UG)	ab Jan 95	ab Juli 95 bewohnt mit Büro, vorher nur Büronutzung, Wintergarten
Solarhaus 22	EFH mit ELW	ab Nov 94	Einzug September 1994 Wintergarten
Holzhaus 2	EFH	seit Februar 1995	Einzug März 1994 Wintergarten
Holzhaus 4	ZFH	regelmäßig seit Februar 1994	Einzug Dezember 1993 Wohnraum im UG
Holzhaus 6	EFH	seit Januar 1995	Einzug Juli 1994
Holzhaus 8	ZFH	keine Daten	noch nicht bezogen
Holzhaus 10	EFH	regelmäßig seit Januar 1994	Einzug Juli 1993, Wintergarten, Luftungsanl.
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug Mai 1993, Wohnraum im UG, Wintergarten
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug August 1993, Wohn- raum im UG, Wintergarten, Heizen mit Holzofen !
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug September 1993 Wohnraum in UG
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug März 1994, Heizen mit Holzofen ab Jan 95
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug August 1993
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug August 1993 kein Holzofen
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug August 1993 kein Holzofen
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994	Einzug Dezember 1993 Wintergarten
Erdhügelhaus	EFH	regelmäßig seit März 1994 EFH	Einzug Oktober 1993 Wohnraum in UG, Winter- garten, kein Holzofen

Tabelle 1: Charakteristische Merkmale



	Volumen beheizt m <sup>3</sup>	Heizwärme- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Warm- wasser- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Strom- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Gas- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Gesamt- energie- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Zeit- raum
Solar- haus 12	542	- 14	- 1,8	- 3	nicht vor- handen	- 18,8	94/95 95/96
Solar- haus 14	434	- 20,6	- 3,6	- 6,4		- 30,6	94/95 95/96
Solar- haus 16	434	- 26,2	- 6,1	- 13,1		- 45,3	94/95 95/96
Solar- haus 18	434	- Daten unvollst.	- Daten unvollst.	- Daten unvollst.		- -	94/95 95/96
Solar- haus 20	596	- 19,9	- 3,9	- 12,9		- 36,7	94/95 95/96
Solar- haus 22	542	- 25,7	- 5,5	- 12,6		- 43,8	94/95 95/96
Holz- haus 2	650	- 28,1	- keine Daten	- 7		nicht vor- handen	- -
Holz- haus 4	759	20 19,6	4,3 3,7	7,2 7,4	31,5 30,7		94/95 95/96
Holz- haus 6	650	- 31,4	- 3,1	- 5,8	- 40,4		94/95 95/96
Holz- haus 8	650	- -	- -	- -	- -		94/95 95/96
Holz- haus 10	650	21,7 20,3	2,5 2,6	8,1 8,6	32,3 31,5		94/95 95/96
Erdhügel- haus 1	511	14,1 13,6	4,8 4,1	- 6,7	kein Gas		- 24,4
Erdhügel- haus 3	437	3,8 6,1	3,6 4,2	- 5,6	kein Gas	- 15,9	94/95 95/96
Erdhügel- haus 5	445	10,5 5,4	1,2 0,9	3,6 4,4	0,3 0,4	15,6 11,1	94/95 95/96
Erdhügel- haus 7	405	14 4,3	4,6 4,8	8 6,9	kein Gas	26,6 16	94/95 95/96
Erdhügel- haus 9	405	15,6 17,9	4,3 4,4	- 4,1	0,4 0,3	- 26,7	94/95 95/96
Erdhügel- haus 11	405	10,9 17,7	4,2 5	9,6 9,6	0,6 1,1	25,2 32,7	94/95 95/96
Erdhügel- haus 13	405	15,7 17,7	3,6 4,6	4,4 4,2	1,6 1,5	25,2 28	94/95 95/96
Erdhügel- haus 15	405	12,8 14,8	5 5,3	7 6	0,8 1,2	25,5 27,3	94/95 95/96
Erdhügel- haus 17	486	13,3 15,7	8,3 7,5	5,8 5,6	1,6 1,5	29 30,3	94/95 95/96

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Energieverbrauchskennzahlen



	17.2. - 29.2. °C	1.3. - 31.3. °C	1.4. - 30.4. °C	1.5. - 31.5. °C	1.6. - 17.6. °C	QH kWh/m <sup>3</sup> a
9 La Erdbügelhäuser	- 0,7	2,3	8,8	12,8	19,3	
9 Li Erdbügel 5 (mit Holzofen)	18,7	19,4	19,0	19,2	23,8	5,4
9 Li Erdbügel 15 (Holzofen)	19,6	19,4	20,4	20,8	23,1	14,8
9 Li Erdbügel 17 (ohne Holzofen)	21,3	21,2	20,9	20,8	22,8	15,7
9 La Solarhäuser	- 3,3	- 0,2	6,3	8,5	-	-
9 Li Solarhaus 14	22,6	22,4	22,7	20,9	-	20,6
9 Li Solarhaus 16	18,4	18,4	19,3	19,6	-	26,2
9 Li Solarhaus 20	22,3	22,3	22,4	21,6	-	19,9
Ansatz Enerbed 9 La	0,0	3,05	8,11	12,0	-	-
Ansatz Enerbed 9 Li	20,0	20,0	20,0	20,0	-	

Tabelle 3: Heizperiode 1995/96 (Ausschnitt Febr. - Juni)  
 Außen- und Innentemperaturen in Erdbügel- und Solarhäusern

**Meßbericht BPH 197/96-1**

**Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten  
der Heizperioden 1994 / 95 und 1995 / 96  
in der Ökosiedlung  
"Auf der Staig"**

**Teil 1: Erdhügelhäuser**

Auftraggeber:  
Stadtverwaltung Donaueschingen  
Bauverwaltungsamt  
Rathausplatz 1  
78 166 Donaueschingen

Auftrag vom 08.11.1994 (Zeichen 60 HB/Ma)

Dieser Teilmeßbericht BPH 197/96-1 umfaßt 15 Seiten.  
Stuttgart, den 24.10.1996



Prof. Dr. Stohrer  
Projektleiter



Dipl.-Ing.(FH) B.Bordt  
Sachbearbeiterin

## Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperiode 1994/95 ( I ) und 1995/96 ( II ) in der Ökosiedlung "Auf der Staig"

### Teil 1: Erdhügelhäuser

#### Inhaltsverzeichnis

1. Untersuchungsziel

2. Meßobjekt

3. Meßkonzeption

4. Meßwerte

5. Auswertung

6. Zusammenfassung

7. Anhang

Bild 1: Anlagenkonzeption und Meßfühlerpositionen

Tab. 1: Charakteristische Merkmale

Tab. 2: Übersicht über die erfaßten Verbrauchswerte  
in der Meßperiode I vom 27.03.1994 bis 26.03.1995  
und der Meßperiode II vom 27.03.1995 bis 25.03.1996

Tab. 3: Gemessene Heizwärmeverbräuche im Vergleich zur  
Heizwärmebedarfsberechnung nach DIN EN 832 und  
den Anforderungen der Wärmeschutz-V. '94

Tab. 4: Energiekennzahlen

Tab. 5: Pro-Kopf-Verbräuche

Diagramm 1: Übersicht über die Energieverbräuche

## Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperioden 1994/95 und 1995/96 in der Ökosiedlung "Auf der Staig"

### Teil 1: Erdhügelhäuser

#### 1. Untersuchungsziel

Im Rahmen der Kontrolle der ökologischen Ansätze für die Ökosiedlung "Auf der Staig" sollten die Verbrauchswerte erfaßt werden, um aus gemessenen Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauchswerten den Erfolg der energiesparenden Planung und Ausführung untersuchen zu können. Mit Hilfe der Messungen sollten auch die Nutzereinflüsse quantifiziert werden.

#### 2. Meßobjekt

Mit der Konzeption der Erdhügelhäuser sollte im Rahmen des Demonstrationsbauvorhaben Ökosiedlung "Auf der Staig" Donaueschingen durch eine Erdüberdeckung der Gebäude und durch einen besonders hohen Wärmeschutz sowie durch die Verwendung von Holz, Cellulosedämmmaterial und Kork das ökologische Ziel erreicht werden. Zur Minimierung der Emissionsbelastung wurde das Konzept einer zentralen Brennwert-Gasheizung mit solarer Warmwasserbereitung und einer Nahwärmeversorgung aller Erdhügelhäuser verwirklicht. Die Heizwärmebereitstellung wird zum Teil durch zusätzliche Holzöfen unterstützt.

#### 3. Meßkonzeption

Aus Kostengründen wurde keine automatische Meßwerverfassungskonzeption ausgeführt. Die Verbrauchswerte an Heizwärme, Warm- und Kaltwasser sowie Strom wurden durch alle Bewohner nach Anleitung in Formblätter übertragen und zur Auswertung der FEB zugesandt. Vorgesehen war, daß über die Steuerung der Heizanlage die Thermostat-Temperaturwerte als charakteristische Werte für die Innenlufttemperatur über eine Datenerfassungsanlage aufgezeichnet werden; darüber hinaus sollte der Außenfühlerwert der Heizanlage als Außentemperaturmeßgröße mitgeschrieben werden.

Im vorliegenden Untersuchungszeitraum kam es nicht zu einer diesbezüglichen Ausrüstung der Heizanlage, so daß diese Werte nicht vorliegen.

In Bild 1 ist der Meßaufbau zur Erfassung der Energieverbrauchswerte der Erdhügelhäuser skizziert.

#### 4. Meßwerte

Die Belegung der einzelnen Erdhügelhäuser, der zusätzliche Anbau eines Wintergartens und im starken Maße der Einzugstermin (Meßperiode I) beeinflussten die gemessenen Verbrauchswerte; Tabelle 1 faßt diese charakteristischen Merkmale zusammen. Die Verbrauchswerte wurden in den einzelnen Erdhügelhäuser und in der gemeinsamen Heizzentrale im allgemeinen im Wochenrhythmus abgelesen.

Während die Heizwärme- und Warmwasserverbrauchswerte etwa ab März 1994 abgelesen wurden, setzte die regelmäßige Notierung der Stromverbräuche erst zum Februar 1995 ein; diesbezügliche Formblätter fanden erst ab diesem Zeitpunkt konsequent Verwendung.

#### 5. Auswertung

Obwohl zum Teil die Daten einzelner Erdhügelhäuser über das Heizjahr hinweg Datenlücken aufzeigen, können aus den registrierten Anfangs- und Endzählerständen sehr wohl Jahreswerte gebildet werden.

In Tabelle 2 sind für die Meßwerte der Periode I vom 27.03.94 bis 26.03.95 und die Periode II vom 27.03.95 bis 25.03.96 die absoluten Jahresverbrauchswerte des Gasverbrauchs im Haushalt, des Heizwärme- und Warmwasserverbrauchs pro Haus sowie der Elektroverbrauch zusammengestellt. Zusätzlich ist der Jahresverbrauch an Heizwärme für die zentrale Warmwasserbereitung und der Jahresgewinn aus der solaren Warmwassererwärmung, der Jahresgasverbrauch der Heizzentrale, die Kaltwassermengen insgesamt und für den Warmwasserverbrauch sowie der Stromverbrauch in der Heizzentrale für Heizkessel, Aggregate und Licht aufgeführt.

Das Diagramm 1 zeigt ebenfalls übersichtlich die einzelnen Energieverbräuche jedes Erdhügelhauses in der Heizperiode I und II.

##### 5.1 Hauskenngrößen

Aus den Jahresverbräuchen wurden zum besseren Vergleich volumen- bzw. flächenspezifische Kennwerte berechnet; diese sind in den Tabellen 4 bis 6 zusammengestellt. Das Volumen  $V$  wird von der Hüllfläche  $A$  im Außenmaß von Oberkante Decke bis Oberkante Decke begrenzt. Die Gebäudenutzfläche  $A_N$  wird entsprechend der Wärmeschutzverordnung '94 aus dem Bruttogebäudevolumen  $V$  nach der Beziehung  $A_N = 0,32 * V$  berechnet. Demgegenüber ist die Wohnfläche  $A_{Wfl}$  auf der Basis der Wohnflächenberechnung nach DIN 277 ermittelt.

Die Berechnung der Heizenergiezahlen nach Enerbed472 und die Anforderungen der WSchV '94 gehen von einer mittleren Heizperiodentemperatur bzw. einer Gradtagzahl aus. Den Anforderungen nach der WSchV liegt die Gradtagzahl von Würzburg  $G_t = 3883 \text{ Kd}$  zugrunde. Im Gegensatz dazu wurden die Berechnungen nach Enerbed472 mit dem Klimasatz München durchgeführt. Donaueschingen liegt ungefähr auf dem gleichen Breitengrad wie München (vergleichbare Solareinstrahlung) und hat einen ähnlichen Außentemperaturverlauf (vergleichbare niedrigste Zweitagesmittelwerte der Außentemperatur).

Im Vergleich zum Klima in Würzburg ist das Münchener Klima härter, die Gradtagzahl bei einer Heizgrenztemperatur von 15°C ist um ca. 10% höher in München als in Würzburg und erreicht den Wert  $G_t = 4265 \text{ Kd}$ .

Gegebenenfalls vorhandene Wintergärten sind bei der Heizwärmebedarfsberechnung nicht berücksichtigt worden. Zum Berechnungszeitpunkt waren die derzeit angebauten Wintergärten noch nicht geplant.

Ein Vergleich der berechneten mit den tatsächlichen Heizwärmezahlen ist schwierig, weil die tatsächlichen Heizwärmezahlen stark davon abhängen, wie "streng" der Winter, d.h. wie tief die mittlere Außentemperatur der Heizperiode war. Es müßten die gemessenen mittleren Außentemperaturen herangezogen werden, um die Gradtagzahl einer definierten Heizperiode zu korrigieren.

Beim Vergleich der gemessenen Verbräuche mit den berechneten Wärmebedarfswerten muß berücksichtigt werden, daß hier unterschiedliches Nutzerverhalten einen starken Einfluß ausübt. So ist die nutzerbedingte Lüftung unklar; auch das nutzerbestimmte Innentemperatur-niveau wirkt sich entscheidend auf den Heizwärmeverbrauch aus.

Die Auswertung in Abhängigkeit von der Innentemperatur der Häuser konnte nur ansatzweise ausgeführt werden, da nur Innentemperaturwerte von Mitte Februar 1996 bis Mitte Juni 1996 vorlagen. Damit war es schwierig, aus den gemessenen Temperaturen auf eine gesamte Heizperiode hochzurechnen bzw. hängt es davon ab, ob die prozentuale Änderung der gemessenen Temperaturen auf die gesamte Heizperiode ansetzbar ist. Demnach wird auch eine Gradtagzahlkorrektur nahezu unmöglich, da nicht eindeutig ist, eine um wieviel verminderte Gradtagzahl sich durch verminderte Innentemperaturen ergibt.

Unter Tabelle 3 sind die gemessenen Heizwärmezahlen den berechneten Heizwärmezahlen und den Anforderungen nach der WSchV gegenübergestellt. Der Vergleich zwischen Berechnung und Verbrauch ist aus obigen Gründen mit Vorsicht zu betrachten. Außerdem fällt in der Regel in der ersten Heizperiode ein zusätzlicher Heizwärmebedarf für die Bautrocknung an.

Die Energieverbrauchskennzahlen für Heizwärme, Strom, Warmwasser, Gas und Gesamtenergie in der Tabelle 4 sind auf das beheizte Volumen pro Jahr bezogen. Wie bei der Methode der WSchV '94 ist damit die Bezugsgröße das außenmaßbezogene beheizte Nutzvolumen. Nutzvolumen zu erstellen, das ist ja die übliche Bauzielsetzung.

Eine andere Bezugsgröße ist die Anzahl der Hausbewohner und deren jeweiliges Verbrauchsverhalten. In Tabelle 5 ist der Pro-Kopf-Verbrauch für ein Jahr zusammengestellt.

## 5.2 Hauskenngrößen im Vergleich: Heizperiode 1994/95 und 1995/96

Die Erdhügelhäuser Nr. 9, 13, 15 und 17 weisen eine um circa 10 % erhöhte Heizwärmekennzahl auf, was vermutlich auf den härteren Winter 95/96 zurückzuführen ist (läßt sich mit einer ~10 % höheren Gradtagzahl des Winters 95/96 im Vergleich zum Winter 94/95 erklären).

Die Erdhügelhäuser Nr. 1, 5 und 7 zeigen eine deutliche Verringerung des Heizwärmebedarfs in der Heizperiode 95/96 gegenüber 94/95. In allen Erdhügelhäusern ist eine Holzzusatzheizung vorhanden. Dem Einfluß dieser unkontrollierten Zuheizung wird dieser Effekt zugeschrieben.

Die Erdhügelhäuser Nr. 3 und 11 zeigen eine überdurchschnittliche Steigerung der Heizwärmezahl (~ 60 % höher).

Gebäude Nr. 3 deckt seinen Heizwärmebedarf überwiegend über Holzverbrennung. Die Erhöhung der Heizwärmezahl 95/96 gegenüber 94/95 läßt sich einerseits durch den kälteren Winter 95/96 erklären, vermutlich spielt aber auch ein verändertes Holzheizen eine Rolle.

Bei Gebäude Nr. 11 hat sich zum einen die Personenzahl erhöht, zum anderen hat sich die außergewöhnlich niedrige Heizwärmezahl 94/95 (ohne Holzofenheizung!) in der Heizperiode 95/96 dem Heizwärmeverbrauch der übrigen Erdhügelhäuser ohne Holzheizung angeglichen.

Die Warmwasserkennzahlunterschiede zwischen beiden Heizperioden schwanken um max.  $\pm 25$  % ohne Signifikanz zu höheren oder niedrigeren Werten (Nutzerbandbreiten).

Auch die volumenbezogene Stromkennzahl weist Schwankungen zwischen den beiden Heizperioden auf. Die Schwankungsbreite beträgt max. 20 % und läßt sich mit üblichen Veränderungen im Nutzerverhalten erklären.

### 5.3 Anlagenkennwerte

Aus den mit Wärmezählern gemessenen Werten des Heizkessels für das Heizwärmenetz der Häuser und den für die Warmwasserbereitung sowie dem Gasverbrauch in der Heizperiode läßt sich der mittlere Jahresnutzungsgrad des Heizkessels ermitteln. Mit einem unteren Brennwert des Erdgases von 37 000 kJ/m<sup>3</sup> ergibt sich in der Heizperiode 94/95 und 95/96 ein mittlerer Jahresnutzungsgrad der Erdgasheizung von 80 % in der Heizperiode I und 82 % in der Heizperiode II.

Der geplante Jahresnutzungsgrad von 96% der Heizung wurde demnach in beiden Heizperioden nicht erreicht; es ist jedoch zu berücksichtigen, daß der gemessene Jahresnutzungsgrad auch den Verlustgrad der Heizwärmeverteilung, der Heizwärmeübergabe und der Abgase beinhaltet.

Aus den Wärmezählerwerten des Wärmekreislaufes von Heizkessel zum Warmwasserboiler und der Wärmeeinspeisung der Solaranlage in den Boiler kann der solare Deckungsgrad ermittelt werden.

Der Jahresdeckungsgrad der Solaranlage für die Warmwasserbereitung errechnet sich für die Heizperiode 94/95 zu  $\eta = 27$  % und für die Heizperiode 95/96 zu  $\eta = 40$  %. Der geplante solare Deckungsgrad von 40 % konnte in der zweiten Meßperiode erreicht werden.

## 6. Zusammenfassung

Bei den Erdhügelhäusern liegen für den Verbrauchszeitraum vom 27.03.1994 bis 25.03.1996 nahezu vollständige Verbrauchswerte für Heizwärme, Warmwasser, Gas (Haushalt) und Strom (Haushalt) in den einzelnen Häusern und Wärme Warmwasser, Wärme Solaranlage, Gas (Heizung und Warmwasser), Kaltwasser und Betriebsstrom in der Heizzentrale vor. Sie erlauben eine Auswertung von Jahresverbräuchen und die Ermittlung von Kennzahlen für Heizwärme, Strom, Warmwasser und Gas. Über die ermittelte Bewohnerzahl ließen sich auch pro-Kopf bezogene Kennwerte errechnen.

Die Häuser wurden erst im Zeitraum August 93 bis Dezember 93 bezogen, damit fallen Einzugsfolgeprobleme und Nacharbeiten noch in die Meßperiode I. Dazu kommt in der Meßperiode I, daß die Bautrocknungsphase noch nicht abgeschlossen war und Lücken in der Datenerfassung vorhanden sind.

Die Energieverbrauchswerte der Erdhügelhäuser sind überraschend günstig, aber es zeigt sich dennoch eine starke Streuung der Energiekennzahlen der einzelnen Erdhügelhäuser. Dazu kommt, daß einige Erdhügelhäuser mit einem Holzofen ausgestattet sind. Die Nutzung des Holzofens bleibt bei der Verbrauchserfassung unberücksichtigt und verfälscht demnach das Bild.

In der zweiten kälteren Heizperiode 1995/96 liegen die Heizwärmeverbrauchswerte erheblich unter den berechneten Wärmebedarfswerten nach dem Software-Simulationsverfahren ENERBED 472 mit standardisierten Randbedingungen. Ohne Holzofenheizung liegt der Heizwärmeverbrauch der Erdhügelhäuser zwischen 14,8 und 17,9 kWh/m<sup>3</sup>a, verglichen mit dem Rechenwert nach ENERBED 472 ergibt dies eine Unterschreitung im tatsächlichen Verbrauch um 30 % - 45 %. Durch die Holzzusatzheizung konnte in einzelnen Erdhügelhäusern der Heizwärmebedarf auf unter 20% des Rechenwerts nach ENERBED 472 gedrückt werden.

Durch die Heizanlagenänderung vor der Heizperiode 1995/96 wurde erreicht, daß der solare Deckungsanteil der Solaranlage den projektierten Wert von 40% erreicht.



7. Anhang

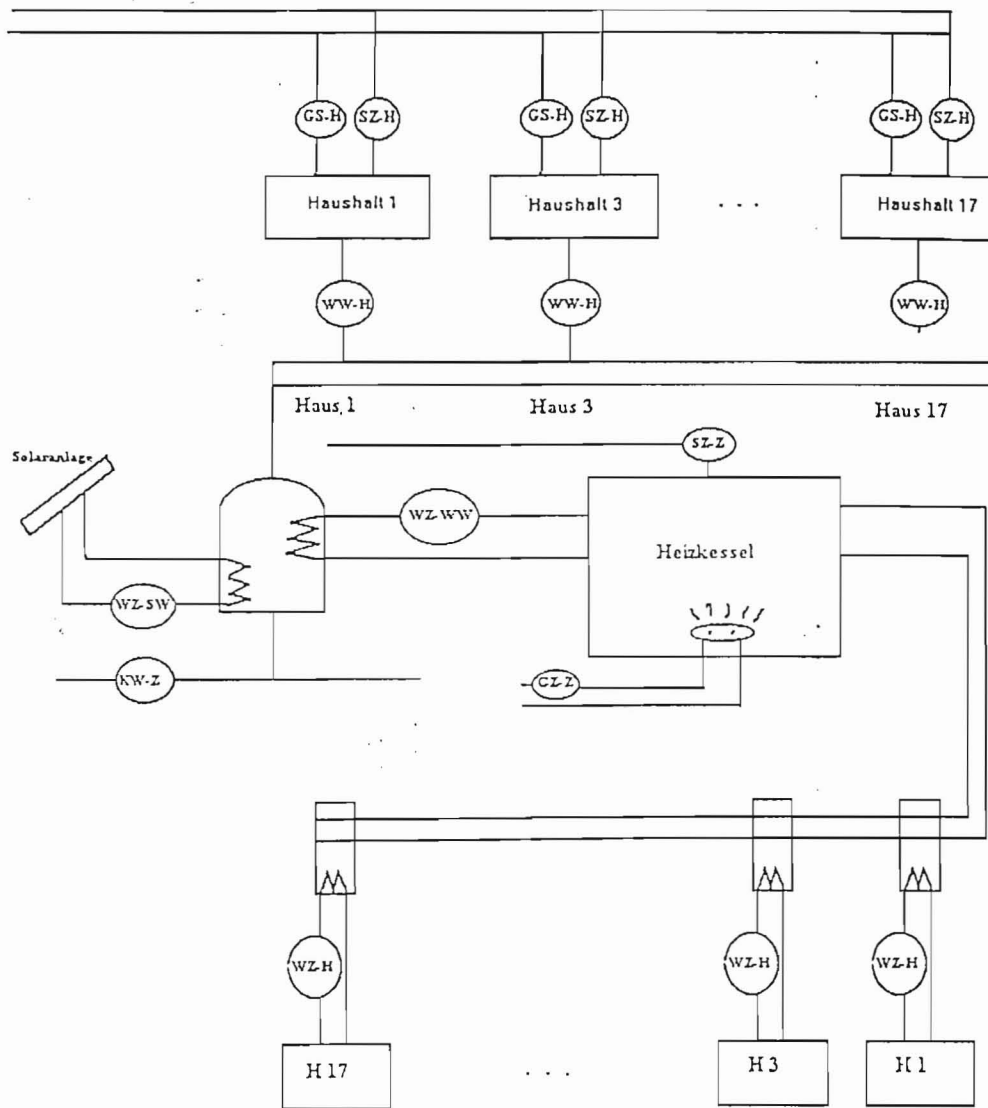


Bild 1: Erdhügelhäuser  
Anlagenkonzeption und Meßfühlerpositionen

Verbrauchszähler in den einzelnen Häusern :

- WZ-H                      Wärmezähler Heizung in MWh
- WW-H                    Warmwasserzähler in m3
- GZ-H                    Gaszähler Haushalt in m3
- SZ-H                    Stromzähler Haushalt in kWh

Verbrauchszähler in der Heizzentrale:

- WZ-WW                    Wärmezähler Warmwasser in MWh
- WZ-SW                    Wärmezähler Solaranlage in MWh
- GZ-Z                    Gaszählerzentrale Heizung und Warmwasser in m3
- KW-Z                    Kaltwasser für Warmwasser + Kaltwasser in m3
- SZ-Z                    Stromzähler in kWh

Tabelle 1: Erdhügelhäuser  
Charakteristische Merkmale

	Ge- bäude- typ	Bewoh- ner- anzahl	Ver- brauchs- daten	Bemerkungen
Erdhügelhaus 1	EFH	4	regel-  mäßige  Ver-  brauchs-  werte  seit  März  1994	Einzug Mai 1993 Wintergarten Holzofen vorhanden
Erdhügelhaus 3	EFH	3		Einzug August 1993 Wohnraum im UG, Wintergarten Heizen mit Holzofen!
Erdhügelhaus 5	EFH	1		Einzug September 1993 Wohnraum im UG Holzofen vorhanden
Erdhügelhaus 7	EFH	3		Einzug März 1994 Heizen mit Holzofen ab Jan 95
Erdhügelhaus 9	EFH	2		Einzug August 1993 Holzofen vorhanden
Erdhügelhaus 11	EFH	3 ab Jan.96 4		Einzug August 1993 kein Holzofen
Erdhügelhaus 13	EFH	5		Einzug August 1993 kein Holzofen
Erdhügelhaus 15	EFH	5		Einzug Dezember 1993 Wintergarten Holzofen vorhanden
Erdhügelhaus 17	EFH	4		Einzug Oktober 1993 Wintergarten kein Holzofen
Heizzentrale				

Tabelle 2.1: Erdhügelhäuser  
 Übersicht über die erfaßten Verbrauchswerte  
 in der Meßperiode I vom 27.03.1994 bis 26.03.1995  
 in der Meßperiode II vom 27.03.1995 bis 25.03.1996

	Gas GS-Z m <sup>3</sup>	Gas kWh	Heizung WZ-H kWh	Warm- wasser WW-H m <sup>3</sup>	Warm- wasser kWh	Elektro SZ-H kWh	Zeit- raum
Erdhügelhaus 1	-		7203	42,58	2473	Daten un- zureichend	94/95
	-		6967	36,42	2115	3447	95/96
Erdhügelhaus 3	-		1668	27,45	1594	Daten un- zureichend	94/95
	-		2670	31,43	1826	24,29	95/96
Erdhügelhaus 5	10,47	108	4663	8,41	547	1618	94/95
	19,09	197	2411	7,13	414	1939	95/96
Erdhügelhaus 7	-		5683	32,29	1876	3250	94/95
	-		1761	33,3	1934	2797	95/96
Erdhügelhaus 9	15,75	162	6308	30,18	1753	Daten un- zureichend	94/95
	10,87	112	7237	30,75	1786	1649	95/96
Erdhügelhaus 11	23,4	241	4399	29,5	1713	3869	94/95
	42,98	443	6876	34,56	2007	3907	95/96
Erdhügelhaus 13	62,92	640	6345	26,97	1456	1770	94/95
	60,14	619	7166	32	1859	1687	95/96
Erdhügelhaus 15	33,4	343	5173	34,62	2011	2818	94/95
	47,04	485	5984	37,27	2165	2415	95/96
Erdhügelhaus 17	73,4	754	6452	69,52	4038	2829	94/95
	70,9	730	7640	63,1	3665	2708	95/96
gesamt			47 894	303	17461		94/95
			48712	306	17771		95/96

Tabelle 2.2: Erdhügelhäuser  
 Übersicht über die erfaßten Verbrauchswerte  
 in der Meßperiode I vom 27.03.1994 bis 26.03.1995  
 in der Meßperiode II vom 27.03.1995 bis 25.03.1996

	Warm- wasser Gas	Warm- wasser Solar	Gas gesamt	Kalt- wasser für Warm- wasser	Kalt- wasser gesamt	Strom	Zeit- raum
	WZ-WW	WZ-SW	GZ-Z		KW-Z	SZ-Z	
	MWh	MWh	m3	m3	m3	kWh	
Heizzentrale	23,702	8,875	8706,3	303	957	1754,6	94/95
	19,234	10,274	8115	301,5	876	2058,4	95/96

Tabelle 3:

Erdhügelhäuser  
Heizwärmeverbrauch im Vergleich zur Heizwärmebedarfsrechnung  
nach DIN EN 832 und den Anforderungen der Wärmeschutz-V. '95

Erd- hügel- haus	V beheizt m3	A beheizt m2	A / V m-1	A wfl. m2	AN 0.32*V m2	Berechnung nach Enerbed472				Anf. WSchV 94		Messung				Zeit- raum
						QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/AN kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/AN kWh/m2a	QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/AN kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	
1	511	394	0,78	181	164	13 778	26,9	84,3	76,1	27,3	85,4	7203 6967	14,1 13,6	44 42,5	39,8 38,5	94/95 95/96
3	437	362	0,83	160	140	11 975	27,4	85,6	74,8	28,2	88,1	1668 2670	3,8 6,1	11,9 19,1	10,4 16,7	94/95 95/96
5	445	366	0,82	163	142	12 192	27,4	85,6	74,8	28	87,6	4663 2411	10,5 5,4	32,7 17	28,6 14,8	94/95 95/96
7	405	326	0,81	147	130	10 763	26,6	83	73,2	27,8	87	5683 1761	14 4,3	43,9 13,5	38,7 12	94/95 95/96
9	405	326	0,81	147	130	10 763	26,6	83	73,2	27,8	87	6308 7237	15,6 17,9	48,7 55,7	42,9 46,8	94/95 95/96
11	405	326	0,81	147	130	10 763	26,6	83	73,2	27,8	87	4399 6876	10,9 17	33,8 52,9	33,9 46,8	94/95 95/96
13	405	326	0,81	147	130	10 763	26,6	83	73,2	27,8	87	6345 7166	15,7 17,7	49 55,1	43,2 48,7	94/95 95/96
15	405	326	0,81	147	130	10 763	26,6	83	73,2	27,8	87	5173 5984	12,8 14,8	40 46	35,2 40,7	94/95 95/96
17	486	381	0,78	171	156	13 071	26,9	84	76,4	27,3	85,4	6452 7640	13,3 15,7	41,5 49	37,7 44,7	94/95 95/96

Tabelle 4: Erdhügelhäuser  
Energieverbrauchskennzahlen

	beheiztes Volumen  m <sup>3</sup>	Heiz- wärme- kennzahl  kWh/m <sup>3</sup> a	Strom- kennzahl  kWh/m <sup>3</sup> a	Warm- wasser- kennzahl  kWh/m <sup>3</sup> a	Gas- kennzahl (Haushalt)  kWh/m <sup>3</sup> a	Gesamtenergie- kennzahl  kWh/m <sup>3</sup> a	Zeit- raum
Erdhügelhaus 1	511	14,1	-	4,8	-	-	94/95
		13,6	6,7	4,1	-	24,4	95/96
Erdhügelhaus 3	437	3,8	-	3,6	-	-	94/95
		6,1	5,6	4,2	-	15,9	95/96
Erdhügelhaus 5	445	10,5	3,6	1,2	0,3	15,6	94/95
		5,4	4,4	0,9	0,4	11,1	95/96
Erdhügelhaus 7	405	14	8	4,6	-	26,6	94/95
		4,3	6,9	4,8	-	16	95/96
Erdhügelhaus 9	405	15,6	-	4,3	0,4	-	94/95
		17,9	4,1	4,4	0,3	26,7	95/96
Erdhügelhaus 11	405	10,9	9,6	4,2	0,6	25,2	94/95
		17	9,6	5	1,1	32,7	95/96
Erdhügelhaus 13	405	15,7	4,4	3,6	1,6	25,2	94/95
		17,7	4,2	4,6	1,5	28	95/96
Erdhügelhaus 15	405	12,8	7	5	0,8	25,5	94/95
		14,8	6	5,3	1,2	27,3	95/96
Erdhügelhaus 17	486	13,3	5,8	8,3	1,6	29	94/95
		15,7	5,6	7,5	1,5	30,3	95/96

Tabelle 5: Erdhügelhäuser  
Pro-Kopf-Verbrauch

	Be- wohner	Strom in kWh/a	Warm- wasser in m3/a	Gas in kWh/a	Zeit- raum
Erdhügelhaus 1	4		10,6	-	94/95
		862	9,1	-	95/96
Erdhügelhaus 3	3		9,2	-	94/95
		1143	10,5	-	95/96
Erdhügelhaus 5	1	1618	8,4	108	94/95
		1939	7,1	197	95/96
Erdhügelhaus 7	3	1083	13,1	-	94/95
		932	11,1	-	95/96
Erdhügelhaus 9	2		15,1	81	94/95
		825	15,4	56	95/96
Erdhügelhaus 11	3	1290	9,8	80	94/95
		1302	11,5	148	95/96
Erdhügelhaus 13	5	354	6	128	94/95
		337	6,4	124	95/96
Erdhügelhaus 15	5	564	6,9	69	94/95
		483	7,5	97	95/96
Erdhügelhaus 17	4	707	17,4	189	94/95
		677	15,7	183	95/96

Diagramm 1: Übersicht über die Energieverbräuche

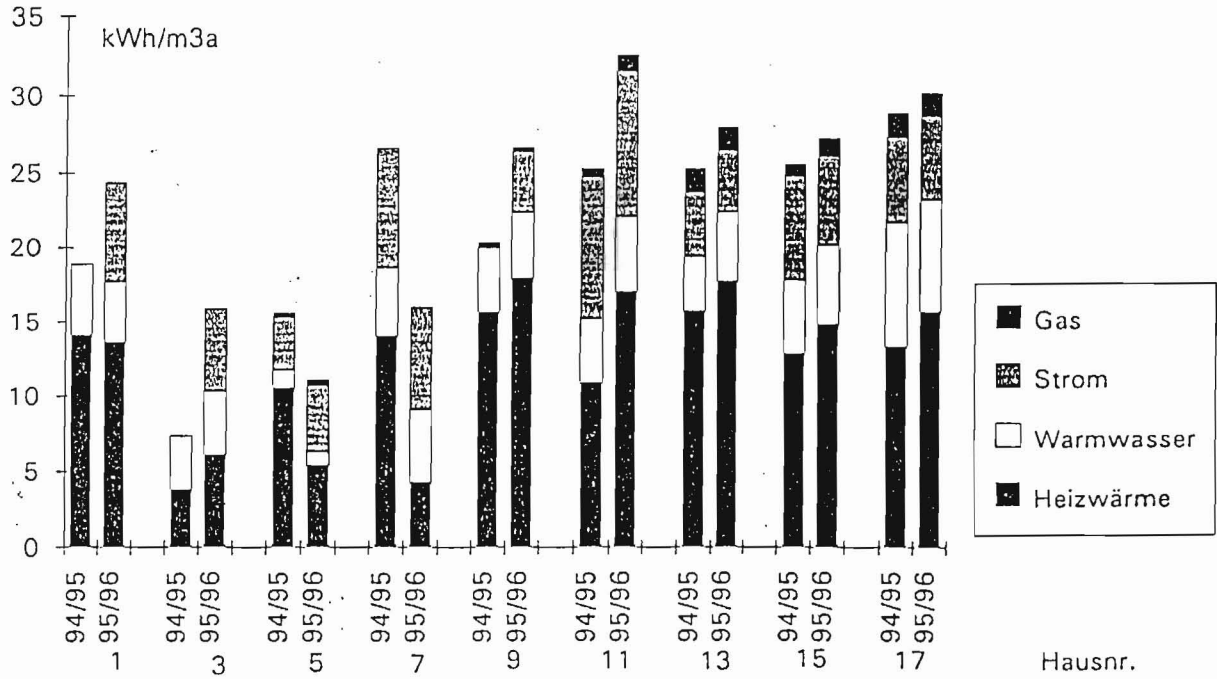
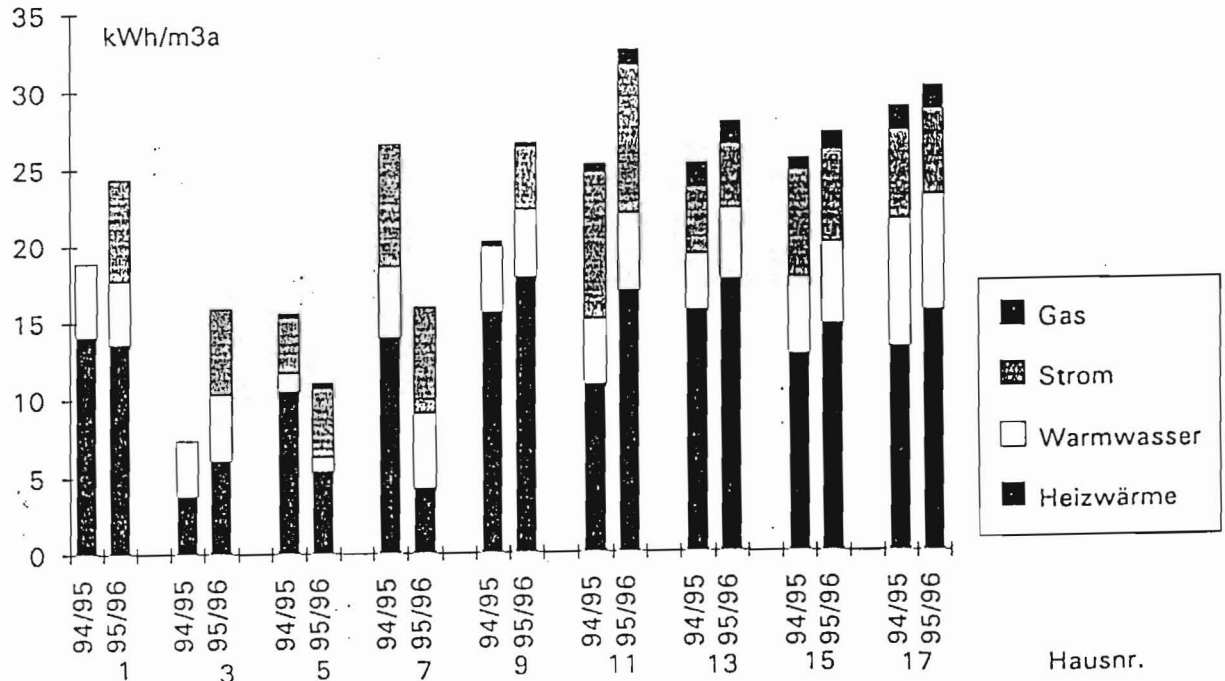




Diagramm 1: Übersicht über die Energieverbräuche



**Meßbericht BPH 197/96-2**

**Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten  
der Heizperiode 1994 / 95 und 1995 / 96  
in der Ökosiedlung  
"Auf der Staig"**

**Teil 2: Holzblockhäuser**

Auftraggeber:  
Stadtverwaltung Donaueschingen  
Bauverwaltungsamt  
Rathausplatz 1  
78 166 Donaueschingen

Auftrag vom 08.11.1994 (Zeichen 60 HB/Ma)

Dieser Teilmeßbericht BPH 197/96-2 umfaßt 13 Seiten.  
Stuttgart, den 24.10.1996



Prof. Dr. Stohrer  
Projektleiter



Dipl.-Ing. (FH) B. Bordt  
Sachbearbeiterin

## Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperiode 1994/95 ( I ) und 1995/96 ( II ) in der Ökosiedlung "Auf der Staig"

### Teil 2: Holzblockhäuser

#### Inhaltsverzeichnis

1. Untersuchungsziel

2. Meßobjekt

3. Meßkonzeption

4. Meßwerte

5. Auswertung

6. Zusammenfassung

7. Anhang

Bild 1: Anlagenkonzeption und Meßfühlerpositionen

Bild 2: Übersicht über die Wochenverbrauchswerte

Tab. 1: Charakteristische Merkmale

Tab. 2: Übersicht über die erfaßten Verbrauchswerte  
in der Meßperiode I vom 20.02.1994 bis 19.02.1995  
in der Meßperiode II vom 20.03.1995 bis 20.03.1996

Tab. 3: Gemessener Heizwärmeverbrauch im Vergleich zur  
Heizwärmebedarfsberechnung nach DIN EN 832 und  
den Anforderungen der Wärmeschutz-V. '94

Tab. 4: Energiekennzahlen

Tab. 5: Pro-Kopf-Verbräuche

Diagramm 1: Übersicht über die Energieverbräuche

## **Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperiode 1994/95 ( I ) und 1995/96 ( II ) in der Ökosiedlung "Auf der Staig"**

### **Teil 2: Holzblockhäuser**

#### 1. Untersuchungsziel

Im Rahmen der Kontrolle der ökologischen Ansätze für die Ökosiedlung "Auf der Staig" sollten die Verbrauchswerte erfaßt werden, um aus gemessenen Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauchswerten den Erfolg der energiesparenden Planung und Ausführung untersuchen zu können. Mit Hilfe der Messungen sollten auch die Nutzereinflüsse quantifiziert werden.

#### 2. Meßobjekt

Mit der Konzeption der Holzblockhäuser sollte im Rahmen des Demonstrationsbauvorhaben Ökosiedlung "Auf der Staig" Donaueschingen durch einen hohen Wärmeschutz, durch heimische Baustoffe mit einem möglichst geringen Primärenergiebedarf und mit guter Recyclingprognose sowie einer Brennwert-Erdgas-Heizanlage das ökologische Ziel erreicht werden.

#### 3. Meßkonzeption

Aus Kostengründen wurde keine automatische Meßwernerfassungskonzeption ausgeführt. Die Verbrauchswerte an Heizwärme, Warm- und Kaltwasser sowie Strom wurden durch alle Bewohner nach Anleitung in Formblätter übertragen und zur Auswertung der FEB zugesandt.

In Bild 1 ist der Meßaufbau zur Erfassung der Energieverbrauchswerte der Holzblockhäuser skizziert.

#### 4. Meßwerte

Die Belegung der einzelnen Holzblockhäuser, der zusätzliche Anbau eines Wintergartens und im starken Maße der Einzugstermin beeinflussten die gemessenen Verbrauchswerte; Tabelle 1 faßt diese charakteristischen Merkmale zusammen. Die Verbrauchswerte wurden im allgemeinen im Wochenrhythmus abgelesen.

#### 5. Auswertung

Durch verspätete Fertigstellung und Umplanung vom Einfamilienhaus zum Zweifamilienhaus ist die Datenbasis lückenhaft. Von den fünf Holzhäusern liegen seit Februar 1994 von zwei Häusern regelmäßige Verbrauchswerte vor, bei zwei Häusern gibt es Verbrauchswerte seit November 1994 und ein Holzhaus ist noch nicht bezogen.

In Tabelle 2.1 sind für die Meßwerte der Periode I 20.03.94 bis 19.03.95 und der Periode II vom 20.03.95 bis 20.03.96 die absoluten Jahresverbrauchswerte an Gas für Heizung und Warmwasser, an Wärme für Heizung und Warmwasser sowie die Kaltwassermengen insgesamt und die Warmwassermengen sowie der Elektroverbrauch zusammengestellt.

Das Diagramm 1 zeigt ebenfalls übersichtlich die einzelnen Energieverbräuche jedes Holzblockhauses in der Heizperiode I und II.

##### 5.1 Hauskenngrößen

Aus den Jahresverbräuchen wurden zum besseren Vergleich volumen- bzw. flächenspezifische Kennwerte berechnet; diese sind in den Tabellen 4 bis 6 zusammengestellt. Das Volumen  $V$  wird von der Hüllfläche  $A$  im Außenmaß von Oberkante Decke bis Oberkante Decke begrenzt. Die Gebäudenutzfläche  $A_N$  wird entsprechend der Wärmeschutzverordnung '94 aus dem Bruttogebäudevolumen  $V$  nach der Beziehung  $A_N = 0,32 * V$  berechnet. Demgegenüber ist die Wohnfläche  $A_{Wfl}$  auf der Basis der Wohnflächenberechnung nach DIN 277 ermittelt.

Die Berechnung der Heizenergiezahlen nach Enerbed472 und die Anforderungen der WSchV '94 gehen von einer mittleren Heizperiodentemperatur bzw. einer Gradtagzahl aus. Den Anforderungen nach der WSchV liegt die Gradtagzahl von Würzburg  $G_t = 3500 \text{ Kd}$  zugrunde. Im Gegensatz dazu wurden die Berechnungen nach Enerbed472 mit dem Klimasatz München durchgeführt. Donaueschingen liegt ungefähr auf dem gleichen Breitengrad wie München (vergleichbare Solareinstrahlung) und hat einen ähnlichen Außentemperaturverlauf (vergleichbare niedrigste Zweitagesmittelwerte der Außentemperatur). Im Vergleich zum Klima in Würzburg ist das Münchener Klima härter, die Gradtagzahl bei einer Heizgrenztemperatur von  $12^\circ\text{C}$  ist um ca. 12% höher in München als in Würzburg und erreicht den Wert  $G_t = 3930 \text{ Kd}$ .

Gegebenenfalls vorhandene Wintergärten sind bei der Heizwärmebedarfsberechnung nicht berücksichtigt worden. Zum Berechnungszeitpunkt waren die derzeit angebauten Wintergärten noch nicht geplant.

Nur zwei der Holzblockhäuser, ein EFH und ein ZFH, konnten in der Meßperiode I in die Auswertung einbezogen werden. Die übrigen waren entweder nicht bezogen oder es konnten keine Daten vorgelegt werden. In der Meßperiode II konnten Meßwerte von vier Holzblockhäusern ausgewertet werden.

Ein Vergleich der berechneten mit den tatsächlichen Heizwärmezahlen ist schwierig, weil die tatsächlichen Heizwärmezahlen stark davon abhängen, wie "streng" der Winter, d.h. wie tief die mittlere Außentemperatur der Heizperiode war. Es müßten die gemessenen mittleren Außentemperaturen herangezogen werden, um die Gradtagzahl einer definierten Heizperiode zu korrigieren.

Beim Vergleich der gemessenen Verbräuche mit den berechneten Wärmebedarfswerten muß berücksichtigt werden, daß hier unterschiedliches Nutzerverhalten einen starken Einfluß ausübt. So ist die nutzerbedingte Lüftung unklar; auch das nutzerbestimmte Innentemperaturniveau wirkt sich entscheidend auf den Heizwärmeverbrauch aus.

Unter Tabelle 3 sind die gemessenen Heizwärmezahlen von zwei Holzblockhäusern in der Meßperiode I und vier Holzblockhäuser in der Meßperiode II den berechneten Heizwärmezahlen und den Anforderungen nach der WSchV gegenübergestellt. Der Vergleich zwischen Berechnung und Verbrauch ist aus obigen Gründen mit Vorsicht zu betrachten. Außerdem fällt in der Regel in der ersten Heizperiode ein zusätzlicher Heizwärmebedarf für die Bautrocknung an.

Die Energiekennzahlen für Heizwärme, Strom, Warmwasser, Gas und Gesamtenergie in der Tabelle 5 sind auf das beheizte Volumen pro Jahr bezogen.

Diese Kennzahlen lassen sich nur aus Jahresverbrauchsmessungen ermitteln.

Wie bei der Methode der WSchV '94 ist damit die Bezugsgröße das außenmaßbezogene beheizte Nutzvolumen. Es ist die übliche Bauzielsetzung, Nutzvolumen zu erstellen.

Eine andere Bezugsgröße ist die Anzahl der Hausbewohner und deren jeweiliges Verbrauchsverhalten. In Tabelle 6 ist der Pro-Kopf-Verbrauch ebenfalls für vier Holzblockhäuser zusammengestellt.

## 5.2 Hauskenngrößen im Vergleich: Heizperiode 1994/95 und 1995/96

Ein Vergleich der beiden Heizperioden ist nur bei Holzblockhaus 4 und 10 möglich.

Bei diesen zwei Holzblockhäusern verringerte sich die Heizwärmekennzahl, obwohl der Winter 1995/96 kälter war als 1994/95. Die Reduktionen sind vergleichsweise gering; -2 % bei Haus 4 und -6 % bei Haus 10.

Die Warmwasserkennzahl- und Stromkennzahlunterschiede zwischen den beiden Heizperioden schwanken um max. 14 %.

Die in der Heizperiode 95/96 zum ersten Mal gemessenen Häuser 2 und 6 weisen einen wesentlich höhere Heizwärme Kennzahl auf. Dieser liegt im Vergleich zu den Häusern 4 und 10 um 50% höher.

Der Mehrverbrauch der Holzblockhäuser 2 und 6 gegenüber 4 läßt sich mit der kleineren wärmeübertragenden Umschließungsfläche erklären; bei dem Mittelhaus (Nr. 4) verringert sich die wärmeübertragende Fläche gegenüber Haus 2 (Eckhaus) und Haus 6 (unbeheiztes Nachbarhaus im Rohbau) um eine Giebelfläche.

Eine Erklärung für den sehr niedrigen Heizwärmeverbrauch des effektiv freistehenden Hauses 10 (Eckhaus und unbeheiztes Nachbarhaus im Rohbau) steht aus.

### 5.3 Anlagenkennwerte

Aus den mit Wärmehählern gemessenen Werten des Heizkessels für das Heizwärmenetz der Häuser und den für die Warmwasserbereitung sowie dem Gasverbrauch in der Heizperiode läßt sich der mittlere Jahresnutzungsgrad des Heizkessels ermitteln. Mit einem unteren Brennwert des Erdgases von 37 000 kJ/m<sup>3</sup> ergibt sich ein mittlerer Jahresnutzungsgrad der Erdgasheizung von ca. 90 % bzw. 98 % in der Heizperiode I. In der Heizperiode II liegen die mittleren Jahresnutzungsgrade bei 90 %, 96 % und 100 %.

Der geplante Jahresnutzungsgrad von 96% der Heizung wurde demnach in der Heizperiode 94/95 von einem Holzblockhaus gut und von dem anderen nicht ganz erreicht; in der Heizperiode II erreichten zwei Holzblockhäuser den angestrebten Wert und eines nicht.

### Zusammenfassung

Bei den Holzblockhäusern liegen für den Verbrauchszeitraum vom 20.03.94 bis 19.03.95 nur von zwei Holzblockhäusern vollständige Verbrauchswerte für Gas (Heizung und Warmwasser), für Wärme (Heizung und Warmwasser), Kaltwasser, Warmwasser und Strom (Haushalt) in den einzelnen Häusern vor. In dem Verbrauchszeitraum vom 20.03.95 bis 20.03.96 sind von vier Holzblockhäusern Verbrauchsdaten vorhanden.

Sie erlauben eine Auswertung von Jahresverbräuchen und die Ermittlung von Kennzahlen für Heizwärme, Strom, Warmwasser und Gas. Über die ermittelte Bewohnerzahl lassen sich auch Pro-Kopf bezogene Kennwerte errechnen.

Die Energieverbräuche der Holzblockhäuser liegen im Vergleich untereinander recht unterschiedlich hoch. Die Häuser 2 und 6 haben einen wesentlich höheren Heizwärmeverbrauch als die Häuser 4 und 10. Die Holzblockhäuser Nr. 4 und 10, bei denen zwei Heizperioden ausgewertet wurden konnten, weisen geringe Schwankungen bei Heizwärme-, Strom- und Warmwasserverbrauch auf.

Der geplante Jahresnutzungsgrad von 96 % konnte in beiden Heizperioden von zwei (I) bzw. drei (II) Häusern erreicht werden. Holzblockhaus Nr.6 erlangte mit einem mittleren Jahresnutzungsgrad von 100 % nahezu den theoretischen Wert der Gasbrennwertheizung; Haus Nr. 4 liegt mit 90 % unerklärlich unter dem geplanten Wert.

Die Heizwärmeverbrauchswerte liegen bei den Holzblockhäusern 4 und 10 in beiden Heizperioden unter den berechneten Wärmebedarfswerten nach dem Software-Simulationsverfahren Enerbed 472 mit standardisierten Randbedingungen. Der tatsächliche Verbrauch liegt in der Heizperiode 95/96 bis zu 12 % unter dem Rechenwert nach Enerbed 472. Die beiden anderen Holzblockhäuser Nr. 2 und 6 überschreiten den berechneten Heizenergiebedarf nach Enerbed 472 in der Periode 95/96 um ca. 50 %.



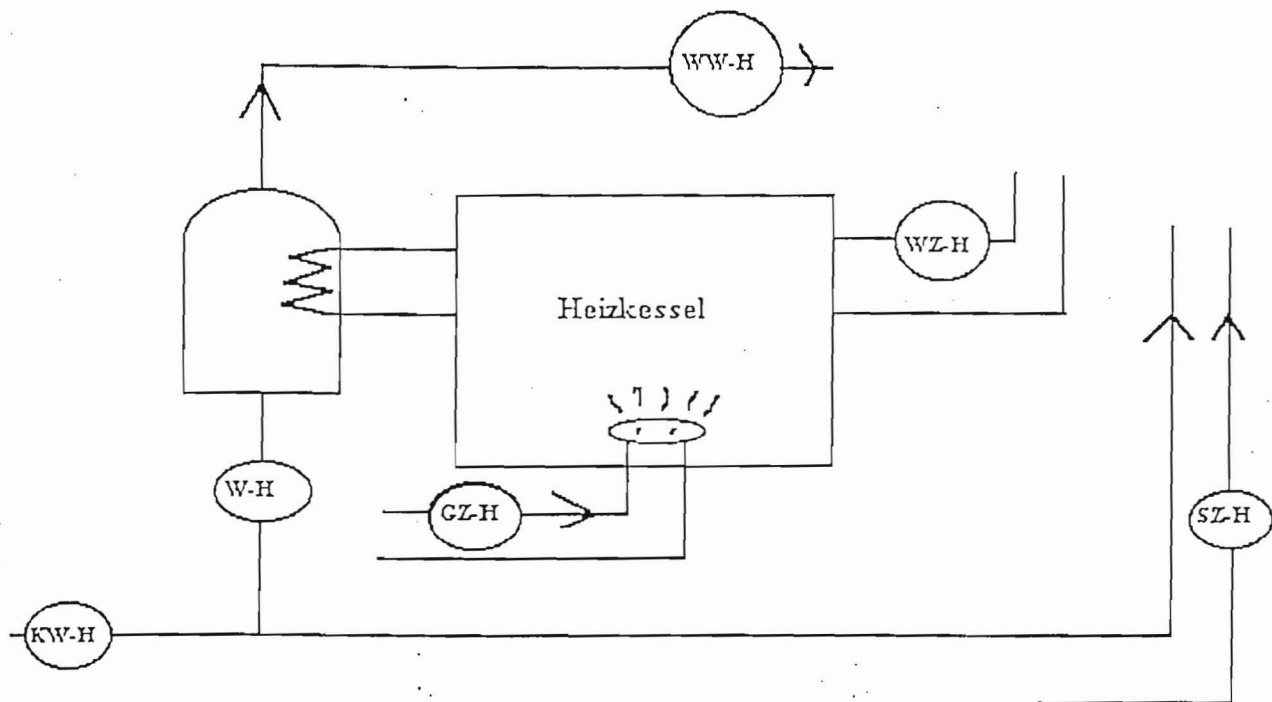
7. Anhang

Bild 1: Holzblockhäuser  
Anlagenkonzeption und Meßfühlerpositionen

Verbrauchszähler in den einzelnen Häusern :

GZ-H	Gaszähler Heizung und Warmwasser
WZ-H	Wärmezähler Heizung in MWh
WW-H	Wärmezähler Warmwasser in MWh
W-H	Warmwasserzähler in m <sup>3</sup>
KW-H	Kaltwasserzähler in m <sup>3</sup>
SZ-H	Stromzähler in kWh

Tabelle 1: Holzblockhäuser  
Charakteristische Merkmale

	Ge- bäude- typ	Bewoh- ner- anzahl	Ver- brauchs- daten	Bemerkungen
Holzhaus 2	EFH	4	seit Feb 95	Einzug März 1994 Wintergarten
Holzhaus 4	ZFH	3	regelm. seit Feb 94	Einzug Dezember 1993 Wohnraum im UG, Büro- nutzung, Wintergarten
Holzhaus 6	EFH	5	seit Jan 95	Einzug Juli 1994
Holzhaus 8	ZFH		keine Daten	noch nicht bezogen
Holzhaus10	EFH	4	regelm. seit Feb 94	Einzug Dezember 1993 Wintergarten Lüftungsanlage

**Tabelle 2:** Holzblockhäuser  
 Erfasste Verbrauchswerte  
 in der Meßperiode I vom 20.03.1994 bis 19.03.1995  
 in der Meßperiode II vom 20.03.1995 bis 20.03.1996

	GZ-H Gas (H + Ww) m3	Wärme (H + Ww) MWh	WZ-H Wärme Heizung MWh	WW-H Wärme Warm- wasser MWh	W-H Warm- wasser m3	KW-H Kalt- wasser m3	SZ-H Strom kWh	Zeit- raum
Holz- haus 2 (EFH)	- 1890	- Berechnung nicht mögl.	- 18,243	- Berechnung nicht mögl.	- keine Daten	- 167	- 4546	94/95 95/95
Holz- haus 4 (ZFH)	1987 1920	18,426 17,676	14,159 14,873	3,267 2,802	56 45	70,7 49,6	5485 5614	94/95 95/95
Holz- haus 6 (EFH)	- 2171	- 22,452	- 20,437	- 2,016	- 35	- 122	- 3787	94/95 95/95
Holz- haus 10 (EFH)	1562 1501	15,739 14,882	14,102 13,222	1,637 1,66	28 29	73,8 79,7	5253 5605	94/95 95/95

Tabelle 3:

Holzblockhäuser  
Heizwärmeverbrauch im Vergleich zur Heizwärmebedarfsberechnung  
nach DIN EN 832 und den Anforderungen der Wärmeschutz-V. 95

Holzhaus	V beheizt m3	A beheizt m2	A / V m-1	A wfl. m2	An 0.32 * V m2	Berechnung nach Enerbed472				Anf. WSchV 95		Messung				Zeit- raum
						QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	
2	650	396	0,61	175	208	12 421	19,1	57,7	71	24,4	76,2	keine Auswertung möglich				94/95 95/96
4	759	364	0,48	242	243	17 042	22,5	70,2	70	22,1	69,2	15 159 14 873	20 19,6	62,4 61,2	62,6 61,5	94/95 95/96
6	650	289	0,44	175	208	12 952	19,9	62,3	74	21,4	67	keine Auswertung möglich				94/95 95/96
8	650	289	0,44	200	208	12 952	19,9	62,3	64,8	21,4	67	keine Auswertung möglich				94/95 95/96
10	650	396	0,61	175	208	14 186	21,8	68,2	81	24,4	76,2	14 102 13 222	21,7 20,3	67,8 63,6	80,6 75,6	94/95 95/96

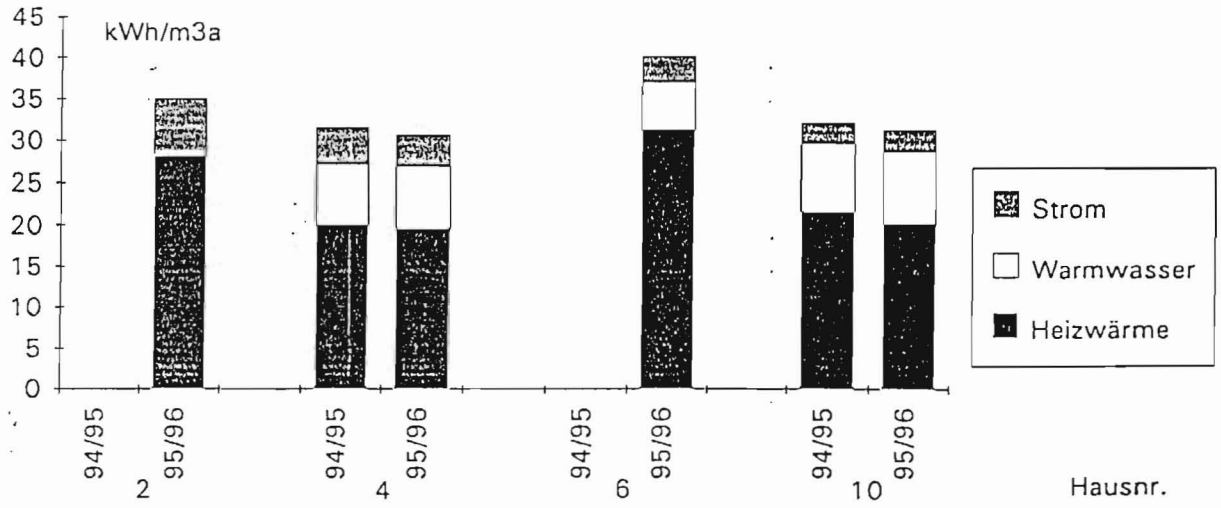
Tabelle 4: Holzblockhäuser  
Energiekennzahlen

	beheiztes Volumen	Heiz- wärme- kennzahl	Strom- kennzahl	Warm- wasser kennzahl	Gesamtenergie kennzahl	Zeit- raum
	m3	kWh/m3	kWh/m3	kWh/m3	kWh/m3	
Holzhaus 2 (EFH)	650	- 28,1	- 7	- keine Daten	- Berechnung nicht mögl.	94/95 95/96
Holzhaus 4 (ZFH)	759	20 19,6	7,2 7,4	4,3 3,7	31,5 30,7	94/95 95/96
Holzhaus 6 (EFH)	650	- 31,4	- 5,8	- 3,1	- 40,4	94/95 95/96
Holzhaus 10 (EFH)	650	21,7 20,3	8,1 8,6	2,5 2,6	32,3 31,5	94/95 95/96

Tabelle 5: Holzblockhäuser  
Pro - Kopf - Verbrauch

	Be- wohner	Strom in kWh	Warm- wasser in m3	Zeit- raum
Holzhaus 2 (EFH)	4	- 1137	- keine Daten	94/95 95/96
Holzhaus 4 (ZFH)	3	1828 1871	18,7 15	94/95 95/96
Holzhaus 6 (EFH)	5	- 757	- 7	94/95 95/96
Holzhaus 10 (EFH)	4	1313 1401	7 7,3	94/95 95/96

Diagramm 1: Übersicht über die Energieverbräuche



**Meßbericht BPH 197/96-3**

**Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten  
der Heizperiode 1994 / 95 und 1995 / 96  
in der Ökosiedlung  
"Auf der Staig"**

**Teil 3: Solarhäuser**

Auftraggeber:  
Stadtverwaltung Donaueschingen  
Bauverwaltungsamt  
Rathausplatz 1  
78 166 Donaueschingen

Auftrag vom 08.11.1994 (Zeichen 60 HB/Ma)

Dieser Teilmeßbericht BPH 197/96-3 umfaßt 13 Seiten.  
Stuttgart, den 24.10.1996



Prof. Dr. Stohrer  
Projektleiter



Dipl.-Ing.(FH) B.Bordt  
Sachbearbeiterin

## Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperiode 1994/95 und 1995/96 in der Ökosiedlung "Auf der Staig"

### Teil 2: Solarhäuser

#### Inhaltsverzeichnis

1. Untersuchungsziel
2. Meßobjekt
3. Meßkonzeption
4. Meßwerte
5. Auswertung
6. Zusammenfassung

#### 7. Anhang

Bild 1: Anlagenkonzeption und Meßfühlerpositionen

Tab. 1: Charakteristische Merkmale

Tab. 2: Übersicht über die erfaßten Verbrauchswerte  
in der Meßperiode vom 26.03.95 bis 26.03.96

Tab. 3: Gemessener Heizwärmeverbrauch im Vergleich zur  
Heizwärmebedarfsberechnung nach DIN EN 832 und  
den Anforderungen der Wärmeschutz-V. '94

Tab. 4: Energieverbrauchskennzahlen

Tab. 5: Pro-Kopf-Verbrauch

Diagramm 1: Übersicht über die Energieverbräuche



## **Meßbericht zu den Energieverbrauchswerten der Heizperiode 1994/95 und 1995/96 in der Ökosiedlung "Auf der Staig"**

### **Teil 3: Solarhäuser**

#### 1. Untersuchungsziel

Im Rahmen der Kontrolle der ökologischen Ansätze für die Ökosiedlung "Auf der Staig" sollten die Verbrauchswerte erfaßt werden, um aus gemessenen Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauchswerten den Erfolg der energiesparenden Planung und Ausführung untersuchen zu können. Ein weiteres Ziel der Messungen war es, auch die Nutzereinflüsse zu quantifizieren.

#### 2. Meßobjekt

Mit der Konzeption der Solarhäuser sollte im Rahmen des Demonstrationsbauvorhaben Ökosiedlung "Auf der Staig" Donaueschingen durch einen solar optimierten Entwurf mit südlichem Wintergarten, transparenter Wärmedämmung der Süd-Außenwand, Solarkollektoren für die Warmwasserbereitung und einer hohen Wärmedämmung das ökologische Ziel erreicht werden. Zur Minimierung der Emissionsbelastung wurde das Konzept einer zentralen Erdgas-Brennwert-Heizanlage verwirklicht.

#### 3. Meßkonzeption

Aus Kostengründen wurde keine automatische Meßwerterfassungskonzeption ausgeführt. Die Verbrauchswerte an Heizwärme, Warm- und Kaltwasser sowie Strom sollten durch alle Bewohner nach Anleitung in Formblätter übertragen und zur Auswertung der FEB zugesandt werden.

Vorgesehen war, daß über die Steuerung der Heizanlage die Thermostat-Temperaturwerte als charakteristische Werte für die Innenlufttemperatur über eine Datenerfassungsanlage aufgezeichnet werden; darüber hinaus sollte der Außenfühlerwert der Heizanlage als Außentemperaturmeßgröße mitgeschrieben werden.

Im vorliegenden Untersuchungszeitraum kam es nicht zu einer diesbezüglichen Ausrüstung der Heizanlage, so daß diese Werte nicht vorliegen.

In Bild 1 ist der Meßaufbau zur Erfassung der Energieverbrauchswerte der Solarhäuser skizziert.

#### 4. Meßwerte

Die Belegung der einzelnen Solarhäuser, Wintergarten und im starken Maße der Einzugstermin beeinflussten die gemessenen Verbrauchswerte. Tabelle 1 faßt diese charakteristische Merkmale zusammen. Die Verbrauchswerte wurden in den einzelnen Solarhäusern und in der gemeinsamen Heizzentrale im allgemeinen im Wochenrhythmus abgelesen. Ab März 95 stehen von fünf Solarhäusern regelmäßige Notierungen von Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauchswerten zur Verfügung.

#### 5. Auswertung

Die Datenaufzeichnungen einzelner Solarhäuser zeigen über das Heizjahr hinweg Datenlücken, es können aus den registrierten Anfangs- und Endzählerbeständen bei fünf von sechs Solarhäusern sehr wohl Jahreswerte gebildet werden. In Tabelle 2 sind für die Meßwerte der Periode II vom 26.03.95 bis 26.03.96 die absoluten Jahresverbrauchswerte des Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauchs pro Haus zusammengestellt. Zusätzlich ist der Jahresverbrauch an Heizwärme für die zentrale Warmwasserbereitung, der Jahresgasverbrauch, die Kaltwassermengen insgesamt und der Stromverbrauch in der Heizzentrale für Heizkessel, Aggregate und Licht aufgeführt. Meßdaten zur solaren Warmwasserbereitung liegen keine vor.

Das Diagramm 1 zeigt als Ergänzung zu Tabelle 2 ebenfalls übersichtlich die Energieverbräuche der einzelnen Solarhäuser in der Heizperiode II.

##### 5.1 Hauskenngrößen

Aus den Jahresverbräuchen wurden zum besseren Vergleich volumen- bzw. flächenspezifische Kennwerte berechnet; diese sind in den Tabellen 4 bis 6 zusammengestellt.

Das Volumen  $V$  wird von der Hüllfläche  $A$  im Außenmaß von Oberkante Decke bis Oberkante Decke begrenzt. Die Gebäudenutzfläche  $A_N$  wird entsprechend der Wärmeschutzverordnung '94 aus dem Bruttogebäudevolumen  $V$  nach der Beziehung  $A_N = 0,32 * V$  berechnet. Demgegenüber ist die Wohnfläche  $A_{Wf}$  auf der Basis der Wohnflächenberechnung nach DIN 277 ermittelt.

Die Berechnung der Heizenergiezahlen nach Enerbed472 und die Anforderungen der WSchV '94 gehen von einer mittleren Heizperiodentemperatur bzw. einer Gradtagzahl aus. Den Anforderungen nach der WSchV liegt die Gradtagzahl von Würzburg  $G_t = 3500 \text{ Kd}$  zugrunde. Im Gegensatz dazu wurden die Berechnungen nach Enerbed472 mit dem Klimasatz München durchgeführt. Donaueschingen liegt ungefähr auf dem gleichen Breitengrad wie München (vergleichbare Solareinstrahlung) und hat einen ähnlichen Außentemperaturverlauf (vergleichbare niedrigste Zweitagesmittelwerte der Außentemperatur). Im Vergleich zum Klima in Würzburg ist das Münchener Klima härter, die Gradtagzahl bei einer Heizgrenztemperatur von  $12^\circ\text{C}$  ist um ca. 12% höher in München als in Würzburg und erreicht den Wert  $G_t = 3930 \text{ Kd}$ .

Die vorhandenen Wintergärten sind bei der Heizwärmebedarfsberechnung als nicht beheizte Räume berücksichtigt worden.

Ein Vergleich der berechneten mit den tatsächlichen Heizwärmezahlen ist schwierig, weil die tatsächlichen Heizwärmezahlen stark davon abhängen, wie "streng" der Winter, d.h. wie tief die mittlere Außentemperatur der Heizperiode war. Es müßten die gemessenen mittleren

Außentemperaturen herangezogen werden, um die Gradtagzahl einer definierten Heizperiode zu korrigieren.

Beim Vergleich der gemessenen Verbräuche mit den berechneten Wärmebedarfswerten muß berücksichtigt werden, daß hier unterschiedliches Nutzerverhalten einen starken Einfluß ausübt. So ist die nutzerbedingte Lüftung unklar; auch das nutzerbestimmte Innentemperatur-niveau wirkt sich entscheidend auf den Heizwärmeverbrauch aus.

Die Auswertung in Abhängigkeit vom Niveau der Innentemperatur der einzelnen Häuser konnte nur ansatzweise ausgeführt werden, da nur Innentemperaturwerte von Mitte Februar 1996 bis Ende Mai 1996 vorlagen. Damit war es schwierig, aus den gemessenen Temperaturen auf eine gesamte Heizperiode hochzurechnen bzw. hängt es davon ab, ob die prozentuale Änderung der gemessenen Temperaturen auf die gesamte Heizperiode ansetzbar ist. Demnach wird auch eine Gradtagzahlkorrektur nahezu unmöglich, da nicht eindeutig ist, eine um wieviel verminderte Gradtagzahl sich durch verminderte Innentemperaturen ergibt.

Unter Tabelle 3 sind die berechneten Jahresheizwärmezahlen den Anforderungen der WSchV gegenübergestellt. Durch die späte Fertigstellung lagen für die Heizperiode 1994/95 keine auswertbaren Datensätze für die Bildung von Jahreskennwerten vor.

In der Heizperiode 95/96 können Jahreskennwerte gebildet werden. Die Energieverbrauchskennzahlen für Heizwärme, Warmwasser, Strom und Gesamtenergie in Tabelle 4 sind auf das beheizte Volumen pro Jahr bezogen. Wie bei der Methode der WSchV 94 ist damit die Bezugsgröße das außenmaßbezogene beheizte Nutzvolumen. Nutzvolumen zu erstellen, das ist die übliche Bauzielsetzung.

Eine andere Bezugsgröße ist die Anzahl der Hausbewohner und deren jeweiliges Verbrauchsverhalten. In Tabelle 5 ist der Pro-Kopf-Verbrauch für ein Jahr zusammengestellt.

## 5.2 Hauskenngrößen im Vergleich: Heizperiode 1994/95 und 1995/96

Wegen fehlender Meßwerte und noch ausstehendem Bezug liegt mit der Periode 95/96 die erste vollständige Verbrauchsmessung vor.

Mit Ausnahme des Solarhaus 18, dessen unvollständige Datensätze eine Auswertung nicht zuläßt, streuen die Kennzahlen verhältnismäßig stark.

Den niedrigste Verbrauch hat Solarhaus 12, den höchsten Verbrauch die Häuser 16 und 22. Haus 16 und 22 liegen doppelt so hoch wie Haus 12. Der extrem niedrige Verbrauch von Haus 12 beruht vermutlich auf einem zusätzlichem Holzofen.

Es ist festzustellen, daß einerseits die Mittelhäuser 14 und 20 und andererseits die Eckhäuser 16 und 22 vergleichbare Heizwärmekennzahlen aufweisen, wobei bedingt durch die wärmeübertragende Giebelfläche die Eckhäuser einen um etwa 25 % höheren Wärmebedarf haben.

Die Warmwasserkennzahlen liegen mit Werten zwischen 3,6 und 6,1 im üblichen Wertebereich. Auffallend hoch sind die mittleren Stromkennzahlen.

### 5.3 Anlagenkennwerte

Da in der Heizperiode II nur von fünf Solarhäusern Verbrauchswerte erfaßt wurden, mußte der Verbrauch des sechsten Solarhauses abgeschätzt werden um den mittleren Jahresnutzungsgrad des Heizkessels der zentralen Erdgas-Brennwert-Heisanlage ermitteln zu können. Die mit Wärmezählern gemessenen Werte des Heizkessels für das Heizwärmenetz der Häuser und für die Warmwasserbereitung sowie der Gasverbrauch in der Heizperiode ergeben den mittleren Jahresnutzungsgrad des Heizkessels.

Mit einem unteren Brennwert des Erdgases von 37 000 kJ/m<sup>3</sup> und unter der Abschätzung des Verbrauchs von Solarhaus 18 ergibt sich in der Heizperiode 95/96 ein mittlerer Jahresnutzungsgrad von 89 %.

## 6. Zusammenfassung

Bei den Solarhäusern liegen mit Ausnahme von Haus Nr. 18 für den Verbrauchszeitraum vom 26.03.95 bis 26.03.96 Verbrauchswerte für Heizwärme, Warmwasser, Gas (Heizung und Warmwasser), Kaltwasser und Betriebsstrom in der Heizanlage vor. Sie erlauben eine Auswertung von Jahresverbräuchen und die Ermittlung von Kennzahlen für Heizwärme, Warmwasser und Strom. Über die ermittelten Kennzahlen lassen sich pro-Kopf-bezogenen Kennwerte errechnen.

Die Häuser wurden im Zeitraum August 94 bis Oktober 94 bezogen, damit fallen Einzugsprobleme und Nacharbeiten noch in die Meßperiode II. Dazu kommt in der Meßperiode II, daß die Bautrocknungsphase noch nicht abgeschlossen war.

Die Energieverbrauchskennzahlen Heizwärme und Strom streuen verhältnismäßig stark; auffallend hoch sind die mittleren Stromkennzahlen. Die Energieverbrauchskennzahl Warmwasser liegt im üblichen Wertebereich

In der Heizperiode 95/96 liegen die gemessenen Heizwärmeverbrauchswerte sehr unterschiedlich zu den berechneten Wärmebedarfswerten nach dem Software-Simulationsverfahren Enerbed 472 mit standardisierten Randbedingungen. Die Überschreitungen liegen im Bereich 15 % - 35 %, eine Unterschreitung liegt bei 5 %. Durch eine Holzzusatzheizung konnte ein Solarhaus den berechneten Wert um 40 % unterschreiten.

..

7. Anhang

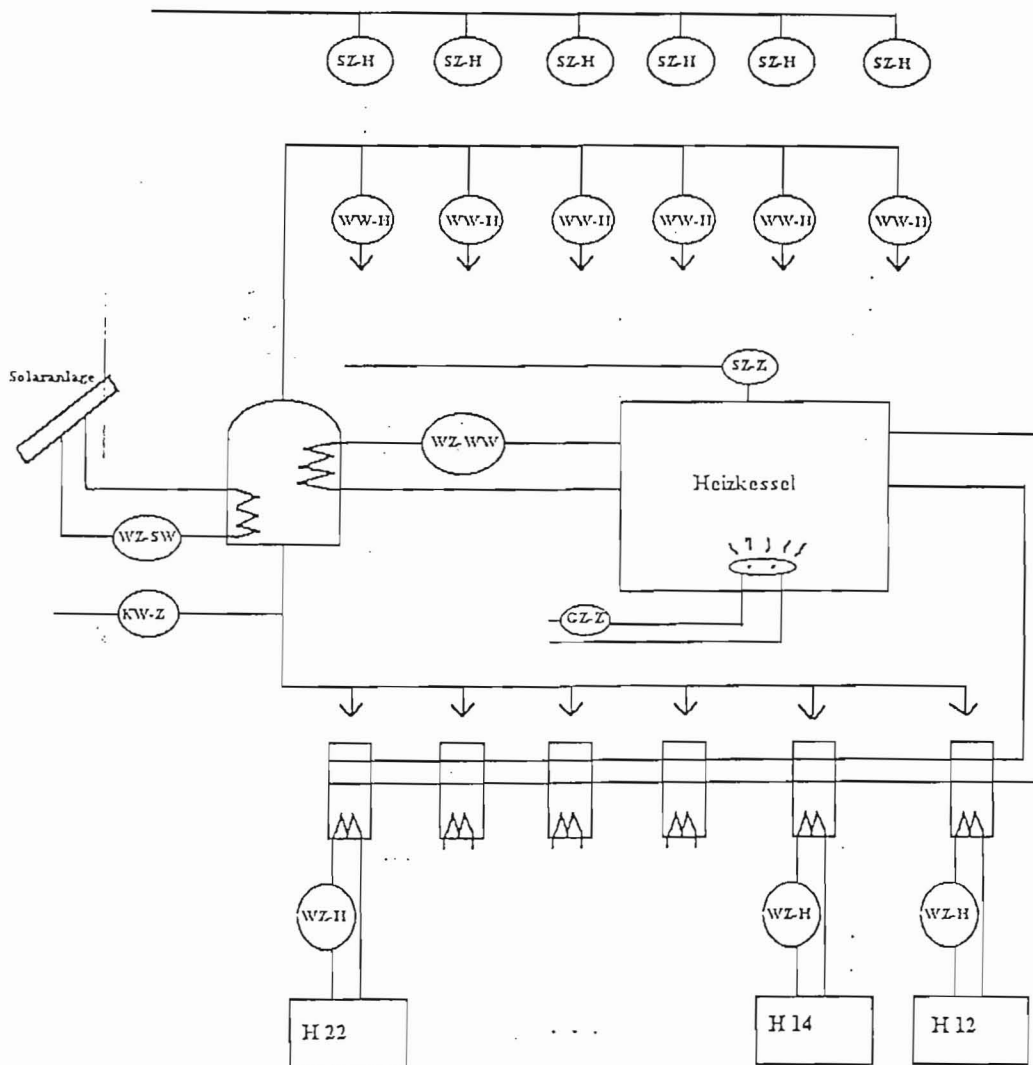


Bild 1: Solarhäuser  
Anlagenkonzeption und Meßfühlerposition

Verbrauchszähler in der Heizzentrale

- |       |                               |
|-------|-------------------------------|
| GZ-Z  | Gaszähler Heizung in m3       |
| WZ-WW | Wärmezähler Warmwasser in MWh |
| KW-Z  | Kaltwasserzähler in m3        |
| SZ-Z  | Elektrozähler Heizung in kWh  |

Verbrauchszähler in den einzelnen Häusern :

- |      |                            |
|------|----------------------------|
| WZ-H | Wärmezähler Heizung in MWh |
| WW-H | Warmwasserzähler in m3     |
| SZ-H | Elektrozähler in kWh       |

Tabelle 1: Solarhäuser  
Charakteristische Merkmale

	Ge- bäude- typ	Bewoh- ner- anzahl	Ver- brauchs- daten	Bemerkungen
Solarhaus 12	EFH mit ELW	4	ab Aug 94	Einzug Oktober 1994 Holzofen Wintergarten
Solarhaus 14	EFH	4	ab Jan 95	Einzug September 1994 Wintergarten
Solarhaus 16	EFH	4	ab Mär 95	Einzug Oktober 1994 Wintergarten
Solarhaus 18	EFH	4	Daten unvoll- ständig	Einzug August 1994 Wintergarten
Solarhaus 20	EFH mit Büro (UG)	4	ab Jan 95	ab Juli 95 bewohnt und Büro, vorher nur Büronutzung, Wintergarten
Solarhaus 22	EFH mit ELW	3	ab Nov 94	Einzug September 1994 Wintergarten

Tabelle 2: Solarhäuser  
Erfaßte Verbrauchswerte in dem Zeitraum  
vom 26.03.1995 bis 26.03.1996

	Wärme Heizung MWh	Warm- wasser m3	Elektro kWh	Wawa (ber.) kWh
Solarhaus 12	7,589	16,79	1622	975
Solarhaus 14	8,962	27,03	2788	1570
Solarhaus 16	11,353	45,88	5691	2665
Solarhaus 18	Daten unvollständ.	Daten unvollständ.	Daten unvollständ.	-
Solarhaus 20	11,845	39,61	7714	2301
Solarhaus 22	13,923	51,2	6812	2974

	Gas m3	Warm- wasser MWh	Kalt- wasser m3	Elektro Heizung kWh
Heizzentrale	8926,8	17,346	218,7	2396



Tabelle 3:

Solarhäuser  
 Heizwärmeverbrauch im Vergleich zur Heizwärmebedarfsberechnung  
 nach DIN EN 832 und den Anforderungen der Wärmeschutz-V. '95

Solarhaus	V beheizt m3	A beheizt m2	A / V m-1	A wfl. m2	An 0.32*V m2	Berechnung nach Enerbed472				Anf. WSchV 95		Messung				Zeit- raum
						QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	
12	542	437	0,81	165	173	11 506	21,2	66,3	69,7	27,8	87	7589	14	43,9	46	95/96
14	434	314	0,72	125	139	6801	15,7	49	54,4	26,3	82,2	8962	20,6	64,5	64,5	95/96
16	434	361	0,83	125	139	7172	16,5	51,6	57,4	28,2	88,1	11 353	26,2	81,7	90,8	95/96
18	434	361	0,83	125	139	7172	16,5	51,6	57,4	28,2	88,1	Daten unvollständig				95/96
20	596	399	0,67	185	191	12 542	21	65,8	67,8	25,4	79,5	11 845	19,9	62	64	95/96
22	542	437	0,81	165	173	11 474	21,2	66,2	69,5	27,8	87	13 923	25,7	80,5	84,4	95/96

Tabelle 3:

Solarhäuser  
 Heizwärmeverbrauch im Vergleich zur Heizwärmebedarfsberechnung  
 nach DIN EN 832 und den Anforderungen der Wärmeschutz-V. '95

Solarhaus	V beheizt m3	A beheizt m2	A / V m-1	A wfl. m2	An 0.32 * V m2	Berechnung nach Enerbed472				Anf. WSchV 95		Messung				Zeit- raum
						QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QH kWh/a	QH' QH/V kWh/m3a	QH'' QH/An kWh/m2a	QA QH/Awfl kWh/m2a	
12	542	437	0,81	165	173	11 506	21,2	66,3	69,7	27,8	87	7589	14	43,9	46	95/96
14	434	314	0,72	125	139	6801	15,7	49	54,4	26,3	82,2	8962	20,6	64,5	64,5	95/96
16	434	361	0,83	125	139	7172	16,5	51,6	57,4	28,2	88,1	11 353	26,2	81,7	90,8	95/96
18	434	361	0,83	125	139	7172	16,5	51,6	57,4	28,2	88,1	Daten unvollständig				95/96
20	596	399	0,67	185	191	12 542	21	65,8	67,8	25,4	79,5	11 845	19,9	62	64	95/96
22	542	437	0,81	165	173	11 474	21,2	66,2	69,5	27,8	87	13 923	25,7	80,5	84,4	95/96

Tabelle 4: Energieverbrauchskennzahlen

	beheiztes Volumen m <sup>3</sup>	Heiz- wärme- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Warm- wasser- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Strom- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a	Gesamt- energie- kennzahl kWh/m <sup>3</sup> a
Solarhaus 12	542	14	1,8	3	18,8
Solarhaus 14	434	20,6	3,6	6,4	30,6
Solarhaus 16	434	26,2	6,1	13,1	45,3
Solarhaus 18	434	Daten unvollständ.	Daten unvollständ.	Daten unvollständ.	keine Berechnung möglich
Solarhaus 20	596	19,9	3,9	12,9	36,7
Solarhaus 22	542	25,7	5,5	12,6	43,8

Tabelle 5: Pro-Kopf-Verbrauch

	Be- wohner	Strom kWh/a	Warm- wasser m <sup>3</sup> /a
Solarhaus 12	4	406	4,2
Solarhaus 14	4	697	6,8
Solarhaus 16	4	1428	11,5
Solarhaus 18	4	Daten unvollständ.	keine Daten
Solarhaus 20	4	1929	9,9
Solarhaus 22	3	2270	17,1

Diagramm 1: Übersicht über die Energieverbräuche

