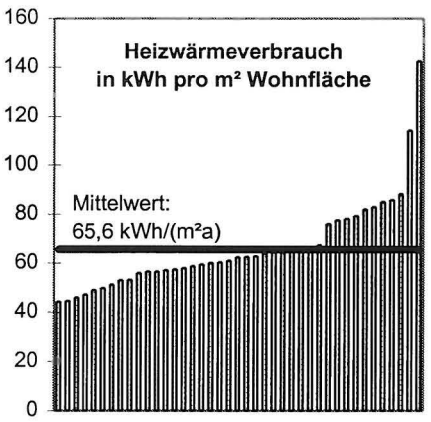
IWU
Institut Wohnen und Umwelt GmbH
Annastraße 15
64285 Darmstadt
06151/2904-0

Die „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen

Ergebnisse des Meßprogramms

Autoren: Tobias Loga
Kornelia Müller
Horst Menje

Reprotechnik: Reda Hatteh



1. Auflage
Darmstadt, Juli 1997

ISBN-Nr. 3-932074-12-2

Die Forschungsarbeiten wurden durch das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit gefördert (AZ: IVc12-78a78-15/89-26).

Inhalt

1 Zielsetzung des Meßprogramms 1

2 Energiesparpotential 3

3 Meßkonzept 8

3.1 Rechnerverbundsystem 8

3.2 Meß- und Bilanzgrößen 9

3.2.1 Meßeinrichtungen in der Heizzentrale 11

3.2.2 Meßeinrichtungen in den Einzelgebäuden 12

3.3 Fehlerbetrachtung 13

4 Meßergebnisse 15

4.1 Klimadaten 15

4.2 Einzelgebäude 16

4.2.1 Raumheizung 16

4.2.2 Warmwasser 20

4.2.3 Haustechnik 22

4.2.4 Wärmeverbrauch gesamt 23

4.2.5 Raumlufttemperaturen 25

4.2.6 Haushaltsstrom 26

4.2.7 Nutzereinfluß/Korrelationen 27

4.3 Versorgungstechnik 29

4.3.1 Netzverluste 29

4.3.2 Heizkessel und Peripherie 31

4.3.3 Heizkraftanlagen 32

4.4 Gesamtbilanz 33

4.4.1 Jahres- und Monatswerte 33

4.4.2 Dynamik/Tagesgänge 36

5 Zusammenfassung / Empfehlungen 43

Anhang 47

1 Zielsetzung des Meßprogramms

Rationeller als durch übliche dezentrale Gas- oder Ölkessel kann der Wärmebedarf von Wohnhäusern durch Nutzung der bei der Stromerzeugung anfallenden Abwärme gedeckt werden („Kraft-Wärme-Kopplung"). Ist ein Neubaugebiet weitab von bestehenden Heizkraftwerken bzw. Fernwärmenetzen geplant, so bietet sich die Realisierung einer Nahwärme-Insel mit eigenem Blockheizkraftwerk an. Die Niedrigenergiebauweise schafft hierfür günstige Voraussetzungen [Klien 1991]: Mit abnehmendem Heizwärmebedarf gewinnt die Warmwasserbereitung an Bedeutung, die eine das ganze Jahr hindurch gleichmäßig hohe Grundlast darstellt. Die Heizkraftanlage kann somit bei gleicher Auslegung einen höheren Anteil des jährlichen Wärmebedarfs decken.

In der Gemeinde Niedernhausen im Taunus wurde 1991/92 erstmals in Deutschland eine derartige Kombination von Niedrigenergiebauweise und BHKW verwirklicht. Initiiert und betreut durch das Darmstädter Büro Rasch & Partner entstand am Schäfersberg die „Niedrigenergiesiedlung Distelweg" - 41 Doppel- und Reihenhäuser mit einem zentralen BHKW. Die Realisierung der BHKW-Nahwärmeversorgung sowie die wissenschaftliche Begleitung wurde durch das Hessische Umweltministerium gefördert.

Die baulichen und anlagentechnischen Details sind in [Menje/Loga 1992], die Ergebnisse der Luftdichtigkeitstests in [Menje et al. 1993] dokumentiert. Eine Untersuchung der Mehrkosten von Niedrigenergiebauweise und Anlagentechnik wurde in [Loga/Hampel/Claßen 1994] vorgenommen. Darüberhinaus wird in [Brunnengräber/Loga 1996] - ausgehend von den Meßergebnissen in Niedernhausen - ein Verfahren zur genaueren Bestimmung der Jahresdauerlinie von Niedrigenergiesiedlungen vorgeschlagen.

Um Erfahrungen mit dem Betrieb einer zentralen Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser zu gewinnen, wurde im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit von 1993 bis 1995 ein umfangreiches Meßprogramm durchgeführt. 24 Datenlogger zeichneten im Stundentakt die Meßwerte von ca. 180 Temperatursensoren sowie von ca. 120 Zählwerken (Strom-, Wärmemengen-, Wasserzähler) auf. Die über drei Jahre gespeicherten Meßdaten werden in dem vorliegenden Bericht aufbereitet und dokumentiert.

Im Vordergrund der Auswertung steht die Fragestellung, ob das in der Konzeptionsphase gesteckte Ziel der Energieeinsparung und Umweltentlastung in der Praxis tatsächlich erreicht wird. Insbesondere die Wärmeverluste der vielen Teilkomponenten waren im Vorfeld theoretisch kaum bestimmbar. Das tatsächliche thermische und hydraulische Verhalten des Wärmenetzes hätte auch mit Hilfe aufwendiger Simulationsprogramme (zumindest ohne Abgleich mit Messungen) nicht genau genug vorhergesagt werden können.

Differenzierte Messungen an den Bilanzgrenzen der einzelnen Systemkomponenten sollen Aussagen über deren tatsächliche energetische Qualität, ihre Wechselwirkung untereinander und den Einfluß des Nutzers ermöglichen. Die ausführliche Dokumentation der Energiebilanz, der Systemeffizienz sowie der aufgetretenen Schwachstellen soll zu einer Optimierung nahwärmeversorgter Niedrigenergiesiedlungen im Rahmen von Planung, Ausführung und Betrieb beitragen.

Die Messungen verschaffen einen Überblick über die relevanten Energieströme innerhalb der Siedlung. Von Interesse sind Bilanzsummen über jeden Monat und jedes Betriebsjahr, aber auch dynamische Effekte innerhalb der Versorgungsstruktur. Im Mittelpunkt stehen folgende Kenngrößen:

- spezifische Verbrauchswerte für Raumheizung und Warmwasser
- Effizienz der Wärmeerzeugung, des Wärmeverteilnetzes und der Heizungstechnik innerhalb der Häuser
- Tagesganglinien des Energiebedarfs
- Potential der Stromerzeugung
- Gesamtenergiebilanz der Siedlung und Primärenergieeinsparung

2 Energiesparpotential

Zur Ermittlung des Energiesparpotentials des Siedlungskonzepts und als Maßstab für die Bewertung der gemessenen Ergebnisse dienen theoretische Energiebilanzen. Grundlage der Berechnungen sind die projektierten energetischen Kenndaten für Gebäude und Heizungstechnik. Für die Wärmeerzeugung wird von der geplanten Ausstattung (3 Heizkraftanlagen im endgültigen Ausbauzustand) ausgegangen. Es werden Durchschnittswerte für die klimatischen Randbedingungen und für die Nutzung zugrundegelegt, für die Betriebsführung des Wärmenetzes (Regelung, Spreizung) werden optimale Bedingungen angenommen.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs der Gebäude basiert auf dem Energiebilanzverfahren des „Leitfadens Energiebewußte Gebäudeplanung" [LEG], einem aus der Empfehlung SIA 380/1 des schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins [SIA 380/1] abgeleiteten stationären Bilanzverfahren. Die Abbildungsgenauigkeit des LEG ist durch verschiedene Validierungsrechnungen hinreichend überprüft [Ebel/Loga 1993][Imkeller/Loga 1996]. Das Verfahren ähnelt in Methodik und Ergebnissen dem Entwurf der europäischen Norm DIN EN 832 [EN832].

Um anschaulichere Werte für die verschiedenen Wärmeströme zu erhalten, wird mit einem „Durchschnittshaus" gerechnet, das heißt: Die Summe der Bauteilflächen aller Häuser wurde durch 41 geteilt, die k-Werte der verschiedenen Bauelementkategorien flächengewichtet gemittelt. Gegenüber der getrennten Bilanzierung aller 41 Gebäude wird also mit einem einheitlichen Ausnutzungsgrad für das Wärmeangebot gerechnet. Der Fehler, der dadurch entsteht, ist jedoch gering. Auf der Basis durchschnittlicher klimatischer Bedingungen wird für jeden Monat eine Energiebilanz für das Durchschnittshaus erstellt.

Tab. 2-1 gibt die Bauteildaten sowie die nach dem LEG berechnete monatliche Wärmebilanz für dieses Durchschnittshaus wieder. Den ca. 10000 kWh Transmissionswärmeverlusten und ca. 4500 kWh Lüftungswärmeverlusten steht in der Heizzeit ein Wärmeangebot von ca. 5500 kWh durch solare Einstrahlung und innere Wärmequellen gegenüber. Der Jahresheizwärmebedarf liegt bei ca. 9300 kWh, bezogen auf die durchschnittliche Wohnfläche (138,1 m²) ergeben sich 67,6 kWh/(m²a).

Für die Berechnung der Energiebilanz der Wärmeversorgung wird zunächst der temperaturspezifische Wärmeverlust (d.h. der Wärmeverlust pro Grad Temperaturdifferenz zwischen Heizmedium und Umgebung in W/K) aller heizungstechnischen Komponenten aus den Herstellerunterlagen bestimmt bzw. abgeschätzt. Aus der im Mittel zur Umgebung herrschenden

Temperaturdifferenz kann damit die mittlere Wärmeverlustleistung bestimmt werden. Da die Temperaturdifferenzen jahreszeitlich schwanken, wurden auch hier jeweils Monatsbilanzen erstellt.

Tab. 2-2 zeigt die Grundlagen der Berechnung und die Ergebnisse der Monatsbilanz. Die Wärmeverluste der Heizungstechnik und Warmwasserbereitung in den Gebäuden berechnen sich zu 61 MWh/a (11 kWh/(m²a)), die des Nahwärmenetzes zu 71 MWh/a (13 kWh/(m²a)).

Für die Aufteilung der Wärmeerzeugung auf Heizkraftanlage und Spitzenkessel werden typische Tagesgänge des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasserbereitung zugrundegelegt. Auf dieser Basis werden die Vollbetriebsstunden der Heizkraftanlagen bestimmt. Eine genaue Beschreibung des Berechnungsverfahrens kann [Brunnengräber/Loga 1996] (im Anhang abgedruckt) entnommen werden. Für die geplante Ausstattung der Siedlung mit 3 Motoren à 14,5 kW_{th} ergeben sich somit 7203 Vollbetriebsstunden. Der Anteil der Motoren an der Jahreswärmeproduktion liegt damit etwa bei 50%.

Einen Überblick über die rechnerische Jahresenergiebilanz gibt Tab. 2-3, Abb. 2-1 zeigt den monatlichen Verlauf.

Bezogen auf einen m² Wohnfläche liegt der Gasverbrauch bei 139 kWh/(m²a). Unter Berücksichtigung einer Stromgutschrift nach [GEMIS] für den erzeugten Strom ergibt sich ein spezifischer Primärenergiebedarf von 86 kWh/(m²a). Die Primärenergie-Heizzahl - also das Verhältnis aus Nutzwärme (Raumheizung + Warmwasser) zu Primärenergieaufwand - liegt bei 0,96. Die Primärenergie-Heizzahl dezentral versorgter Niedrigenergiehäuser liegt demgegenüber unter optimalen Voraussetzungen (Verlust-minimierte Planung und Ausführung) bei 0,7 bis maximal 0,8.

Heizwärmebedarf nach dem "Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung"

Objekt: "Durchschnittshaus" Distelweg

Nutzung		
Erwärmung Kaltwasser	K	5,0
Personenzahl	P	3,07
Nutzungszeit	h/Tag	12,0
durchschnittliche Wärmeabgabe p. Pers	W/P	80,0
Wasserverbrauch pro Person und Tag	l/(P d)	100,0
Stromverbr. pro Pers. u.Jahr	kWh/(P a)	700,0
Reduktionsfaktor Elektrizität	-	0,7
Luftwechsel	1/h	0,5
spezifische Wärmespeicherfähigkeit Luft	Wh/(m³ K)	0,33
spez. Wärmespeicherfähigkeit Wasser	Wh/(l K)	1,16

Bauteildaten	Fläche m²	k-Werte W/(m²K)	g-Werte	Reduktions-faktoren
Dach gegen außen	91,3	0,166		
Wand gegen außen	142,7	0,241		
Tür gegen außen	3,0	1,666		
Wand gegen Keller	5,2	1,110		
Wand gegen Erdreich	0,3	0,250		
Boden gegen Keller	65,5	0,346		
Boden gegen Erdreich	16,8	0,328		
Fenster horizontal	0,0	0,000	0,00	
Fenster Süd	19,9	1,513	0,69	
Fenster Ost	6,6	1,530	0,69	
Fenster West	6,6	1,514	0,69	
Fenster Nord	3,2	1,533	0,69	
Energiebezugsfläche	138,1			
Beheiztes Volumen netto	345,2			
Glasanteil Fenster				0,75
Beschattung und Verschmutzung				0,80

		JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR
Klimadaten														
Länge der Heizperiode	d	31	28	31	23	10	2	0	0	7	24	30	31	217
Heizgradtage	Kd	593	507	448	280	102	17	1	3	63	279	450	557	3300
Globalstrahlung horizontal	kWh/m²	22	40	69	115	141	150	151	131	90	49	24	17	999
Globalstrahlung Süd	kWh/m²	32	59	69	87	82	78	81	86	83	59	35	27	778
Globalstrahlung Ost	kWh/m²	14	28	44	74	83	86	87	78	56	31	16	11	608
Globalstrahlung West	kWh/m²	15	28	46	72	82	84	87	76	56	33	17	12	608
Globalstrahlung Nord	kWh/m²	10	14	26	38	49	57	54	43	28	18	10	8	355
Transmission														
Dach gegen außen	kWh	216,2	184,9	163,3	102,1	37,2	6,2	0,4	1,1	23,0	101,7	164,1	203,1	1203
Wand gegen außen	kWh	489,7	418,7	370,0	231,2	84,2	14,0	0,8	2,5	52,0	230,4	371,6	460,0	2725
Tür gegen außen	kWh	71,8	61,4	54,3	33,9	12,4	2,1	0,1	0,4	7,6	33,8	54,5	67,5	400
Wand gegen Keller	kWh	41,0	35,0	30,9	19,3	7,0	1,2	0,1	0,2	4,4	19,3	31,1	38,5	228
Wand gegen Erdreich	kWh	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,5	3
Boden gegen Keller	kWh	161,2	137,8	121,8	76,1	27,7	4,6	0,3	0,8	17,1	75,8	122,3	151,4	897
Boden gegen Erdreich	kWh	39,2	33,5	29,6	18,5	6,7	1,1	0,1	0,2	4,2	18,5	29,8	36,9	218
Fenster horizontal	kWh	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Fenster Süd	kWh	428,2	366,1	323,5	202,2	73,7	12,3	0,7	2,2	45,5	201,5	325,0	402,2	2383
Fenster Ost	kWh	144,6	123,7	109,3	68,3	24,9	4,1	0,2	0,7	15,4	68,0	109,8	135,9	805
Fenster West	kWh	142,5	121,8	107,7	67,3	24,5	4,1	0,2	0,7	15,1	67,0	108,1	133,9	793
Fenster Nord	kWh	68,8	58,8	52,0	32,5	11,8	2,0	0,1	0,3	7,3	32,4	52,2	64,6	383
Transmissionswärmeverluste	kWh	1804	1542	1363	852	310	52	3	9	192	849	1369	1694	10038
Lüftungswärmeverluste	kWh	811	693	612	383	139	23	1	4	86	381	615	761	4511
Wärmeverluste gesamt	kWh	2614	2235	1975	1234	450	75	4	13	278	1230	1984	2456	14549
Freie Wärme														
Abwärme Elektrizität	kWh	128	115	128	95	41	8	0	0	29	99	124	128	894
Abwärme Personen	kWh	91	82	91	68	29	6	0	0	21	71	88	91	639
Wasserablaufverluste	kWh	55	50	55	41	18	4	0	0	12	43	53	55	386
Reduktionsfaktor fs		1,00	1,00	1,00	0,91	0,73	0,63	0,60	0,60	0,69	0,91	1,00	1,00	
Sonnenstrahlung:														
- durch horizontale Fenster	kWh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- durch Süd-Fenster	kWh	264	486	568	498	159	27	0	0	111	342	288	222	2965
- durch Ost-Fenster	kWh	38	77	121	141	54	10	0	0	25	60	44	30	601
- durch West-Fenster	kWh	41	77	126	137	53	10	0	0	25	64	47	33	611
- durch Nord-Fenster	kWh	13	18	34	34	15	3	0	0	6	17	13	10	164
Summe Strahlung	kWh	356	658	849	811	280	49	0	0	166	482	392	296	4340
Freie Wärme	kWh	520	806	1013	933	333	60	0	0	203	609	550	460	5487
Verhältnis Freie Wärme/Verluste	-	0,20	0,36	0,51	0,76	0,74	0,80	0,00	0,00	0,73	0,50	0,28	0,19	
Gewinnfaktor	-	0,99	0,98	0,95	0,89	0,89	0,87	0,00	0,00	0,89	0,96	0,99	1,00	
Wärmegewinn	kWh	517	789	964	826	297	52	0	0	182	582	544	458	5212
Heizwärmebedarf	kWh	2097	1447	1011	408	153	23	4	13	96	648	1440	1998	9337
Energiekennwert Heizwärme	kWh/m²	15,2	10,5	7,3	3,0	1,1	0,2	0,0	0,1	0,7	4,7	10,4	14,5	67,6

Tab. 2-1: Berechnung des Heizwärmebedarfs für ein „Durchschnittshaus“

					JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAHR	*pro m² Wohnfl.*
Klimadaten																		
Anzahl Heiztage				d	31	28	31	23	10	2	0	0	7	24	30	31	**217**	
Gradtagszahl				Kd	593	507	448	280	102	17	1	3	63	279	450	557	**3300**	
Globalstrahlung horizontal				kWh/m²	22	40	69	115	141	150	151	131	90	49	24	17	**999**	
Globalstrahlung Süd				kWh/m²	32	59	69	87	82	78	81	86	83	59	35	27	**778**	
Globalstrahlung Ost				kWh/m²	14	28	44	74	83	86	87	78	56	31	16	11	**608**	
Globalstrahlung West				kWh/m²	15	28	46	72	82	84	87	76	56	33	17	12	**608**	
Globalstrahlung Nord				kWh/m²	10	14	26	38	49	57	54	43	28	18	10	8	**355**	
Temperatur Erde Te				°C	5	6	7	8	10	12	15	15	11	7	5	5	**8,9**	
Temperatur Keller Tk				°C	10	10	11	12	13	14	15	15	14	13	12	11	**12,5**	
Vorlauftemperatur Primärkreis				°C	70	70	70	70	65	65	65	65	65	70	70	70	**67,9**	
Rücklauftemperatur Primärkreis				°C	50	50	50	50	45	45	45	45	45	50	50	50	**47,9**	
Warmwasser-Entnahme-Temperatur				°C	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	**55,0**	
Wärmebedarf Durchschnittsgebäude																		
Transmissionswärmeverluste				kWh	1804	1542	1363	852	310	52	3	9	192	849	1369	1694	**10038**	*72,7*
Lüftungswärmeverluste				kWh	811	693	612	383	139	23	1	4	86	381	615	761	**4511**	*32,7*
solare und innere Wärmegewinne				kWh	517	789	964	826	297	52	0	0	182	582	544	458	**5212**	*37,7*
Heizwärmebedarf				kWh	2097	1447	1011	408	153	23	4	13	96	648	1440	1998	**9337**	*67,6*
Warmwasserbedarf				kWh	182	165	182	177	182	177	182	182	177	182	177	182	**2148**	*15,6*
Nutzwärmebedarf Siedlung				kWh	93464	66062	48915	23964	13746	8167	7660	8021	11178	34035	66274	89401	**470888**	*83,2*
	Länge [m]	*Verlust-koeff. /(mK)]*	*spezif. Verlust [W/K]*															
Haustechnik Durchschnittsgebäude																		
Primärkreisleitung	*6,0*	*0,201*	*1,21*	kWh	45,0	40,6	44,1	41,8	37,8	35,7	36,0	36,0	35,7	42,3	41,8	44,1	**481**	
Übergabest. (äquiv. Leitungsl.	*2,0*	*0,201*	*0,40*	kWh	15,0	13,5	14,7	13,9	12,6	11,9	12,0	12,0	11,9	14,1	13,9	14,7	**160**	
Zirkulation, Betriebszei 8 h/d	*20,0*	*0,170*	*3,40*	kWh	37,9	34,3	37,1	35,1	35,4	33,5	33,7	33,7	33,5	35,4	35,1	37,1	**422**	
Speicher			*2,00*	kWh	67,0	60,5	65,5	61,9	62,5	59,1	59,5	59,5	59,1	62,5	61,9	65,5	**745**	
Gebäude mit Speicher (Anzahl 24)				kWh	164,9	148,9	161,3	152,7	148,3	140,1	141,2	141,2	140,1	154,3	152,7	161,3	**1807**	
Gebäude ohne Speicher (Anzahl 17)				kWh	97,9	88,4	95,8	90,8	85,8	81,0	81,7	81,7	81,0	91,8	90,8	95,8	**1062**	
Wärmeverluste Haustechnik Siedlung				kWh	5621	5077	5501	5208	5017	4739	4778	4778	4739	5262	5208	5501	**61430**	*10,9*
Nahwärmeleitungen																		
DN 20 (Erdreichverlegung)	*100*	*0,234*	*23,3*	kWh	952	844	918	871	779	720	693	693	737	918	922	952	**9999**	
DN 25 (Erdreichverlegung)	*137*	*0,282*	*38,6*	kWh	1579	1400	1522	1445	1292	1195	1148	1148	1222	1522	1528	1579	**16580**	
DN 32 (Erdreichverlegung)	*141*	*0,301*	*42,3*	kWh	1732	1536	1669	1585	1417	1310	1260	1260	1341	1669	1676	1732	**18186**	
DN 40 (Erdreichverlegung)	*127*	*0,376*	*47,6*	kWh	1948	1727	1877	1782	1593	1473	1416	1416	1508	1877	1885	1948	**20450**	
DN 32 (Kellerverlegung)	*42*	*0,350*	*14,5*	kWh	540	488	529	502	454	429	432	432	429	508	502	529	**5773**	
Wärmeverluste Nahwärmenetz				kWh	6751	5995	6514	6184	5535	5128	4949	4949	5237	6493	6512	6740	**70987**	*12,5*
Heizzentrale																		
Leitungen Heizzentrale	*34*	*0,244*	*8,30*	MWh	0,31	0,28	0,30	0,29	0,26	0,24	0,25	0,25	0,24	0,29	0,29	0,30	**3,3**	
Wärmeerzeugung Heizzentrale				MWh	106,14	77,41	61,23	35,64	24,56	18,28	17,63	17,99	21,40	46,08	78,28	101,94	**606,6**	*107,2*
Heizkraftanlage (HKA)	Vollbetriebsstunden			h	744	672	716	644	552	420	405	414	489	686	717	744	**7203**	
3 Motoren	Wärmeerzeugung			MWh	32,36	29,22	31,16	28,00	24,02	18,28	17,63	17,99	21,28	29,83	31,18	32,36	**313,3**	
à 14,5 kWth / 5,5kWel	Stromerzeugung			MWh	12,28	11,08	11,82	10,62	9,11	6,93	6,69	6,83	8,07	11,32	11,83	12,28	**118,8**	
Gesamtnutzungsgrad 90	Brennstoffbedarf			MWh	49,60	44,78	47,75	42,92	36,81	28,01	27,02	27,58	32,62	45,72	47,79	49,60	**480,2**	*84,8*
Kessel	Wärmeerzeugung			MWh	73,78	48,19	30,07	7,64	0,54	0,00	0,00	0,00	0,12	16,25	47,10	69,58	**293,3**	
2 Kessel	Wirkungsgrad				0,99	0,99	0,99	0,99	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,99	0,99	0,99		
à 170 kW	Bereitschaftsverluste			kW	2,9	2,9	1,4	1,4	1,3	0,0	0,0	0,0	1,3	1,4	2,9	2,9		
	Wärmeverluste			MWh	2,29	2,04	1,26	1,10	0,94	0,00	0,00	0,00	0,91	1,18	2,17	2,28	**14,2**	
	Brennstoffbedarf			MWh	76,07	50,23	31,34	8,74	1,48	0,00	0,00	0,00	1,03	17,43	49,27	71,86	**307,4**	*54,3*
Brennstoffbedarf Heizzentrale (Hu)				MWh	125,67	95,01	79,09	51,65	38,29	28,01	27,02	27,58	33,65	63,15	97,06	121,46	**787,6**	*139,1*
Umweltwirkung																		
Primärenergieeinsparung Stromgutschrift				MWh	37,32	33,69	35,93	32,29	27,69	21,08	20,33	20,75	24,54	34,40	35,96	37,32	**361,3**	*63,8*
Netto-Primärenergiebedarf				MWh	98,40	68,92	49,49	23,49	13,66	9,18	8,85	9,03	11,80	33,80	68,87	93,86	**489,4**	*86,4*
Reduktion CO2-Emissionen durch Stromgutschrift				t	11,3	10,2	10,8	9,8	8,4	6,4	6,1	6,3	7,4	10,4	10,9	11,3	**109,1**	*0,019*
Netto-CO2-Emissionen				t	30,4	23,0	19,1	12,5	9,3	6,8	6,5	6,7	8,1	15,3	23,5	29,4	**190,6**	*0,034*

Tab. 2-2: Rechnerische Energiebilanz der Niedrigenergiesiedlung Distelweg im geplanten Ausbauzustand (3 Heizkraftanlagen)

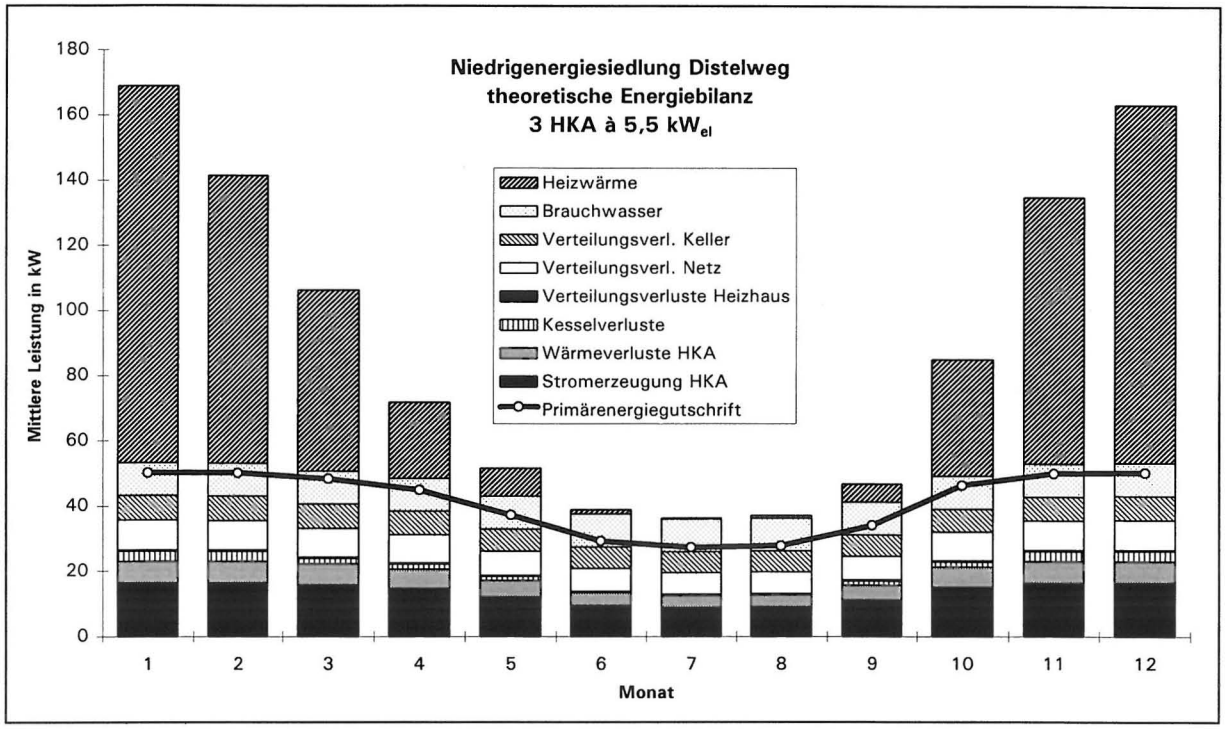


Abb. 2-1: Monatliche Energiebilanz der Niedrigenergiesiedlung Distelweg

Theoretische Energieströme			
	MWh/a	kWh/(m²a)	
Gasverbrauch Heizzentrale (H_u)	788	139	100%
Stromerzeugung HKA	119	21	15%
Wärmeerzeugung HKA	313	55	40%
Einspeisung Wärmenetz	610	108	77%
Entnahme Wärmenetz	539	95	68%
Raumheizung (Nutzwärme)	383	68	49%
Warmwasser (Nutzwärme)	88	16	11%
Verluste Heizzentrale (Kessel, HKA + Rohre)	62	11	8%
Verluste Nahwärmenetz	71	13	9%
Verluste Haustechnik (Verteilung u. Speicherung)	61	11	8%
Verluste Gesamt	195	34	25%
Primärenergieaufwand (incl. Stromgutschrift)	489	86	

Tab. 2-3: Rechnerische Energiebilanz (Primärenergieaufwand nach [GEMIS])

3 Meßkonzept

3.1 Rechnerverbundsystem

Die Meßdatenerfassung erfolgt über ein computergestütztes, vernetztes Verbundsystem, bestehend aus zwei Personalcomputern und 24 Datenloggern. Die Standorte der Geräte verteilen sich auf die Einfamilienhäuser (Datenlogger), die Heizzentrale (Zentralrechner) und einen Büroraum im IWU-Gebäude (Kontrollrechner). Die Datenlogger sind über eine Vierdraht-Ringleitung mit dem Zentralrechner in der Heizzentrale verbunden. Das Datenübertragungskabel (Datenbus) wurde mit dem Wärmenetz im Erdreich verlegt und endet in der Heizzentrale.

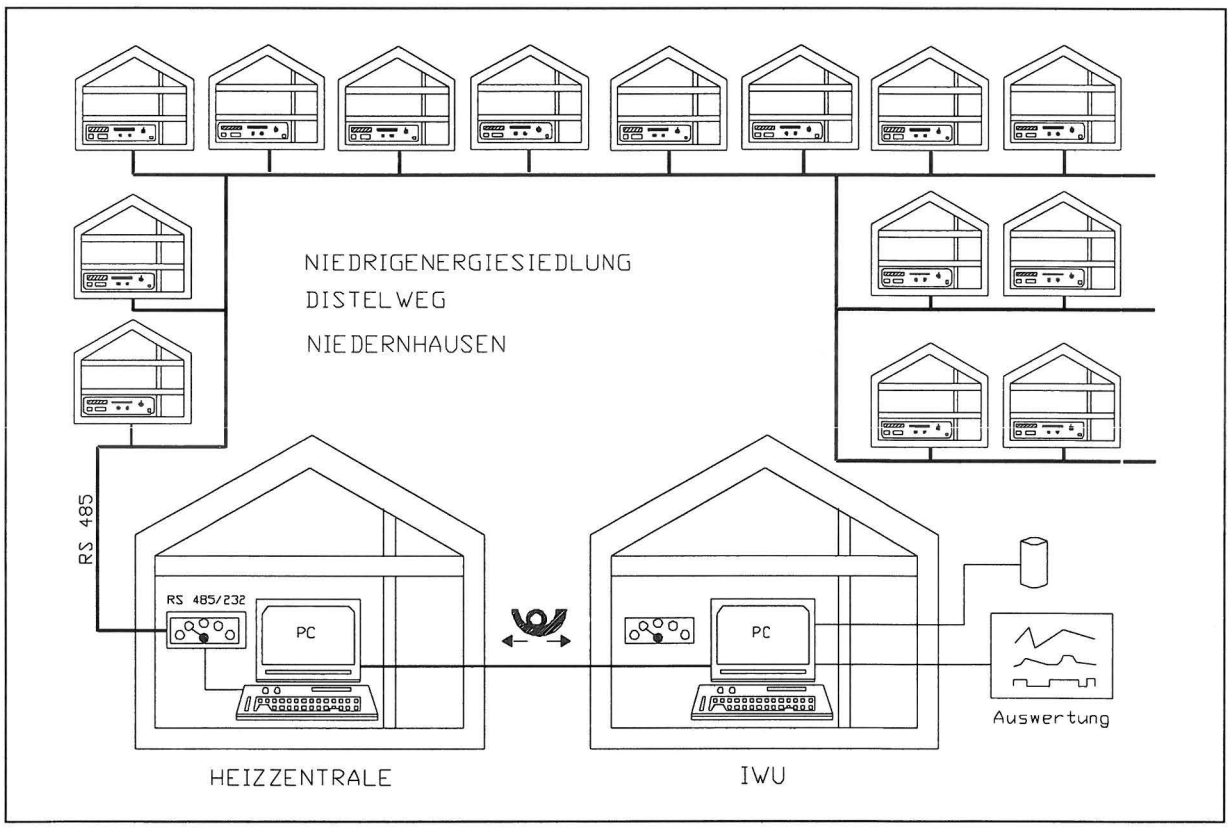


Abb. 3-1: Rechnerverbundsystem in Niedernhausen

Die Datenlogger kommunizieren mit dem Datenbus nach dem Übertragungsprotokoll des seriellen Bussystems RS 485. In der Heizzentrale sorgt ein Hardware-Interface für die Anpassung von RS 485 auf die serielle Schnittstelle des Zentralrechners RS 232. Kontroll- und Zentralrechner sind über Modem an das Telefonnetz der Bundespost gekoppelt und können mit Hilfe einer Datenübertragungssoftware miteinander kommunizieren.

Alle Systembausteine sowie deren Funktionsstatus können zentral vom Kontrollrechner aus dem Institut Wohnen und Umwelt überwacht und bei Bedarf über Programme ferngesteuert modifiziert werden.

Alle Daten werden zunächst als Stundenmittelwerte gespeichert und später zu Tages-, Monats-, und Jahresmittelwerten aggregiert.

3.2 Meß- und Bilanzgrößen

Die Erfassung der Meßdaten erfolgt in drei Teilsystemen:

TS I	TS II	TS III
Heizzentrale	Wärmenetz	Wohngebäude

Zur Datengewinnung werden die Energieströme von der Kesselanlage bis hin zu den 41 Einfamilienhäusern mit Hilfe des computergesteuerten Meßdatenerfassungssystems vollautomatisch registriert. Die Meßpunkte befinden sich an den Bilanzgrenzen der jeweiligen Teilsysteme, an denen ein Austausch von Energieströmen untereinander und nach außen stattfindet. Die Bilanz der Teilsysteme wird durch folgende Größen bestimmt:

	Bilanzgröße	Meßwertaufnehmer
TS I	Gasverbrauch Heizzentrale	Gaszähler
	Stromverbrauch Heizzentrale	Stromzähler Heizzentrale
	Gasverbrauch HKA	Gaszähler HKA*
	Stromerzeugung HKA	Stromzähler HKA*
	Wärmeerzeugung HKA	Wärmemengenzähler HKA*
	Einspeisung Wärmenetz	Wärmemengenzähler Heizzentrale
	Verluste Heizzentrale	Gaszähler, Stromzähler HKA*, Wärmemengenzähler Heizzentrale
TS II	Einspeisung Wärmenetz	Wärmemengenzähler Heizzentrale
	Entnahme Wärmenetz	41 Wärmemengenzähler Einzelgebäude
	Verluste Nahwärmenetz	Wärmemengenzähler Heizzentrale, 41 Wärmemengenzähler Einzelgebäude
TS III	Entnahme Wärmenetz	41 Wärmemengenzähler Einzelgebäude
	Warmwasser (Nutzwärme)	41 Wasserzähler Einzelgebäude
	Raumheizung (Nutzwärme)	41 Wärmemengenzähler Einzelgebäude, 41 Wasserzähler Einzelgebäude
	Verluste Heizungskeller	41 Wärmemengenzähler Einzelgebäude, 41 Wasserzähler Einzelgebäude

*) Meßdatenerfassung durch Fichtel & Sachs AG

Darüberhinaus werden die klimatischen Randbedingungen und die Innentemperaturen der Gebäude erfaßt:

	Meßgröße	Meßwertaufnehmer
Klima	Gradtagszahl	Außentemperaturfühler
	Globalstrahlung horizontal, Süd, West, Nord, Ost	Solarzellen-Würfel
	Innentemperatur Wohnzimmer, Küche, Schlafzimmer, Keller	41 x 4 Raumtemperaturfühler

Nicht alle Bilanzgrößen können direkt durch entsprechende Meßeinrichtungen erfaßt werden:

- Die jeweiligen Wärmeverluste der drei Teilsysteme werden indirekt aus den hinein- und hinausgehenden Energieströmen erfaßt.
- Die Werte für Strom- und Wärmeerzeugung der Heizkraftanlagen werden im Rahmen des vom Land Hessen geförderten Demonstrationsvorhabens vom Hersteller der Heizkraftanlagen ermittelt. Die hier verwendeten Daten stammen von Handablesungen in unregelmäßigen Intervallen. Damit ist das Gesamtergebnis exakt bestimmt, die Verteilung auf die Monate erfolgt zum Teil auf der Basis plausibler Annahmen.
- Der Nutzwärmeverbrauch Warmwasser in den einzelnen Wohnhäusern wurde aus dem jeweils gezapften Warmwasservolumen, der Kaltwasser- und der (angenommenen) Speichertemperatur ermittelt.
- Um die Kosten in Grenzen zu halten, wurde für die Ermittlung des Nutzwärmeverbrauchs für die Raumheizung in den Einzelgebäuden kein zusätzlicher Wärmemengenzähler eingesetzt (Kosten pro Wärmemengenzähler ca. 700 DM). Die Differenz aus der dem Netz entnommenen Wärmemenge und dem Nutzwärmeverbrauch Warmwasser entspricht der Summe des Nutzwärmeverbrauchs für die Raumheizung und der Verluste im Heizungskeller. In den Sommermonaten, in denen kein Raumwärmebedarf besteht, kann die Differenz ganz den Heizungskellerverlusten zugeordnet werden. Die so ermittelten Verluste können auf das Jahr hochgerechnet werden, da sie nur geringfügig von der Jahreszeit abhängen.

3.2.1 Meßeinrichtungen in der Heizzentrale

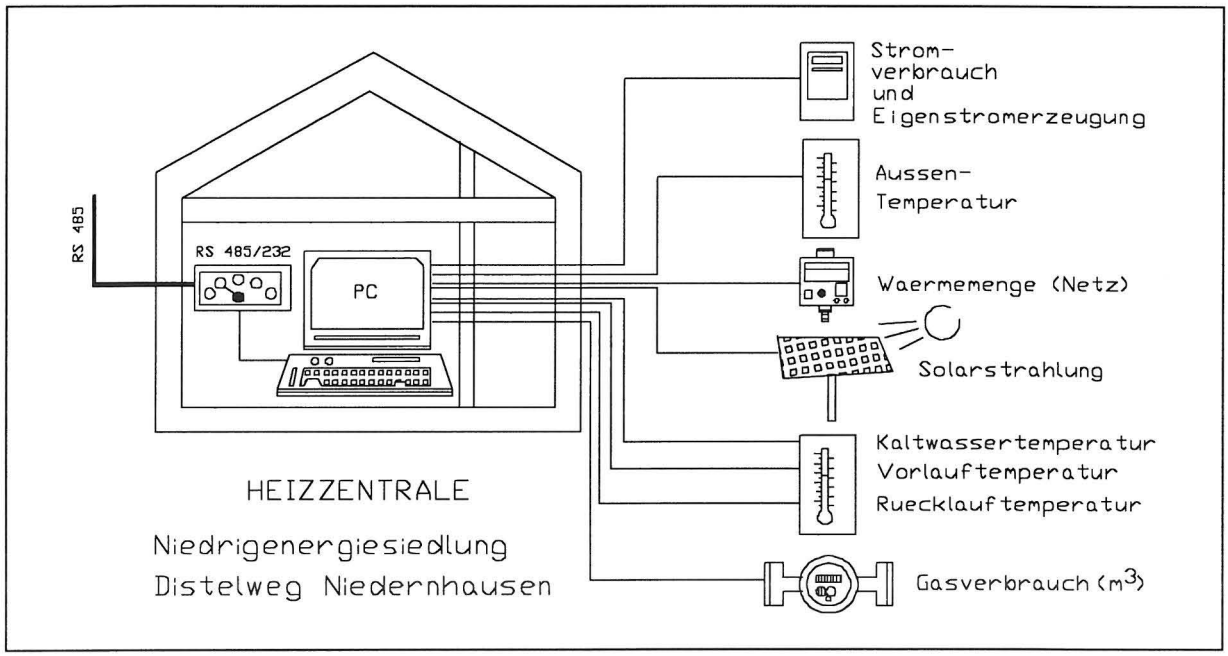


Abb. 3-2: Messung in der Heizzentrale

Meßgerät	Anzahl	Einheit	Meßunsicherheit
Gaszähler Heizzentrale	1	m³	± 3 %
Wärmemengenzähler Heizzentrale	1	kWh	± 3 %
Temperaturfühler Vorlauf Heizzentrale	1	°C	± 0,1 K
Temperaturfühler Rücklauf Heizzentrale	1	°C	± 0,1 K
Temperaturfühler Kaltwasser	1	°C	± 0,1 K
Stromzähler Heizzentrale	1	KWh	± 3 %
Gaszähler HKA*	1	m³	± 3 %
Wärmemengenzähler HKA*	1	kWh	± 3 %
Stromzähler HKA*	1	KWh	± 3 %
Außentemperaturfühler	1	°C	± 0,1 K
Solarzelle	5	W/m²	± 10 kWh

*) Meßdatenerfassung durch Fichtel & Sachs

3.2.2 Meßeinrichtungen in den Einzelgebäuden

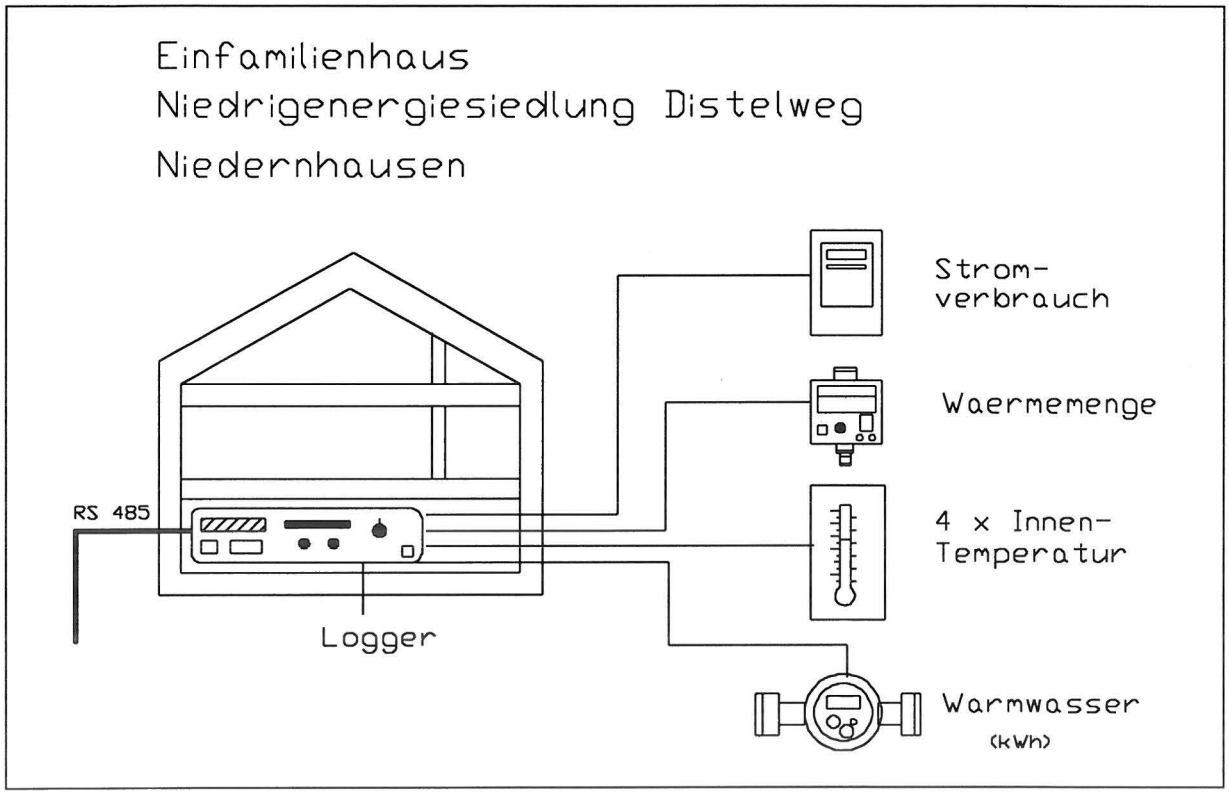


Abb. 3-3: Messung in den Einzelgebäuden

Meßgerät	Anzahl	Einheit	Meßunsicherheit
Wärmemengenzähler Einzelgebäude	41	kWh	± 3 %
Stromzähler Einzelgebäude	41	kWh	± 3 %
Wasserzähler Einzelgebäude (Nachspeisung Warmwasserbereitung)	41	m^3	± 3 %
Raumtemperaturfühler (Küche, Schlafzimmer, Wohnzimmer, Keller)	41 x 4	°C	± 0,1 K

3.3 Fehlerbetrachtung

Bei der Bewertung und Diskussion der in Niedernhausen gemessenen Energieverluste einzelner Teilsysteme muß die jeweilige Meßunsicherheit beachtet werden. Zwei Faktoren wirken sich auf die Genauigkeit der erfaßten Daten aus:

- Meßgeräte weisen immer Toleranzen auf. Die Fehlergrenzen der in Niedernhausen verwendeten Geräte sind in den Abschnitten 3.2.1 und 3.2.2 wiedergegeben.
- Meßdatenlücken durch zeitweisen Ausfall von Geräten wurden im Rahmen der Auswertung - z.T. durch Heranziehung von später abgelesenen Zählerständen - plausibel ergänzt. Die Genauigkeit der Ergänzung und Zuordnung zu den Zeiteinheiten wird auf ca. ±10% abgeschätzt. Bezogen auf den gesamten Meßzeitraum ergeben sich damit bei allen Größen Gesamtfehler von deutlich weniger als 1%. In der folgenden Fehlerbetrachtung werden die Ausfallzeiten - wegen der geringen Relevanz - nicht mitberücksichtigt.

Die Meßunsicherheit hängt sehr stark von der betrachteten Bilanzgröße ab. Während direkt erfaßte Größen (z.B. Gasverbrauch) nur geringe Toleranzen aufweisen (nämlich die des jeweiligen Meßgeräts), ist die Bilanzierung kleiner Differenzen von Meßwerten mit einem großen relativen Fehler behaftet: Diese indirekten Meßgrößen werden daher vergleichsweise unsicher erfaßt. Bei einem linearen Zusammenhang zwischen n direkten Meßgrößen und der daraus resultierenden indirekten Größe ist die Meßunsicherheit gleich:

$$\Delta f(x_i) = \sqrt{\sum_i (\Delta x_i)^2}$$

x_i	direkte Meßgrößen mit i = 1 ... n
Δx_i	Meßunsicherheit der Größe x_i
$\Delta f(x_i)$	Meßunsicherheit der indirekten Größe $f(x_i)$

Dies gilt jedoch nur für statistische, also nicht korrelierte Meßfehler. Im Falle der Wärmemengenzähler der Einzelhäuser treten dagegen volumenstromabhängige (systematische) Fehler auf, so daß die gesamte Unsicherheit gleich der Summe der Fehlergrenzen der einzelnen Wärmemengenzähler ist.

Für die in Niedernhausen gemessenen Energieströme ergeben sich die folgenden relativen und absoluten Meßunsicherheiten:

Fehlerbetrachtung			
(Bezug: Meßwerte 1994)		Meßunsicherheit	
Meßgröße		bezogen auf Meßgröße	absolut
Gaszähler		± 3 %	± 22 MWh
Wärmemengenzähler Heizzentrale		± 3 %	± 19 MWh
Wärmemengenzähler 41 Wohngebäude		± 5 %	± 26 MWh
Warmwasserzähler		± 5 %	± 4 MWh
Stromzähler Haushalte		± 3 %	± 5 MWh
Stromzähler Netzeinspeisung		± 3 %	± 2 MWh
Verluste Heizzentrale	(indirekt)	± 72 %	± 29 MWh
Verluste Nahwärmenetz	(indirekt)	± 26 %	± 32 MWh
Verluste Haustechnik	(indirekt)	± 34 %	± 26 MWh
Raumheizung (Nutzwärme)	(indirekt)	± 7 %	± 26 MWh

Tab. 3-1: Fehlerbetrachtung für die in Niedernhausen gemessenen Energieströme

Die energetische Bilanz der Siedlung insgesamt ist mit einer ausreichenden Sicherheit (±3% bis ±5%) bestimmbar. Aussagen über die Verteilung der Wärmeverluste auf die Einzelkomponenten sind jedoch grundsätzlich mit einer hohen (relativen) Unsicherheit (±26% bis ±72%) behaftet. Dies muß bei der Auswertung und Diskussion der Meßergebnisse beachtet werden.

4 Meßergebnisse

4.1 Klimadaten

Gemessene Klimadaten Niedernhausen (Heizgrenze 12°C)													
		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Gradtagszahl	1993	450	530	442	223	29	0	0	0	62	289	556	517	3099
[Kd/a]	1994	520	519	387	285	80	26	0	0	55	302	326	479	2980
	1995	584	420	491	235	103	0	0	16	61	120	471	615	3116
Durchschnitt 1993-1995														**3065**
langjähriges Mittel		*(Wiesbaden-Süd)*												*3300*
Anzahl Heiztage	1993	31	28	30	19	3	0	0	0	7	22	30	31	201
[d/a]	1994	31	28	30	20	9	3	0	0	6	26	29	31	213
	1995	31	28	31	20	10	0	0	2	6	12	30	31	201
Durchschnitt 1993-1995														**205**
langjähriges Mittel		*(Wiesbaden-Süd)*												*230*
Globalstr. horizontal	1993	12,0	29,1	77,3	40,4	7,3	0,0	0,0	0,0	12,8	21,1	14,4	6,3	221
(an Heiztagen)	1994	14,3	31,0	51,5	51,8	24,9	12,4	0,0	0,0	10,7	41,0	14,2	11,6	263
[kWh/(m²a)]	1995	14,4	21,4	62,6	50,3	31,4	0,0	0,0	1,6	2,3	4,0	6,2	4,2	198
Durchschnitt 1993-1995														**228**
langjähriges Mittel		*(Geisenheim)*												*331*

Tab. 4-1: Gemessene Klimadaten in Niedernhausen (Heizgrenze 12°C)

Tab. 4-1 gibt die Monatswerte der in der in der Heizzentrale der Niedrigenergiesiedlung aufgezeichneten Klimadaten wieder. Langjährige Durchschnittswerte sind für den Standort Niedernhausen nicht bekannt, daher wurden die nächstgelegenen Klimastationen für den Vergleich herangezogen. Insgesamt handelte es sich um weniger kalte Winter mit einer relativ geringen solaren Einstrahlung

Die Temperaturmeßstation in Wiesbaden-Süd hat als langjährigen Mittelwert der Gradtagszahl für eine Heizgrenze 12 °C einen Wert von 3300 Kd/a ermittelt. Die 1993 bis 1995 in Niedernhausen gemessenen Werte sind demgegenüber um ca. 7% geringer.

Die Strahlungsmeßstation in Geisenheim ermittelte als langjähriges Mittel für die Globalstrahlung in der Heizzeit einen Wert von 331 kWh/(m²a). Die 1993 bis 1995 in Niedernhausen gemessenen Werte liegen um etwa 30 % darunter.

4.2 Einzelgebäude

4.2.1 Raumheizung

	Summe 41 Gebäude MWh/a	durchschnittl. pro Gebäude kWh/a	pro m² Wohnfläche kWh/(m²a)
1993	403	9835	71,2
1994	371	9049	65,5
1995	408	9951	72,1
Durchschnitt 1993-1995	**394**	**9612**	**69,6**
Meßunsicherheit	*± 26 (± 7 %)*		
Theorie (durchschnittl. Klima)	383	9337	67,6

Tab. 4-2: Verbrauchswerte Raumheizung

Der Wärmeverbrauch für die Raumheizung lag pro Gebäude bei durchschnittlich 9612 kWh/a. Bezogen auf die Wohnfläche ergibt sich ein Energiekennwert von 69,6 kWh/(m²a). Die Anforderung an die Niedrigenergiebauweise (≤ 70 kWh/(m²a)) wird eingehalten.

Der rechnerisch vorherbestimmte Heizwärmebedarf von ca. 68 kWh/(m²a) (vgl. Kapitel 3) wird damit auch in der Praxis erreicht. Dies ist ein Indiz dafür, daß die Ausführung der Außenbauteile etwa der Planung entspricht und keine relevanten thermischen Schwachstellen (konstruktive Wärmebrücken) eingebaut wurden. Die Feststellung von Schwachstellen bei Einzelobjekten durch Vergleich des rechnerischen mit dem gemessenen Heizwärmeverbrauch ist allerdings kaum möglich, da die Nutzungsbedingungen (insbesondere Luftwechsel) im konkreten Einzelfall nicht bekannt sind.

Die Schwankung über die drei Jahre ist hauptsächlich auf die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zurückzuführen. Klimabereinigte Meßwerte werden in Abschnitt 4.1 diskutiert.

Abb. 4-1 gibt die Einzelverbrauchswerte exemplarisch für das Jahr 1994 wieder. Aufgrund unterschiedlicher Haustypen und Nutzungen ergibt sich eine relativ starke Streuung der Einzelhaushalte (zwischen 70 und 200 %). Eine deutliche Abhängigkeit des Raumwärmeverbrauchs von der Lage innerhalb der Gebäudezeile ist erkennbar: Für Reihenmittelhäuser liegt der Energiekennwert im Mittel bei 61 kWh/(m²a), für Reihenendhäuser im Mittel bei 71 kWh/(m²a) (Messungen 1994). Der Grund für die stark erhöhten Verbrauchswerte einzelner Gebäude liegt vor allem in der zeitweisen Beheizung von Kellerräumen und einem höheren Luftaustausch durch zeitweiliges Öffnen der Fenster.

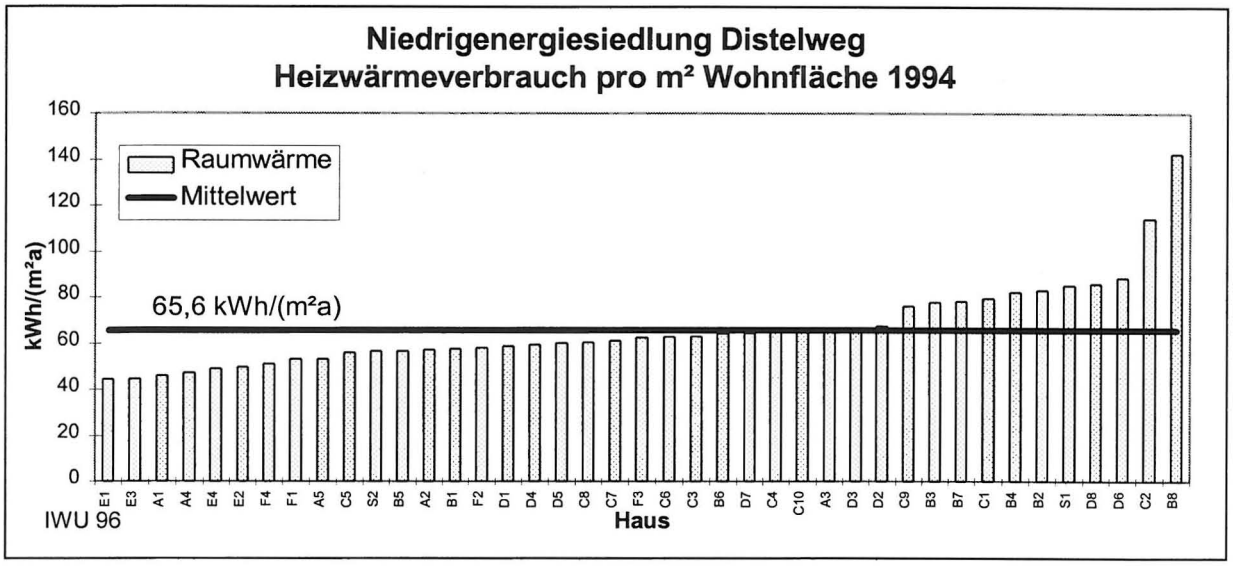


Abb. 4-1: Verbrauchswerte Raumheizung der einzelnen Haushalte 1994

Klimaabhängigkeit

Auf der Basis der gemessenen Außenlufttemperaturen und der solaren Einstrahlung (vgl. Abschnitt 4.1) kann der rechnerische Heizwärmebedarf für das real aufgetretene Klima bestimmt werden. Tab. 4-3 und Abb. 4-2 gibt den Vergleich mit den gemessenen Werten wieder. Es zeigt sich eine hervorragende Übereinstimmung des jahreszeitlichen Verlaufs (eine Anpassung der Nutzungsdaten o.ä. zur Verbesserung der Übereinstimmung wurde nicht vorgenommen!). Das Ergebnis unterstreicht die Validität der Methodik und der getroffenen Annahmen des gewählten stationären Bilanzverfahrens.

Verbrauchs- und Bedarfswerte Raumheizung [MWh/a]						
	1993		1994		1995	
	Messung	Theorie	Messung	Theorie	Messung	Theorie
Jan	69.5	85.7	72.2	78.9	82.0	87.2
Feb	74.0	64.5	67.8	56.3	55.5	66.5
Mär	45.4	49.5	46.9	40.8	56.5	51.9
Apr	25.5	24.1	30.6	17.7	27.6	26.1
Mai	3.4	8.7	8.0	6.5	10.6	9.4
Jun	0.0	1.3	2.8	1.0	5.8	1.5
Jul	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.2
Aug	0.0	0.5	0.0	0.5	0.2	0.5
Sep	5.5	5.4	7.1	4.1	8.6	5.8
Okt	34.3	31.0	28.4	25.8	17.8	32.4
Nov	73.5	60.8	40.8	54.8	58.1	62.2
Dez	72.3	81.1	66.3	75.0	85.0	82.3
Jahr	**403.2**	**412.7**	**371.0**	**361.5**	**407.8**	**425.9**
pro m² Wohnfl.	71.2	72.9	65.5	63.8	72.0	75.2

Tab. 4-3: Gemessener Heizwärmeverbrauch und rechnerischer Heizwärmebedarf bei gemessenen klimatischen Randbedingungen für ein Durchschnittshaus (1993-1995)

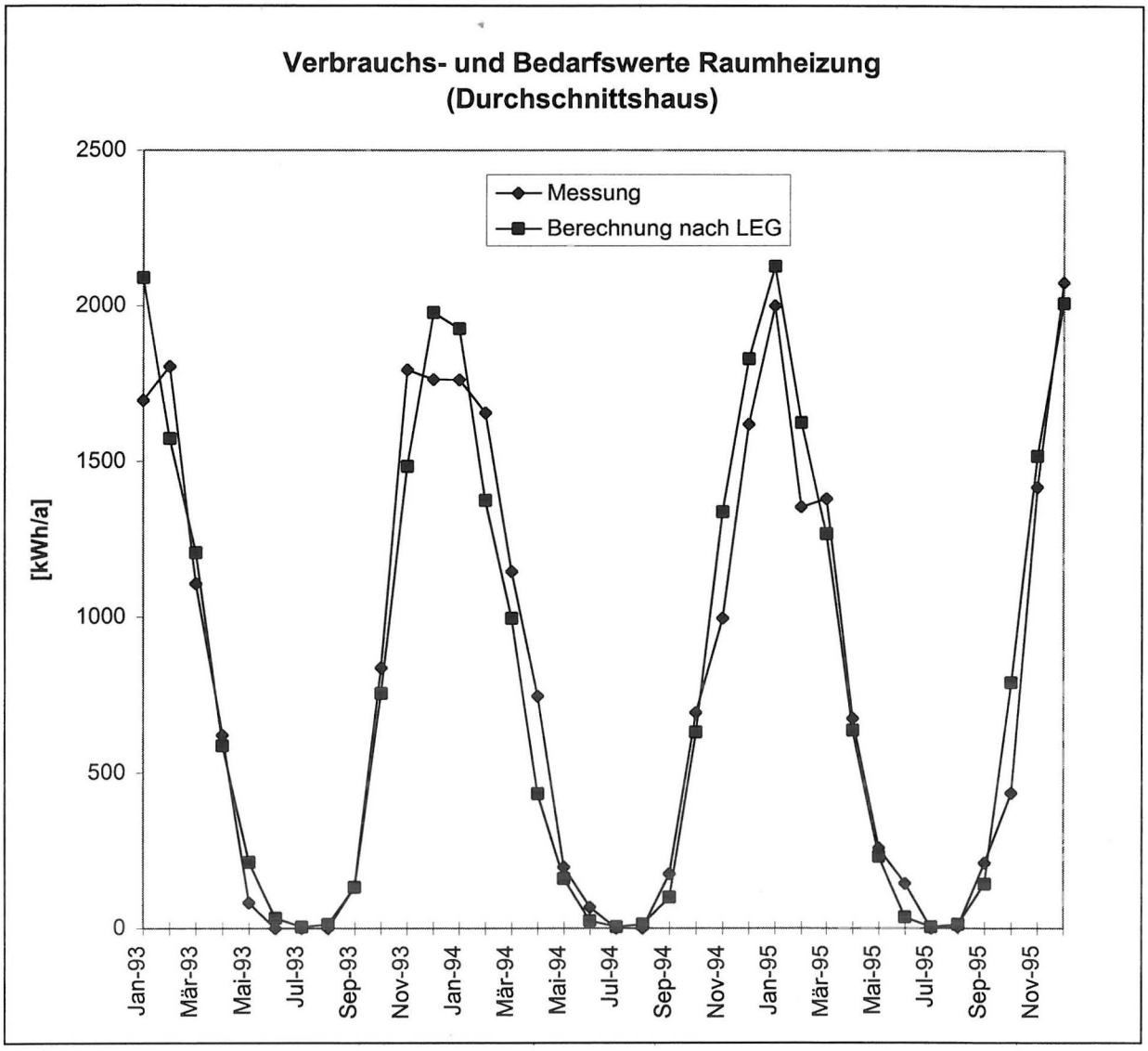


Abb. 4-2: Gemessener Heizwärmeverbrauch und rechnerischer Heizwärmebedarf bei gemessenen klimatischen Randbedingungen für ein Durchschnittshaus (1993-1995)

Um Aussagen über den Verbrauch an Heizwärme für meteorologisch durchschnittliche Jahre machen zu können, wird üblicherweise eine Korrektur auf der Basis der vorliegenden Gradtagszahlen durchgeführt. Diese „Gradtagszahl-Bereinigung" ergibt für die Niedrigenergiesiedlung Distelweg für durchschnittliche Jahre bereinigte Verbrauchswerte zwischen 73 und 76 kWh/(m²a). Im Fall von Niedrigenergiehäusern ist die Genauigkeit dieser Methode jedoch zweifelhaft.

Im Vergleich zu schlecht gedämmten Altbauten besitzen die solaren und inneren Gewinne bei Niedrigenergiehäusern einen wesentlich stärkeren Einfluß. Wie in Kapitel 2 gezeigt wurde, decken sie für die hier untersuchten Gebäude etwa ein Drittel der Wärmeverluste. Die Methode der „Gradtagszahl-Bereinigung" berücksichtigt diesen Effekt nicht und führt so zu großen Ungenauigkeiten.

Aus diesem Grunde wurde hier eine genauere „Klima-Bereinigung" durchgeführt: Der Korrekturfaktor wurde aus dem Verhältnis des rechnerischen Heizwärmebedarfs beim Durchschnittsklima zum rechnerischen Heizwärmebedarf für das gemessene Klima im betreffenden Jahr bestimmt. Da in den Jahren 93 bis 95 die solare Einstrahlung in Niedernhausen um ca. 30 % unter den Durchschnittswerten am DWD-Standort Geisenheim lag (siehe Abschnitt 4.1), ergibt die Klimakorrektur eher etwas niedrigere Verbrauchswerte. Der klimabereinigte spezifische Verbrauch an Heizwärme liegt für Durchschnittsjahre bei 66,7 kWh/(m²a).

Sogar die Tendenz der 1994 etwas höher liegenden bereinigten Werte kann durch das Modell erklärt werden: Das Mittel der Raumlufttemperaturen lag 1994 um ca. ein halbes Grad höher (die Bilanzrechnung wurde ohne Anpassung der Raumlufttemperaturen an die gemessenen Werte, also mit konstant 20°C durchgeführt).

Spezifischer Heizwärmeverbrauch in kWh/(m²a)				
	1993	1994	1995	Mittel
Messung	71,2	65,5	72,0	69,6
Korrekturfaktor Gradtagszahlen	*1,06*	*1,11*	*1,06*	
Gradtagszahl-bereinigt	75,8	72,6	76,3	74,9
Korrekturfaktor Klima/Wärmebilanz	*0,93*	*1,06*	*0,90*	
Klima-bereinigt	**66,0**	**69,4**	**64,7**	**66,7**

Tab. 4-4: Klimabereinigte Verbrauchswerte für Raumheizung

4.2.2 Warmwasser

Mit Hilfe der in den Wohnungen jeweils im Zulauf der Warmwasserbereitung installierten Wasserzähler wurden die Warmwasser-Verbrauchswerte über den Meßzeitraum erfaßt. Der tägliche Verbrauch lag im Durchschnitt bei 91 Litern pro Gebäude bzw. bei 26 Litern pro Person (Tab. 4-5). Bei einer durchschnittlichen Warmwassertemperatur am Speicherausgang von 55°C ergibt sich damit ein Wärmeverbrauch von ca. 1700 kWh/a (480 kWh pro Person).

	Summe 41 Gebäude MWh/a	durchschnittl. pro Gebäude kWh/a	durchschnittl. pro Gebäude l/d (55°C)	durchschnittl. pro Person l/(Pd) (55°C)
1993	71,7	1749	91,8	26,0
1994	70,3	1715	93,1	26,3
1995	67,5	1647	88,0	24,9
Durchschnitt 1993-1995	**69,8**	**1703**	**90,9**	**25,7**
Meßunsicherheit	*± 4*	*(± 5 %)*		
Theorie*	88,1	2148	114,7	37,4

*) 45 m² Wohnfläche pro Person; jährlich 700 kWh pro Person

Tab. 4-5: Verbrauchswerte Warmwasser

Nach [Recknagel 1995] liegen typische Verbrauchswerte zwischen täglich 10 und 80 Litern pro Person, wobei die Kategorien „einfache", „höhere" und „höchste Ansprüche" unterschieden werden. Der Verbrauch im Distelweg ordnet sich demnach an der Grenze zwischen „einfachen" und „höheren Ansprüchen" ein. Gegenüber den Standardwerten nach [LEG] liegen diese Werte etwa 30 % niedriger. Die Bewohner gehen somit eher sparsam mit Warmwasser um.

Abb. 4-3 zeigt exemplarisch für 1994 die Einzelverbrauchswerte der Haushalte. Es ergibt sich eine relativ starke Streuung zwischen 50 und 300% vom Mittelwert. Auch bezogen auf die Anzahl der Bewohner ergeben sich ähnliche Unterschiede (Abb. 4-4). Das Nutzerverhalten ist stark individuell geprägt.

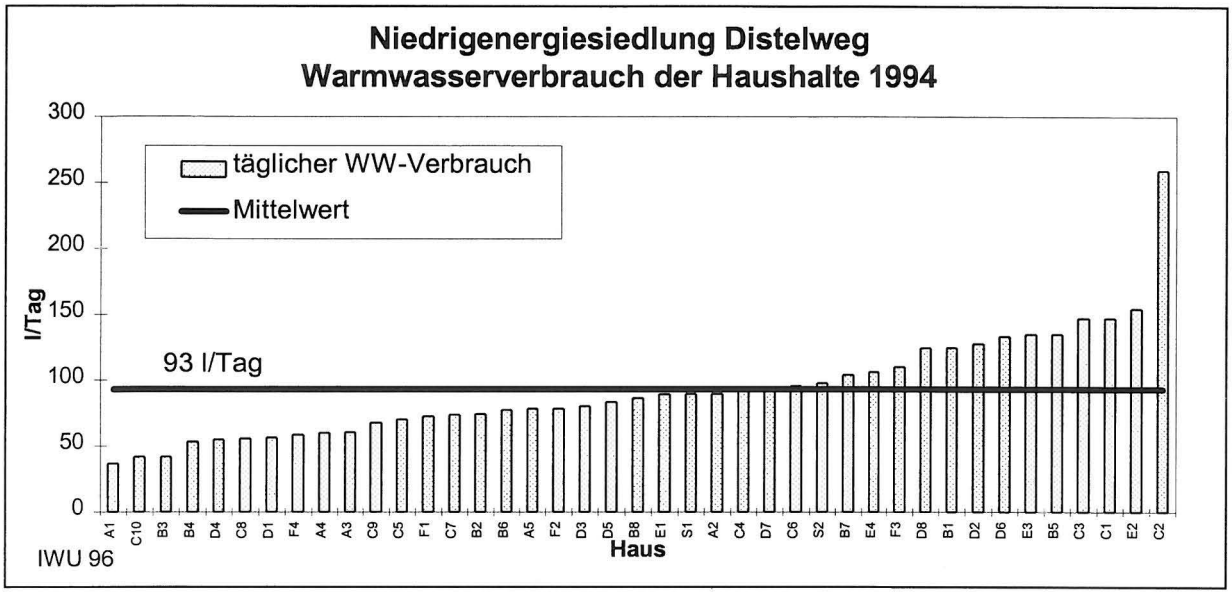


Abb. 4-3: Verbrauchswerte Warmwasser der einzelnen Haushalte 1994

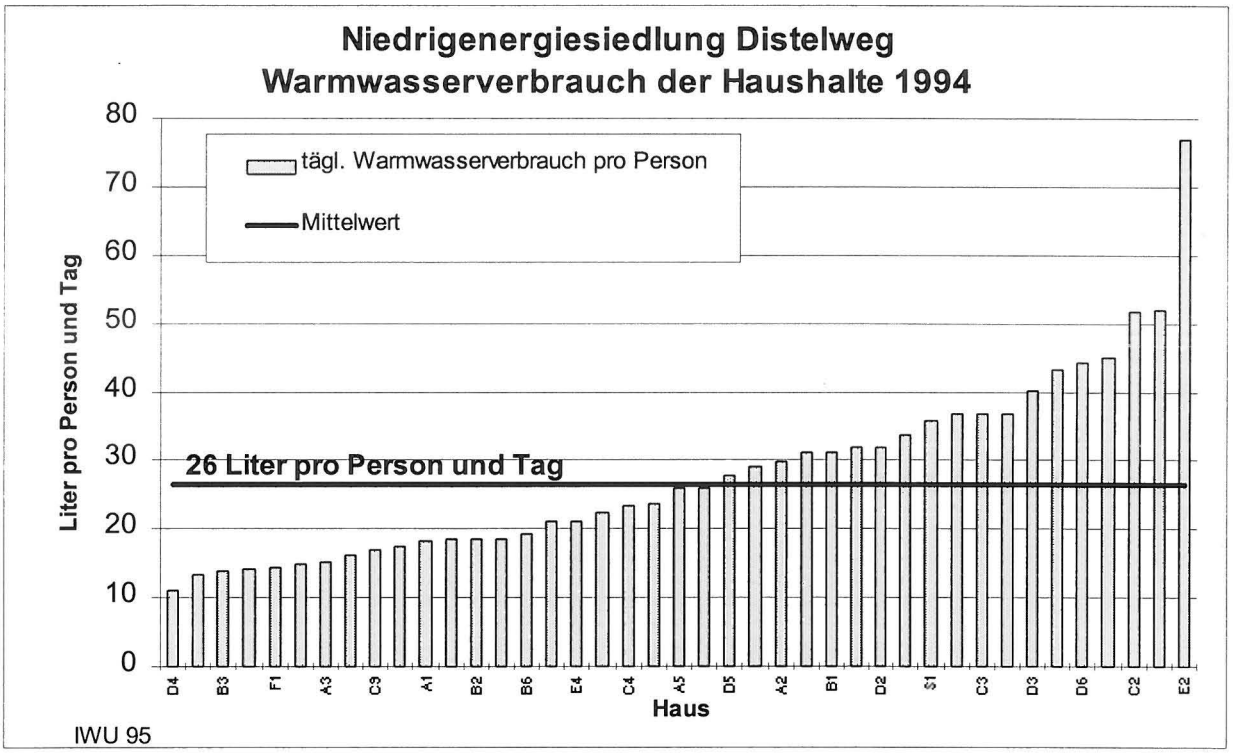


Abb. 4-4: Verbrauchswerte Warmwasser pro Person 1994

4.2.3 Haustechnik

	Summe 41 Gebäude		*durchschnittl. pro Gebäude* Speicher (24 Stück)		Durchlauferh. (17 Stück)	
	MWh/a		kWh/a	W	kWh/a	W
1993	100		2907	332	1796	205
1994	76		2309	264	1189	136
1995	79		2269	259	1427	163
Durchschnitt 1994-1995	**77**		**2289**	**261**	**1308**	**149**
Meßunsicherheit	*± 26*	*(± 34 %)*				
Theorie	61		1807	206	1062	121

Tab. 4-6: Haustechnikverluste

Die Differenz zwischen Wärmeentnahme aus dem Netz und dem Verbrauch an Warmwasser und Heizwärme entspricht den Wärmeverlusten der Haustechnik-Komponenten (vgl. Abschnitt 3.2.1). Diese umfassen die Übergabestation, den Warmwasserspeicher und die Leitungen des Speicherladekreises (wenn vorhanden) sowie die Zirkulationsleitungen. Aufgrund der Meßprozedur sind die Wärmeverluste der Heizwärmeverteilung in den Kellerräumen nicht enthalten, sondern werden beim Heizwärmebedarf mitbilanziert. Nicht berücksichtigt werden können bei der Messung die Verluste bei der Warmwasserzapfung, da das zu Beginn des Zapfvorganges abfließende ausgekühlte Wasser als verbrauchtes Warmwasser registriert wird.

Mehrere Ursachen führten 1993 noch zu hohen Verlusten: Zum Teil waren noch nicht alle Leitungen gedämmt, Zirkulationsleitungen wurden teilweise noch ohne Zeitschaltuhr betrieben, einige Übergabestationen lagen wegen eines Überströmeffektes ständig auf Vorlauftemperatur. Im darauffolgenden Jahr gingen die Verluste um 23% zurück. Deutliche Unterschiede zeigen sich zwischen den beiden Warmwasser-Systemen: Etwa 110 W zusätzliche Wärmeverlustleistung entstehen bei Verwendung eines Warmwasserspeichers. Die Komforterhöhung durch den Warmwasserspeicher wird (energetisch) teuer erkauft!

Bei Beachtung der Meßunsicherheit liegen die Verluste etwa im für die gewählte Ausstattung erwarteten Bereich. Allerdings liegt der Nutzungsgrad der Warmwasserbereitung - bei dem hier recht niedrigen Warmwasserverbrauch - im Jahresmittel unter 50%. Durch Verzicht auf einen Warmwasserspeicher könnte er auf 76 % - durch Verzicht auf Zirkulationsleitungen auf 90% gesteigert werden!

Die drei Solaranlagen, die auf Eigeninitiative der jeweiligen Gebäudeeigentümer installiert wurden und nicht zum Siedlungskonzept gehören, haben 1995 insgesamt 2400 kWh in die jeweiligen Warmwasserspeicher eingespeist (1994 waren diese Wärmemengenzähler teilweise noch nicht installiert).

4.2.4 Wärmeverbrauch gesamt

Aus den in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Verbrauchswerten für Raumheizung, Warmwasser und Haustechnikverluste ergibt sich die insgesamt aus dem Nahwärmenetz entnommene Wärme. Im Durchschnitt verbrauchte ein Einzelgebäude 1993 ca. 14.000 kWh, 1994 ca. 12.600 kWh, 1995 ca. 13.500 kWh an Wärme. Auch hier zeigt der Vergleich der Einzelverbrauchswerte die bereits bekannte Streuung zwischen 50% und 200% vom Mittelwert (Abb. 4-5, Abb. 4-6, Abb. 4-7).

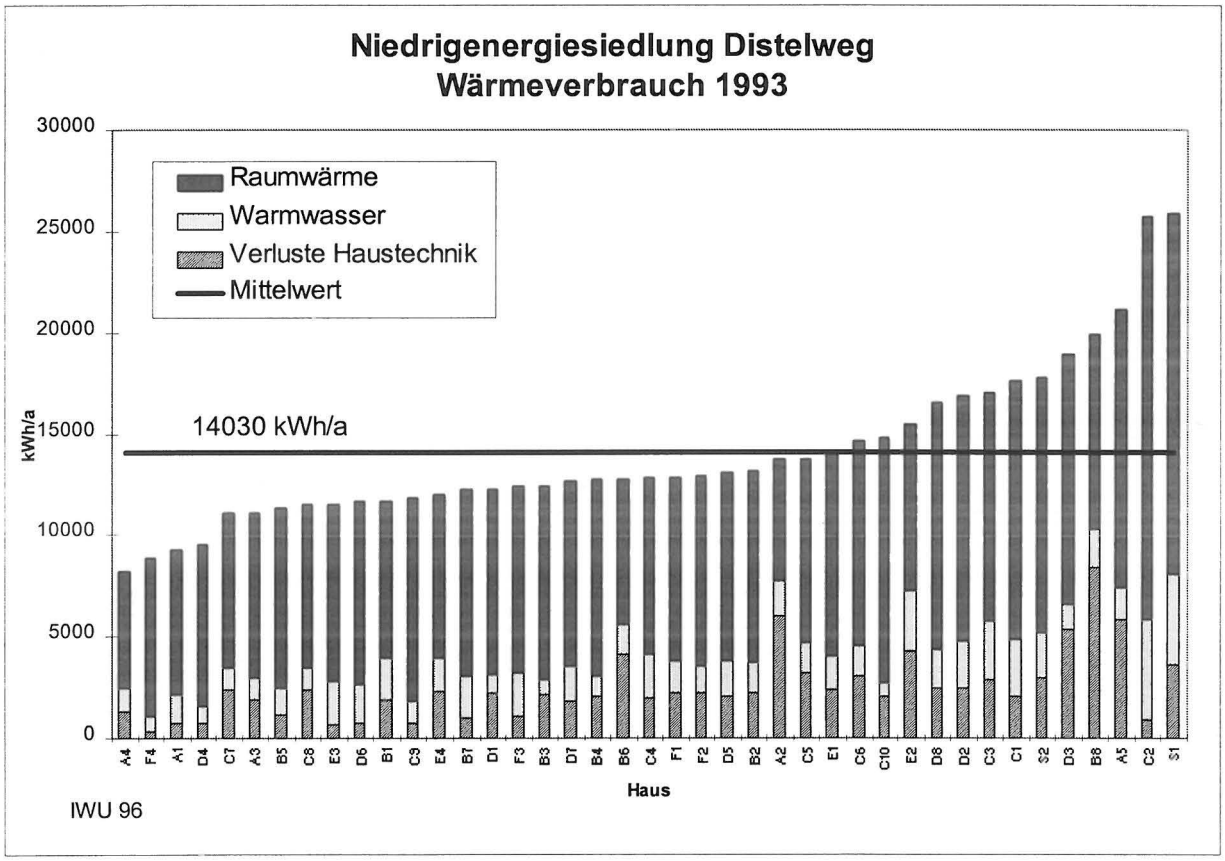


Abb. 4-5: Wärmeverbrauch der einzelnen Haushalte 1993

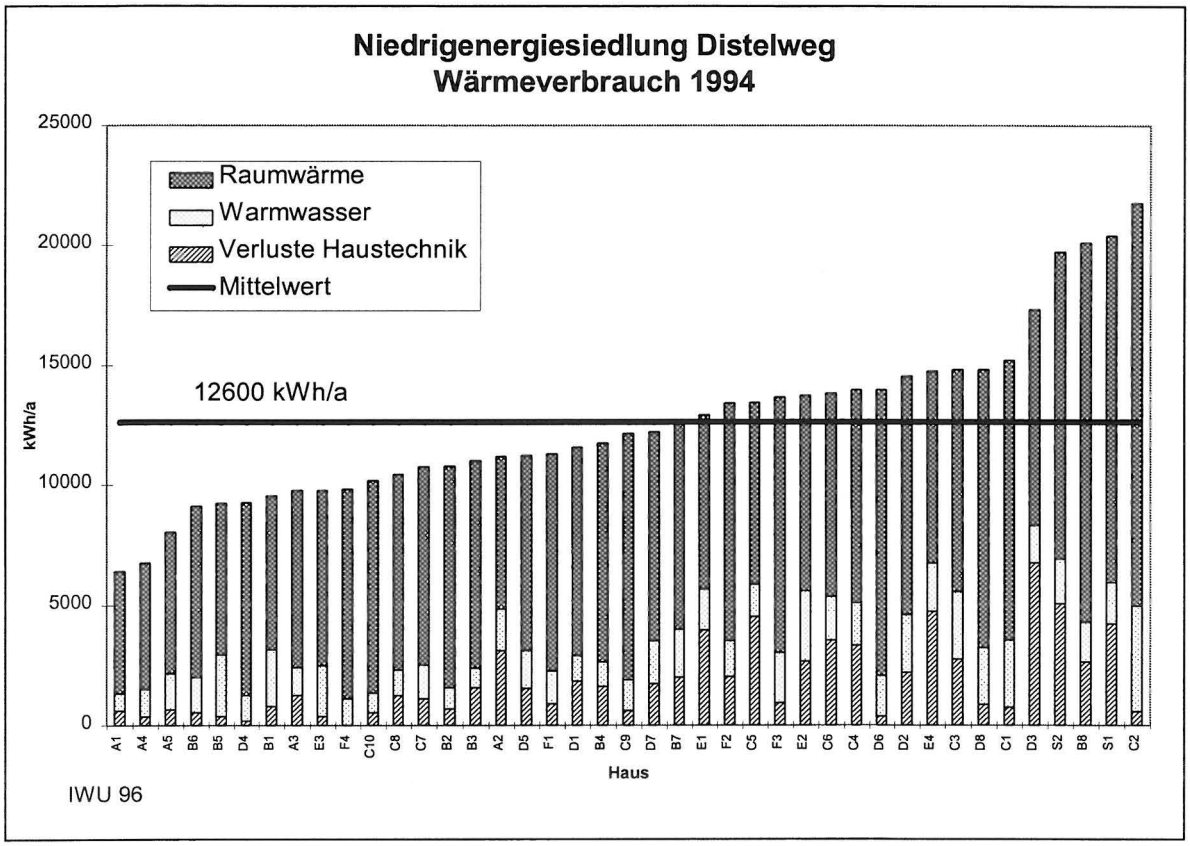


Abb. 4-6: Wärmeverbrauch der einzelnen Haushalte 1994

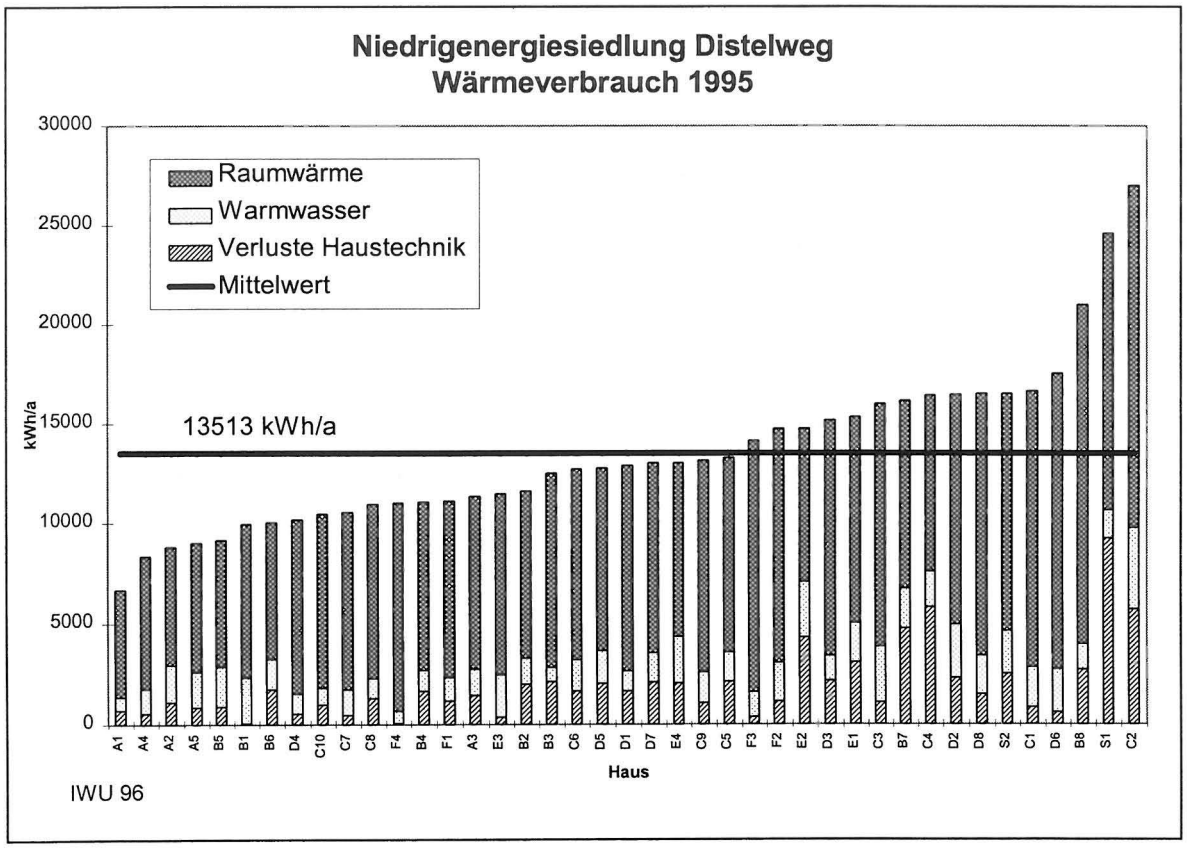


Abb. 4-7: Wärmeverbrauch der einzelnen Haushalte 1995

4.2.5 Raumlufttemperaturen

	Mittelwert Heizperiode °C
1993	19,7
1994	20,0
1995	19,5
Durchschnitt 1993-1995	**19,7**
Meßunsicherheit	*± 0,1 K*
Theorie	20,0

Tab. 4-7: Mittlere Raumlufttemperaturen

Die Gebäude zeigen ein vergleichsweise hohes Niveau der Raumlufttemperaturen. Durch den guten Wärmeschutz konnte also - neben der starken Reduktion des Heizwärmeverbrauchs - auch eine Verbesserung des Wohnkomforts erzielt werden. Tab. 4-7 gibt die über die jeweilige Heizzeit an drei Meßstellen pro Wohnung erfaßten mittleren Temperaturen wieder. Der über drei Jahre gebildete Durchschnittswert liegt bei 19,7 °C. Die 1994 leicht erhöhten Temperaturen sind wahrscheinlich auf zufällige Nutzungsänderungen zurückzuführen.

Das Ergebnis bestätigt die Annahmen für die Berechnung des Energiekennwertes Heizwärme bei der Projektierung. Gemäß [LEG] wurden dort 20°C angesetzt.[1]

Bei dem Vergleich der Einzelgebäude ist eine starke Streuung erkennbar (Abb. 4-8): Die mittleren Temperaturen weichen um ca. 2,5 °C nach oben und unten ab (Mitteltemperaturen zwischen 17,7°C und 22,5 °C). Die in einigen Häusern besonders niedrigen Temperaturen sind dadurch zu erklären, daß Teile des Gebäudes nicht genutzt bzw. nicht geheizt wurden.

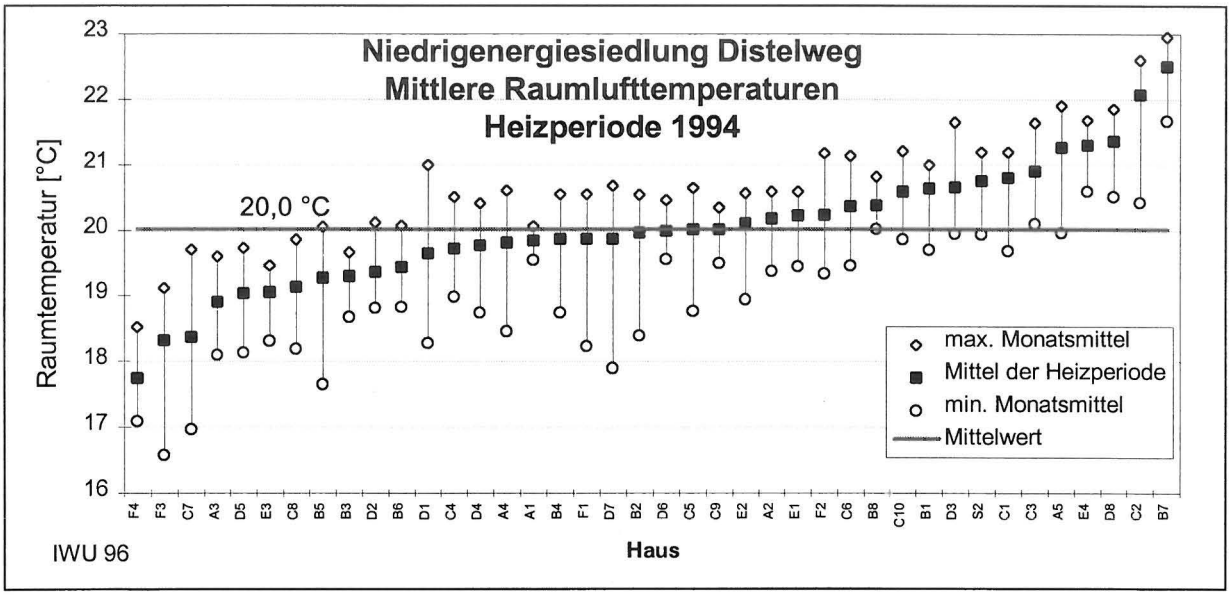


Abb. 4-8: Mittlere Raumlufttemperaturen der einzelnen Haushalte in der Heizperiode 1994

[1] Damit wird die These untermauert, daß der in der Wärmeschutzverordnung 1995 angesetzte Teilbeheizungsfaktor 0,9 (dem für das Würzburger Klima eine mittlere Raumtemperatur von 18,4°C entspricht) für Gebäude mit gutem Wärmeschutz nicht angemessen ist.

4.2.6 Haushaltsstrom

	Summe 41 Gebäude MWh/a	durchschnittl. pro Gebäude kWh/a	durchschnittl. pro m² Wohnfl. kWh/(m²a)	durchschnittl. pro Person kWh/a/P
1993	149	3633	26,3	1027
1994	155	3790	27,4	1072
1995	156	3801	27,5	1075
Durchschnitt 1993-1995	**153**	**3741**	**27,1**	**1058**
Meßunsicherheit	*± 5 (± 3 %)*			
Theorie	147	3589	26,0	1015

Tab. 4-8: Verbrauchswerte Haushaltsstrom

Der Haushaltsstromverbrauch lag pro Gebäude im Mittel bei etwa 3700 kWh/a (Tab. 4-8). Mit Werten von 1058 kWh pro Person stimmen die Ergebnisse sehr gut mit dem Durchschnitt der deutschen Haushalte überein. Die angegebenen theoretischen Werte stammen aus der Haushaltskundenbefragung der VDEW [VDEW 1992], wobei Beiträge von Stromheizung und Warmwasserbereitung abgezogen wurden.

Die Installation der Abluftanlagen verursacht einen erhöhten Verbrauch von 100 bis 200 kWh. Zusätzliche Verbraucher sind zudem die Pumpen der Regenwasser-Hausstationen. Andererseits entfällt in den Wohngebäuden die übliche Heizungspumpe. Damit entspricht der Ausstattungsgrad etwa dem von Durchschnittshaushalten.

Eine in Punkto Stromverbrauch besonders sparsame Haltung der Bewohner läßt sich somit nicht feststellen. Auf die Ausstattung mit energiesparenden Haushaltsgeräten wurde im Rahmen des Projektes kein Einfluß genommen.

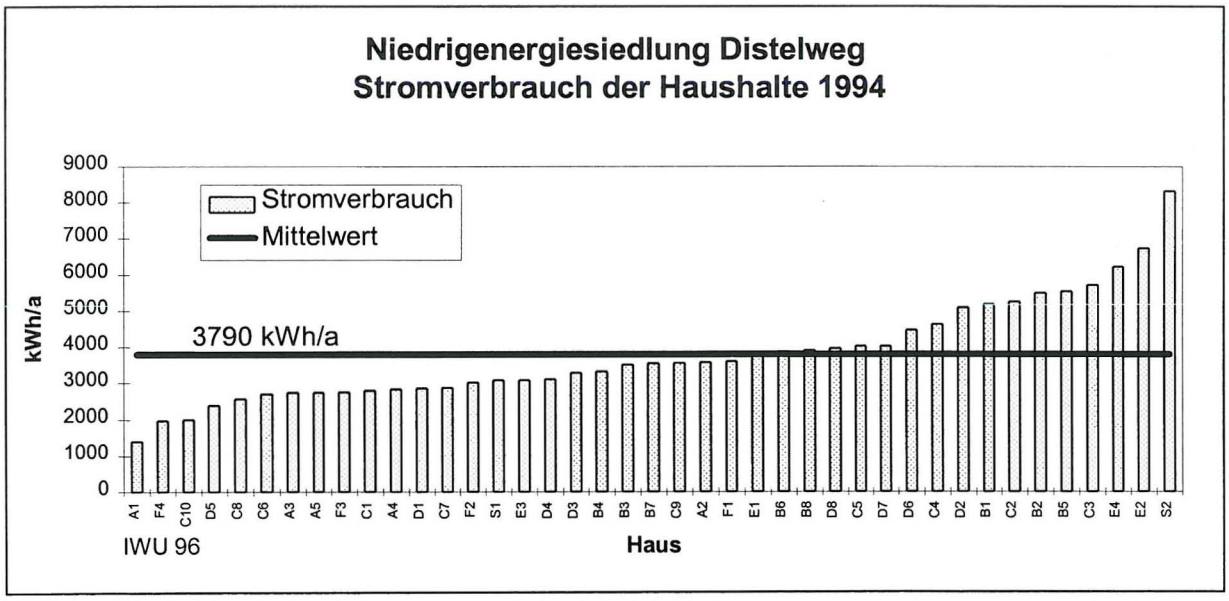


Abb. 4-9: Haushaltsstromverbrauch der einzelnen Haushalte 1994

4.2.7 Nutzereinfluß/Korrelationen

Um mögliche Ursachen für erhöhte Verbräuche aufzuspüren, wurden exemplarisch für das Meßjahr 1994 die Korrelationen zwischen den einzelnen gemessenen Verbrauchsgruppen untersucht und in Abb.4-10 bis Abb. 4-13 grafisch dargestellt.

Bedingt durch unterschiedliche Baukörper, Belegungsdichten der Wohnungen und dem individuellen Bewohnerverhalten sind die Einflüsse sehr komplex. Entsprechend findet sich zwischen keinem der Parameter-Paare eine ausgeprägte Korrelation - meist dominiert die Streuung. Der deutlichste Zusammenhang ergibt sich zwischen dem Strom- und dem Warmwasserverbrauch (Abb. 4-13) - der Einfluß von Nutzerverhalten und Personenzahl spiegelt sich hier wieder. Weniger ausgeprägt sind dagegen die Korrelationen zwischen dem Heizwärmeverbrauch und der Raumtemperatur, dem Warmwasser- und dem Stromverbrauch. Offensichtlich liegen hier zu viele (zum Teil nicht bekannte) Einflußgrößen vor (Gebäudetyp, Lüftungsgewohnheiten, verstärkte bzw. reduzierte Nutzung einzelner Wohn- oder Kellerräume).

Die folgenden Abbildungen zeigen, wie die Verbrauchswerte für Raumheizung, Warmwasser, Strom sowie die Raumtemperatur korrelieren (Meßwerte 1994).

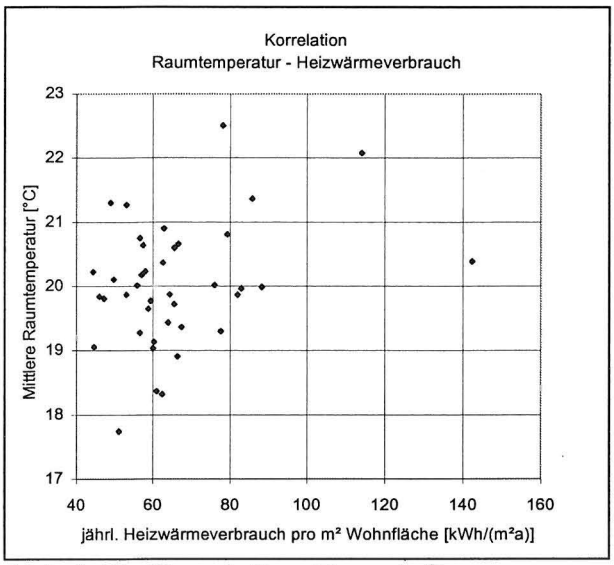


Abb.4-10: Korrelation Raumluft-temperatur/Heizwärmeverbrauch

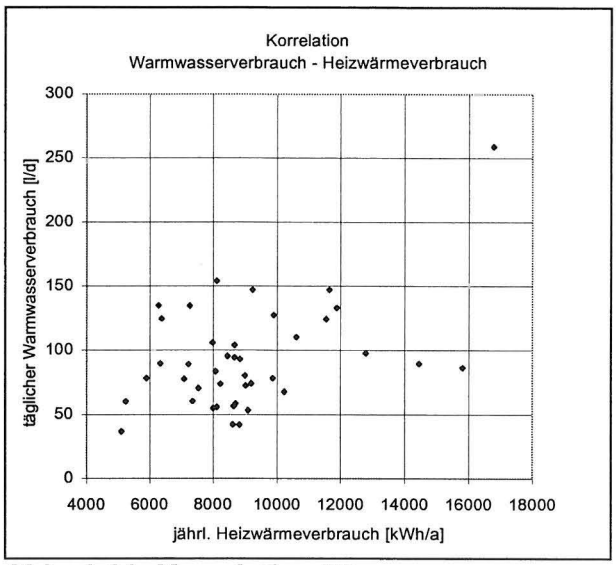


Abb. 4-11: Korrelation Warmwasser-verbrauch/Heizwärmeverbrauch

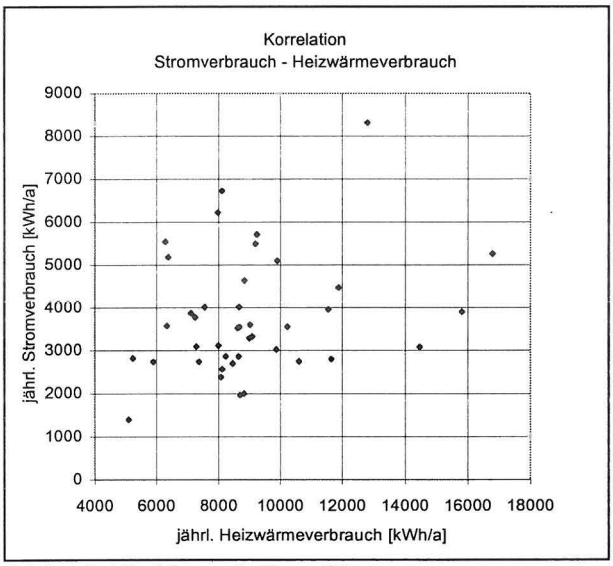


Abb. 4-12: Korrelation Strom-verbrauch/Heizwärmeverbrauch

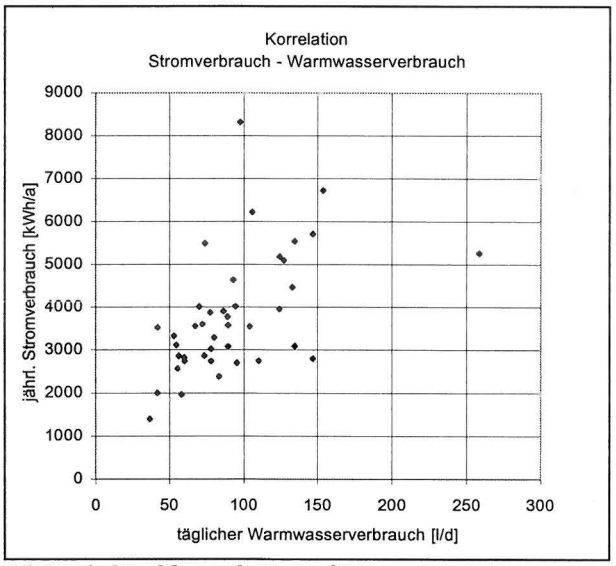


Abb. 4-13: Korrelation Strom-verbrauch/Warmwasserverbrauch

4.3 Versorgungstechnik

4.3.1 Netzverluste

	Netzverluste MWh/a		pro m² Wohnfläche kWh/(m²a)	mittlere Verlustleistung kW
1993	129,8		22,9	14,8
1994	121,6		21,5	13,9
1995	126,3		22,3	14,4
Durchschnitt 1993-1995	**125,9**		**22,2**	**14,4**
Meßunsicherheit	*± 32*	*(± 26 %)*		*± 3,7*
Theorie	71,0		12,5	8,1

Tab. 4-9: Wärmeverluste Nahwärmenetz

Der Wärmeverlust des Nahwärmenetzes wird aus der Differenz der Wärmeeinspeisung in das Nahwärmenetz (1 Wärmemengenzähler) und der Wärmeentnahme in den jeweiligen Wärmeübergabestationen der Gebäude (41 Wärmemengenzähler) bestimmt. Die gemessenen Verluste variierten über die drei Meßjahre nur relativ wenig. Sie lagen im Durchschnitt bei 126 MWh/a. Dies entspricht einer mittleren Verlustleistung von ca. 14 kW. Mit dem Rechenmodell in Kapitel 3 wurden die Wärmeverluste zu 71 MWh/a bestimmt, die gemessenen Werte liegen also um 70 bis 80% über den theoretisch zu erwartenden.

Mehrere Ursachen kommen für diese starke Abweichung in Betracht:

- Die Wärmeverluste werden aus der Differenz zweier großer Wärmemengen bestimmt. Die Unsicherheit der meßtechnischen Erfassung liegt bei Verwendung marktgängiger Wärmemengenzähler bei ± 26%, bezogen auf die Wärmeverluste (siehe Abschnitt 3.3). Damit kann ein Teil der gegenüber der Theorie erhöhten Meßwerte erklärt werden.

  Die 41 Wärmemengenzähler in den Einzelhäusern laufen wesentlich häufiger im unteren Meßbereich als der Wärmemengenzähler der Heizzentrale. Da Flügelradzähler im unteren Meßbereich eher zu geringe Werte liefern, ist es tatsächlich plausibel, daß die Wärmeverluste des Netzes eher überschätzt werden.

- Die gemessene Netztemperatur (arithmetisches Mittel aus Vor- und Rücklauftemperatur) lag über die dreijährige Meßzeit im Mittel bei 64°C - theoretisch war von einem Jahresmittel von 58°C ausgegangen worden. Ursache ist die vor allem im Sommer nicht erreichte Temperaturspreizung. Damit läßt sich eine Erhöhung der Verluste von etwa 10 bis 15 % erklären. Die Abhängigkeit der Wärmeverluste von der Netztemperatur zeigt Abb. 4-14. Für die zwei letzten Meßjahre ist eine deutliche Korrelation festzustellen. Bei einer

mittleren Temperatur von 58°C hätte die Wärmeverlustleistung etwa bei 12 bis 13 kW gelegen.

- Der Wärmeverlustkoeffizient der Nahwärmeleitungen könnte in der Praxis größer sein als vom Hersteller angegeben.
- Der Wärmeverlustkoeffizient der Nahwärmeleitungen könnte infolge Durchfeuchtung der Rohrdämmung erhöht sein. (Größere Mengen von Wasser, das durch Undichtigkeiten in Medium- oder Mantelrohr in die Dämmung eingedrungen ist, hätte allerdings an den nächsten Einschleifverteilern austreten müssen - dies wurde nicht beobachtet.)
- Der Wärmeverlust der Einschleifverteiler ist nicht bekannt. Für die theoretischen Berechnung wurde der Verlustkoeffizient der Nahwärmeleitungen angesetzt. Wären die Wärmeverluste hier z.B. doppelt so hoch, könnten 5 bis 10 % höhere Netzverluste erklärt werden.

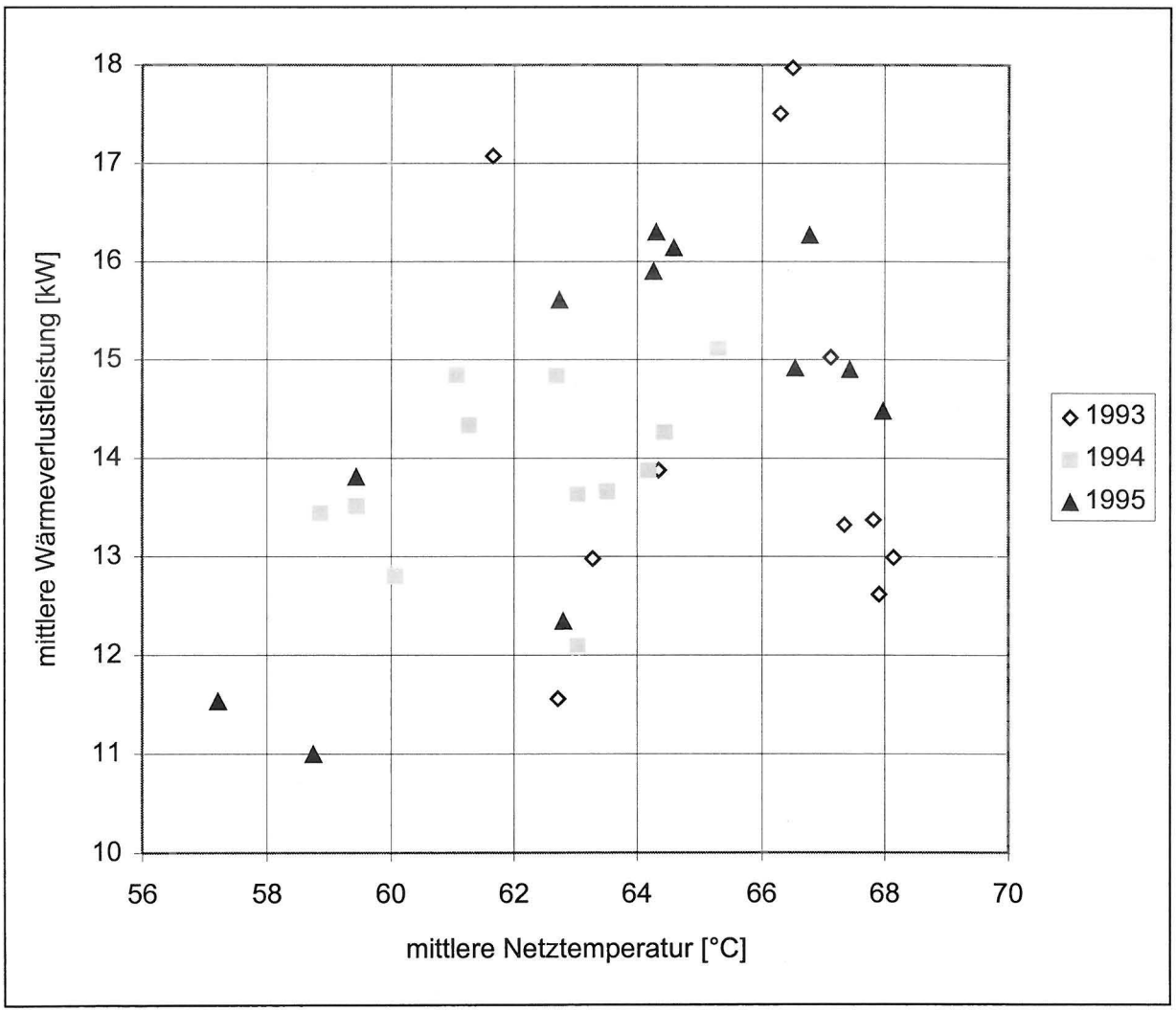


Abb. 4-14: Abhängigkeit des Monatsmittels der Wärmeverlustleistung von dem Monatsmittel der Netztemperatur

4.3.2 Heizkessel und Peripherie

	Einspeisung Wärmenetz ohne HKA MWh/a	Wärme-verluste MWh/a	Verluste pro m² Wohnfl. kWh/(m²a)	mittlere Verlustleistung kW	Nutzungs-grad
1993	705,0	46,2	8,2	5,3	94%
1994	496,9	21,3	3,8	2,4	96%
1995	461,2	32,0	5,7	3,7	94%
Durchschnitt 1994-1995	**479,0**	**26,7**	**4,7**	**3,0**	**95%**
Meßunsicherheit (1994)	*± 19 (± 3 %)*	*± 29*	*(± 72 %)*		
Theorie (3 HKA-Module)	293,3	17,6			
Theorie (2 HKA-Module)	370,3	20,4	3,6	2,3	95%

Tab. 4-10: Energiebilanz der Heizzentrale ohne Heizkraftanlagen

Aufgrund der Inbetriebnahme der zwei Heizkraftanlagen ab 21. April 1994 reduzierte sich ab diesem Zeitpunkt die von den beiden Heizkesseln erzeugte Wärmemenge. Die Wärmeverluste berechnen sich aus der Differenz zwischen verbrauchter Gasmenge und Wärmemengenzähler. Bezugsbasis ist hier immer der untere Heizwert des Erdgases, da dies der gängigen Wirkungs- bzw. Nutzungsgraddefinition entspricht. In den in Tab. 4-10 dargestellten Wärmeverlusten sind somit enthalten:

- die Bereitschaftsverluste der beiden Kessel
- die Abgaswärmeverluste (ohne Verdampfungsenthalpie des im Abgas vorhandenen Wasserdampfes) der beiden Kessel
- die Wärmeverluste der in der Heizzentrale vor dem Wärmemengenzähler befindlichen Rohrleitungen.

Im Jahresdurchschnitt 94-95 liegen die so ermittelten Wärmeverluste bei 27 MWh/a. Aufgrund der oben bereits angesprochenen großen Meßunsicherheit wegen Differenzbildung zwischen zwei großen Wärmemengen kann dieser Wert nur mit einer Genauigkeit von 29 MWh/a bestimmt werden. Der aus den Verlusten ermittelte Jahresnutzungsgrad liegt bei etwa 94%, theoretisch zu erwarten wären etwa 95% (berechnet über die für den vorliegenden Kesseltyp bekannten Abgas- und Bereitschaftswärmeverluste). Die für Brennwertkessel dieser Größenordnung normalerweise zu erwartenden Nutzungsgrade von über 100% können bei der vorliegenden Betriebsweise (fast konstante Vorlauftemperatur, Rücklauftemperaturen oft über der Taupunkttemperatur) nicht erreicht werden.

4.3.3 Heizkraftanlagen

	Brennstoff-einsatz (H_u) MWh/a	Wärme-erzeugung MWh/a	Strom-erzeugung MWh/a	Strom-kennziffer	Gesamt-nutzungsgrad
1994 (Apr - Dez)	208,0	138,2	51,2	0,25	91,0%
1995 (Jan - Jun)	326,4	216,7	82,6	0,25	91,7%
Durchschnitt	**320,6**	**212,9**	**80,3**	**0,25**	**91,4%**
Meßunsicherheit (1994)	*± 6 (± 3 %)*	*± 4 (± 3 %)*	*± 2 (± 3 %)*		
Theorie (3 HKA)	480,2	313,3	118,8	0,25	90,0%
Theorie (2 HKA)	362,4	236,7	89,5	0,25	90,0%

Tab. 4-11: Energiebilanz der Heizkraftanlagen

Mit einem Gaseinsatz von 321 MWh produzierten die Motoren im Jahresdurchschnitt 213 MWh Wärme und 80 MWh Strom (Mittelwertbildung über 8 Monate 1994, 12 Monate 1995). Es wurden also 7300 Vollaststunden erreicht (1995: 7500 h), ein recht beachtliches Betriebsergebnis - theoretisch wären jedoch bei 100 % Verfügbarkeit 8100 Vollaststunden möglich gewesen. Es ergibt sich eine Stromkennziffer (Verhältnis Strom- zu Wärmeproduktion) von 25% und ein Gesamtnutzungsgrad von 91%, was in etwa auch den Erwartungen entspricht.

Der Mehrverbrauch an Erdgas für die Stromproduktion betrug 1995 etwa 90 MWh. Für die gleiche Menge Strom hätte in Kondensationskraftwerken ohne Wärmeauskopplung etwa 250 MWh an Primärenergie aufgewendet werden müssen. Die durch die beiden Motoren erzielte Primärenergieeinsparung liegt also bei ca. 150 MWh, das entspricht 27 kWh pro m² Wohnfläche.

4.4 Gesamtbilanz

4.4.1 Jahres- und Monatswerte

Tab. 4-12 zeigt noch einmal die oben im einzelnen diskutierten Betriebsergebnisse der drei Meßjahre in der Übersicht. Der Primärenergieaufwand berücksichtigt die Stromgutschrift nach [GEMIS] (vgl. Kap. 3). Durch Einsatz der Heizkraftanlagen wurde der Primärenergiebedarf um 22 % von 811 auf 634 MWh/a reduziert.

Tab. 4-13 und Abb. 4-15 geben exemplarisch für das Jahr 1995 einen Einblick in die monatlichen Meßwerte. Deutlich wird die hohe Auslastung der beiden HKA-Module, die (bis auf den Monat August) zwischen 600 und 700 h pro Monat gelaufen sind. Im Verhältnis zur genutzten Wärme sind insbesondere im Sommer die Wärmeverluste von Nahwärmenetz und Heizungstechnik deutlich zu hoch. Hier steckt sicherlich noch ein technisches Verbesserungspotential. Im Rahmen einer ökologischen Bewertung muß jedoch beachtet werden, daß 60 bis 80 % dieser Wärmemenge in den Sommermonaten durch die Heizkraftanlagen produziert wird, also im Prinzip Abwärme aus der Stromproduktion darstellt.

Energiebilanz 93/94/95						
Gemessene Verbrauchswerte in MWh	1993		1994		1995	
Gasverbrauch Heizzentrale (H_u)	751	100%	726	100%	820	100%
Stromerzeugung HKA	0	0%	51*	7%	83	10%
Wärmeerzeugung HKA	0	0%	138*	19%	217	26%
Einspeisung Wärmenetz	705	94%	635	87%	678	83%
Entnahme Wärmenetz**	575	77%	513	71%	552	67%
Raumheizung (Nutzwärme)	403	54%	371	51%	408	50%
Warmwasser (Nutzwärme)	72	10%	70	10%	68	8%
Verluste Heizzentrale (Kessel, HKA + Rohre)	46	6%	40	5%	59	7%
Verluste Nahwärmenetz	130	17%	122	17%	126	15%
Verluste Haustechnik (Verteilung und Speicherung	100	13%	76	10%	79	10%
Verluste Gesamt	276	37%	237	33%	264	32%
Primärenergieaufwand (incl. Stromgutschrift)	811		629		634	

*) Betrieb ab 21.4.94

**) Wärmeverbrauch Wohngebäude abzügl. Wärmeerzeugung der 3 therm. Solaranlagen

Tab. 4-12: Energiebilanz der Siedlung 1993, 94 und 95

Wärmebilanz 1995								
	Heizzentrale			Wärmenetz	Wohngebäude			
	Gas-verbrauch (H_u) MWh	Wärme-verluste MWh	Einspeisung Wärmenetz MWh	Wärme-verluste MWh	Wärme-verbrauch gesamt* MWh	Verbrauch Raum-heizung MWh	Verbrauch Warm-wasser MWh	Verluste Haus-technik MWh
Jan	120,1	5,5	106,4	11,6	94,8	82,0	6,2	6,7
Feb	91,5	6,8	78,0	10,9	67,1	55,5	5,7	6,1
Mär	95,9	7,2	81,3	12,0	69,2	56,5	6,3	6,7
Apr	62,6	4,6	51,0	11,7	39,3	27,6	5,4	6,5
Mai	46,9	6,1	33,7	11,1	22,6	10,6	5,6	6,7
Jun	40,5	5,6	28,0	10,4	17,6	5,8	5,5	6,5
Jul	31,8	3,5	21,7	11,1	10,6	0,0	4,1	6,7
Aug	28,2	2,7	20,7	9,2	11,5	0,2	4,8	6,7
Sep	41,3	4,1	30,8	9,9	20,9	8,6	6,0	6,4
Okt	51,9	3,5	41,7	11,8	29,9	17,8	5,7	6,7
Nov	91,2	5,8	78,3	7,9	70,4	58,1	6,0	6,4
Dez	117,6	3,8	106,3	8,6	97,7	85,0	6,1	6,7
Summe 95	**819,5**	**59,1**	**677,9**	**126,3**	**551,6**	**407,8**	**67,5**	**78,7**

*) abzügl. Wärmeerzeugung der 3 thermischen Solaranlagen

Energiebilanz Heizzentrale 1995						
	Erdgasverbrauch		Wärmeeinspeisung		Stromproduktion	
	Kessel MWh	Heiz-Kraft-Anlage MWh	Kessel MWh	Heiz-Kraft-Anlage MWh	Strom-erzeugung HKA MWh	Volllast-stunden HKA h
Jan	86,1	34,0	83,8	22,6	8,2	779
Feb	63,9	27,7	59,6	18,4	6,8	634
Mär	65,3	30,7	60,9	20,4	7,5	702
Apr	34,6	28,0	32,4	18,6	7,0	641
Mai	19,1	27,8	15,2	18,4	7,1	636
Jun	13,5	27,0	10,1	17,9	6,9	618
Jul	5,8	26,0	4,5	17,3	6,6	596
Aug	9,1	19,1	8,0	12,7	4,8	437
Sep	16,3	25,0	14,2	16,6	6,4	573
Okt	26,1	25,9	24,6	17,2	6,6	592
Nov	64,2	27,0	60,4	17,9	7,1	619
Dez	89,3	28,2	87,5	18,7	7,5	646
Summe 95	**493,2**	**326,4**	**461,2**	**216,7**	**82,6**	**7473**

Tab. 4-13: Monatsbilanz der Siedlung 1995

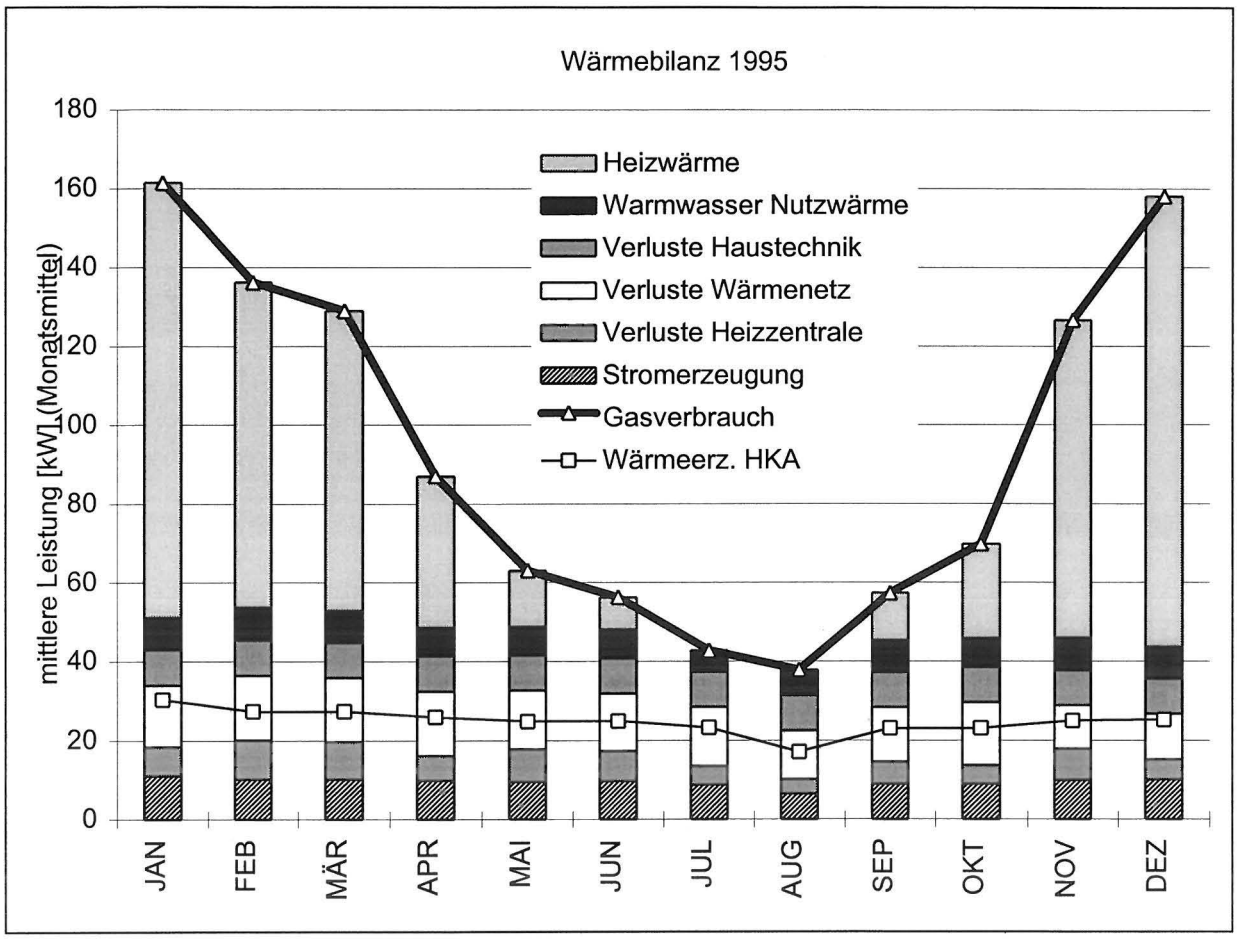


Abb. 4-15: Monatsbilanz der Siedlung 1995

4.4.2 Dynamik/Tagesgänge

Für die Auslegung von BHKW-Nahwärmeversorgungssystemen sind die Tagesgänge des Energiebedarfs interessant. Abb. 4-16, Abb. 4-17 und Abb. 4-18 zeigen für einen kalten Wintertag, für einen Tag aus der Übergangszeit und für einen heißen Sommertag des Jahres 1994 Tagesgänge der Außen- und Raumlufttemperatur, der in das Nahwärmenetz eingespeisten und entnommenen Wärme sowie des Warmwasser- und Haushaltsstromverbrauchs.

- Am kältesten Tag des Jahres 1994 (24.2.) liegen die Raumlufttemperaturen tagsüber im Bereich von 20°C. Nachts ist es in den Wohnräumen im Mittel nicht kälter als 18°C. Das morgendliche Aufheizen der Gebäude verursacht ein ausgeprägtes Maximum in der Wärmeabgabeleistung der Heizzentrale Die Abnahme der Heizlast zur Mittagszeit wird vor allem durch die solare Einstrahlung dieses sehr sonnigen Tags verursacht. Nachmittags zeigt sich dann ein zweites, etwas geringeres Maximum. Der Haushaltsstromverbrauch zeigt keinen auffälligen Verlauf.
- Am Beispieltag aus der Übergangszeit (9.9.94) bestimmt bei Außentemperaturen von 10 bis 17°C vor allem der Warmwasserverbrauch die Wärmeabgabe der Heizzentrale. Deutlich ist der Anstieg der Wärmeentnahme zwischen 4 und 5 Uhr (MEZ/Winterzeit!), der vermutlich durch die mit Zeitschaltuhr versehenen Speicherladepumpen verursacht wird. Die Entnahme von Warmwasser hat erst gegen 7 Uhr ihr Maximum. Auch der Haushaltsstromverbrauch zeigt zu dieser Zeit sowie gegen 11 und 20 Uhr ein jeweils etwa gleich hohes Maximum.
- Am heißesten Tag 1994 (4.8.) mit Außenlufttemperaturen von 36°C bleiben die mittleren Raumlufttemperaturen immer unter 27°C. Die Niedrigenergiehäuser zeigen also auch im Sommer ein durchaus hohes Maß an Behaglichkeit. Auffällig ist der gegenüber der Übergangszeit stark reduzierte Warmwasserverbrauch. Während die Warmwasser-Entnahmeleistung im September tagsüber zwischen 10 und 30 kW schwankt, liegt sie an diesem heißen Sommertag zwischen 5 und 15 kW (vermutlich weniger warme Duschbäder).

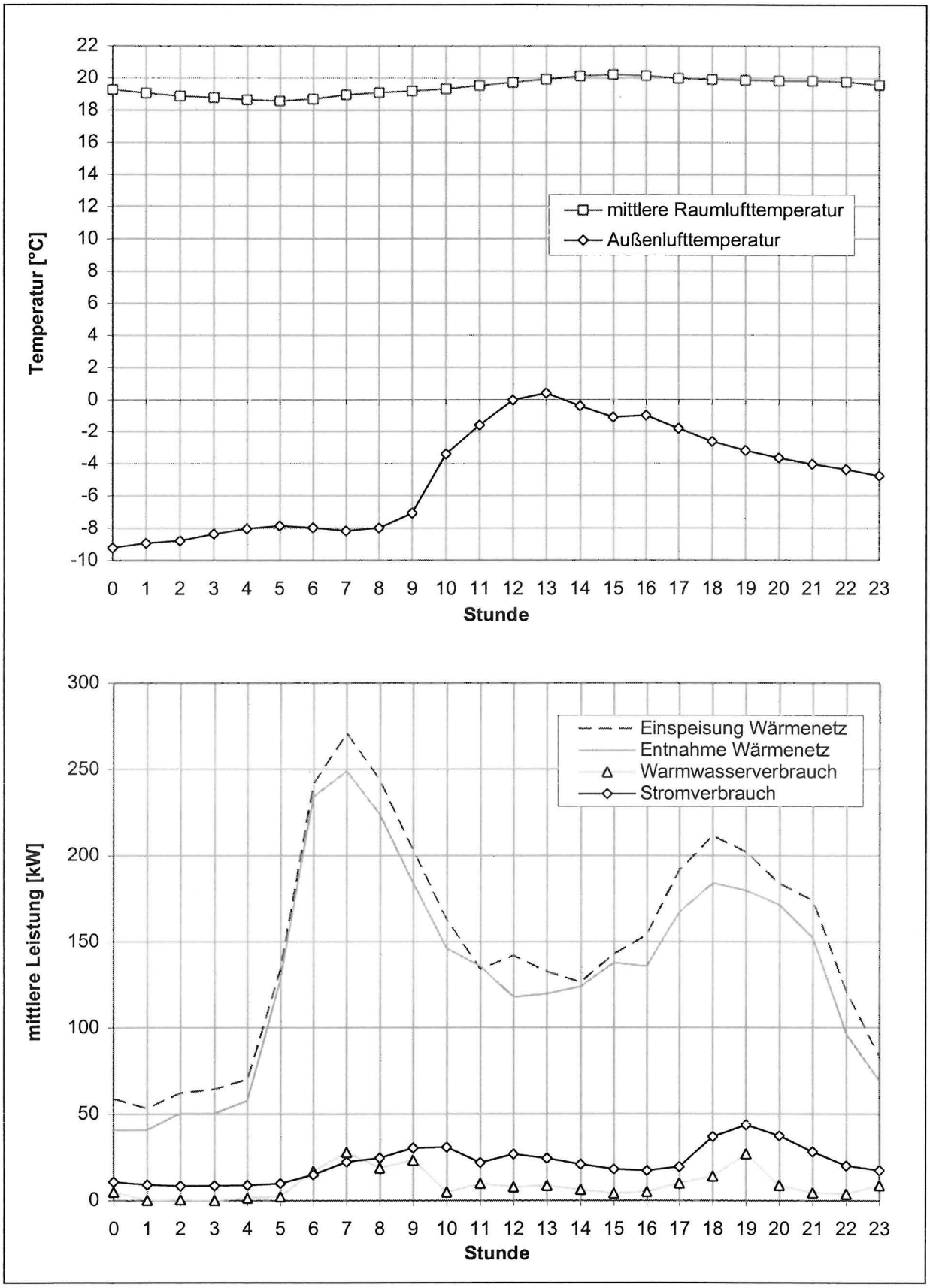


Abb. 4-16: Exemplarischer Tagesgang der Temperaturen und Energieströme für einen kalten Wintertag (24.2.94)

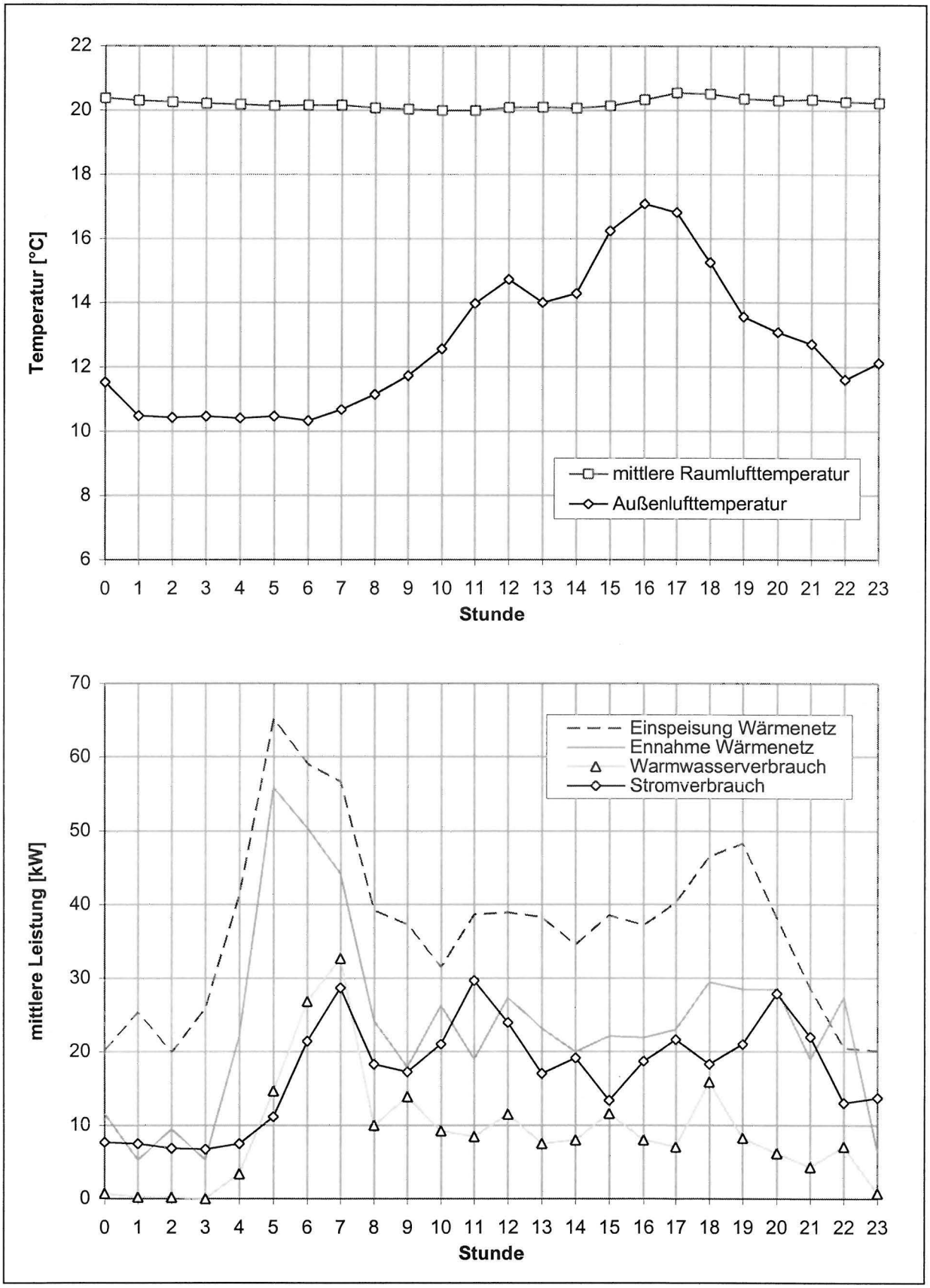


Abb. 4-17: Exemplarischer Tagesgang der Temperaturen und Energieströme für einen Übergangstag (9.9.94)

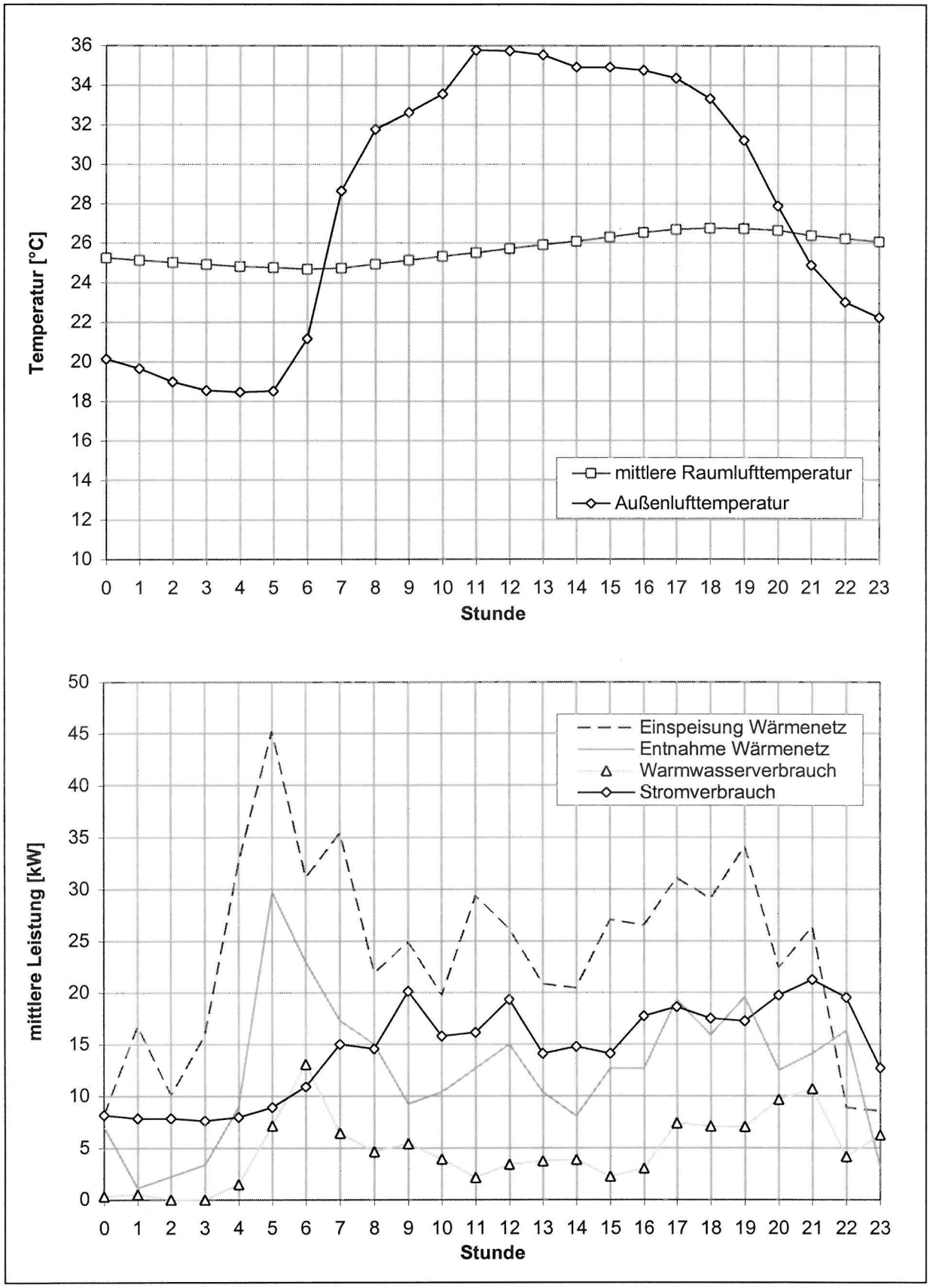


Abb. 4-18: Exemplarischer Tagesgang der Temperaturen und Energieströme für einen heißen Sommertag (4.8.94)

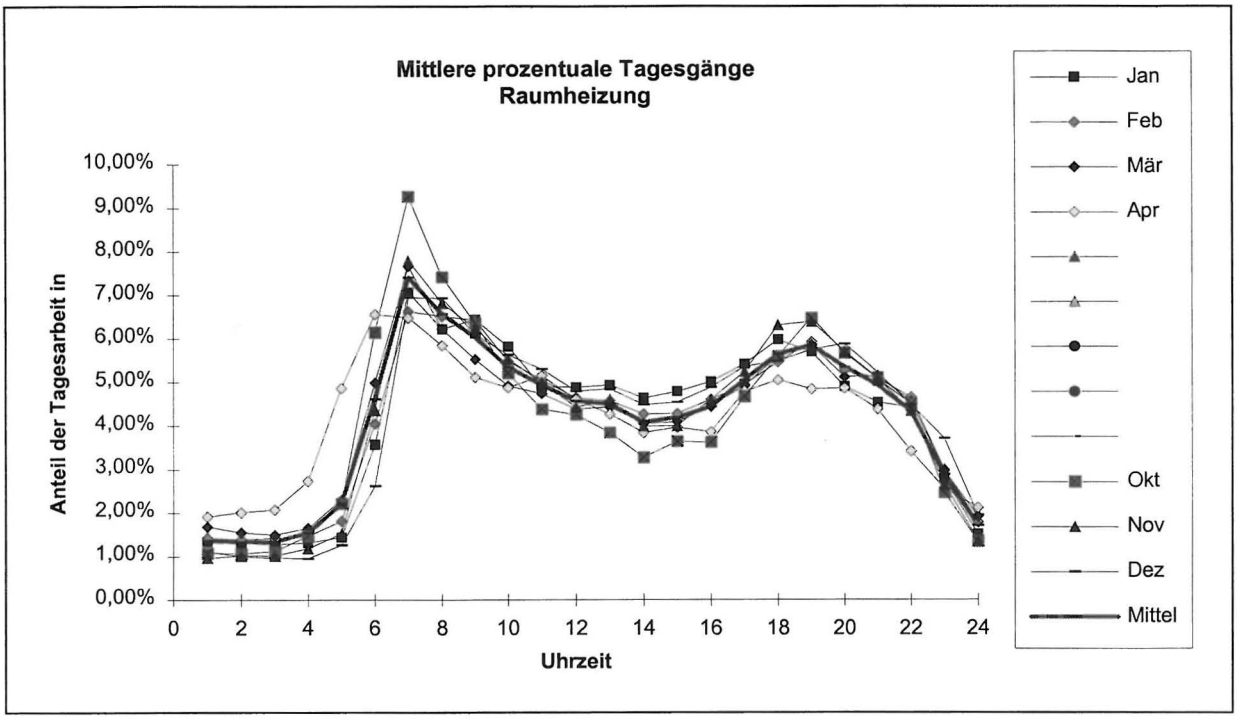


Abb. 4-19: Relative Tagesgänge des Verbrauchs an Heizwärme je Monat (jeweilige Tagessumme = 100%)

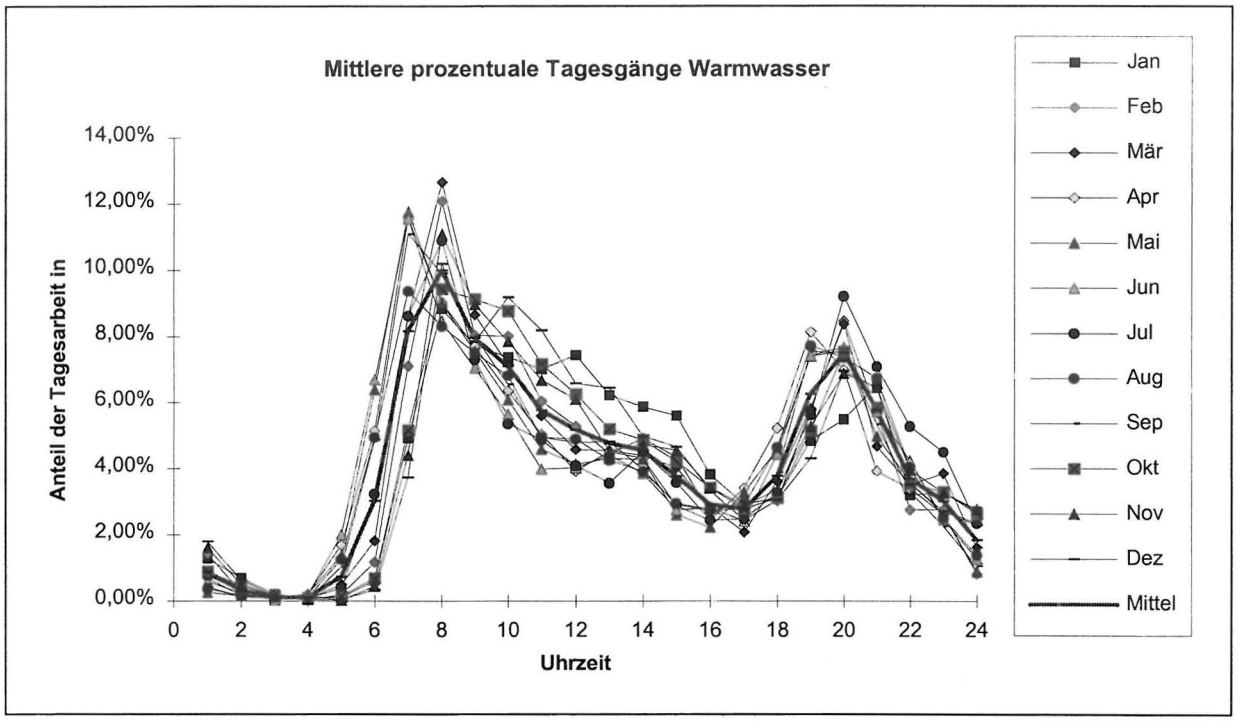


Abb. 4-20: Relative Tagesgänge des Verbrauchs an Warmwasser je Monat (jeweilige Tagessumme = 100%)

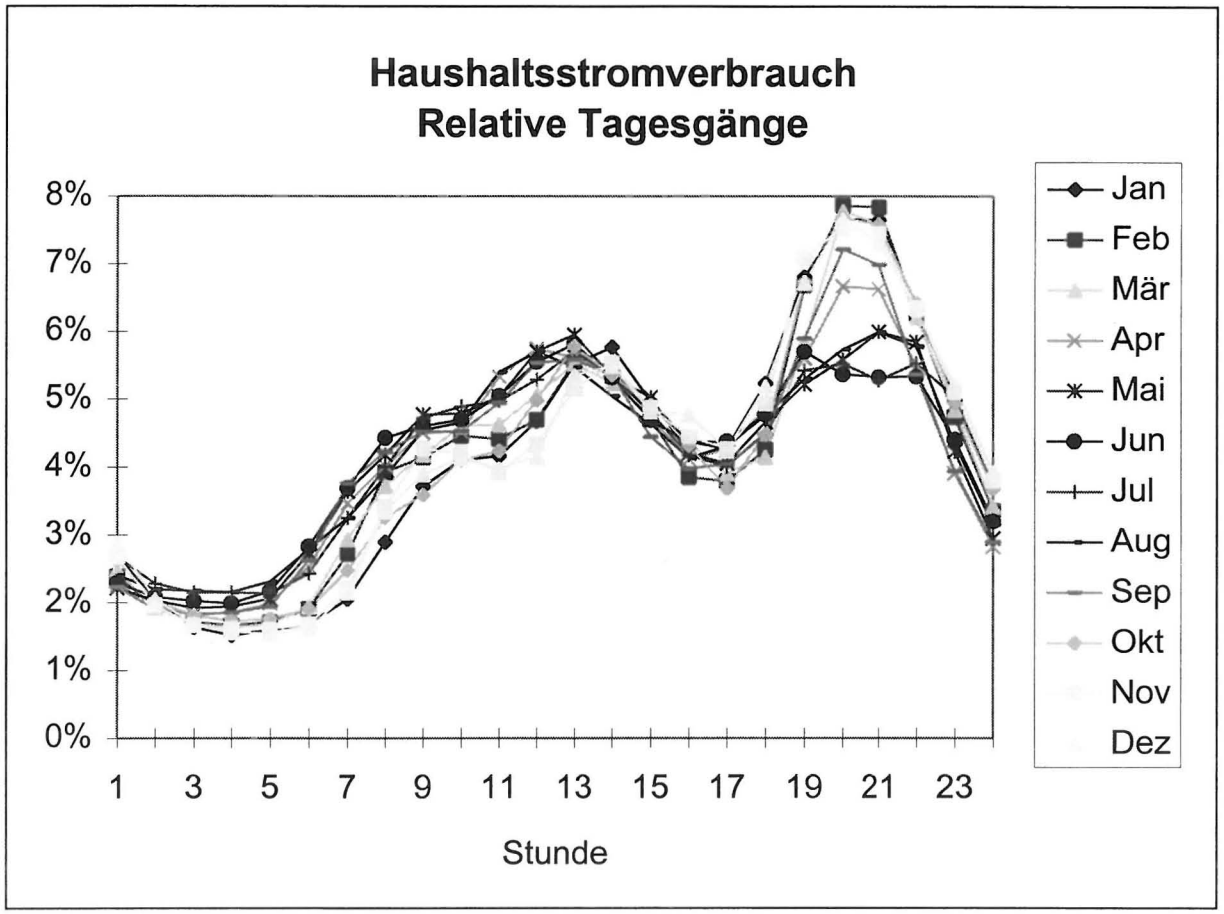


Abb. 4-21: Relative Tagesgänge des Verbrauchs an Haushaltsstrom je Monat (jeweilige Tagessumme = 100%)

Auf der Basis der gemessenen Stundenwerte für 1994 wurden für jeden Monat mittlere Tagesgänge bestimmt. Bei Normierung auf den Verbrauch des jeweiligen Monats ergibt sich für die Raumheizung eine erstaunlich gute Übereinstimmung der Tagesgänge (Abb. 4-19). Dieses Phänomen kann für eine einfache Bestimmung der Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs benutzt werden: Mittels eines einzigen relativen Tagesgangs und den monatlichen Werten des Heizwärmebedarfs kann die gemessene Jahresdauerlinie (8760 Werte) sehr gut abgebildet werden. Eine detaillierte Auswertung der Tagesgänge des Jahres 1994 im Hinblick auf die Erstellung recherischer Jahresdauerlinien des Wärmebedarfs kann dem Bericht "Jahresdauerlinien für Niedrigenergiesiedlungen" [Brunnengräber/Loga 1996] entnommen werden.

Für die Warmwasserbereitung ist die Übereinstimmung nicht mehr ganz so gut. Auch hier reicht jedoch ein relativer Tagesgang für die Erzeugung der Jahresdauerlinie aus. Dabei muß allerdings beachtet werden, daß der Warmwasserverbrauch im Sommer merklich zurückgeht (vgl. Tab. 4-13). Deutlich ist die Verschiebung durch die Umstellung auf Sommerzeit zu erkennen.

Beim Haushaltsstromverbrauch zeigen sich insbesondere beim abendlichen Maximum jahreszeitlich sehr große Differenzen (Abb. 4-21). Ursache ist vor allem der erhöhte Bedarf an elektrischer Beleuchtung. Interessant ist hier auch die Abhängigkeit des Profils vom

Wochentag (Abb. 4-22). Im Winter findet man nur an Wochentagen ein relatives Maximum am Morgen, das vor allem durch Beleuchtung, aber auch durch Kaffeemaschinen, Wasserkocher etc. verursacht wird. An Sonn- und Feiertagen zeigt sich (insbesondere im Winter) gegen Mittag ein ausgesprochenes Maximum.

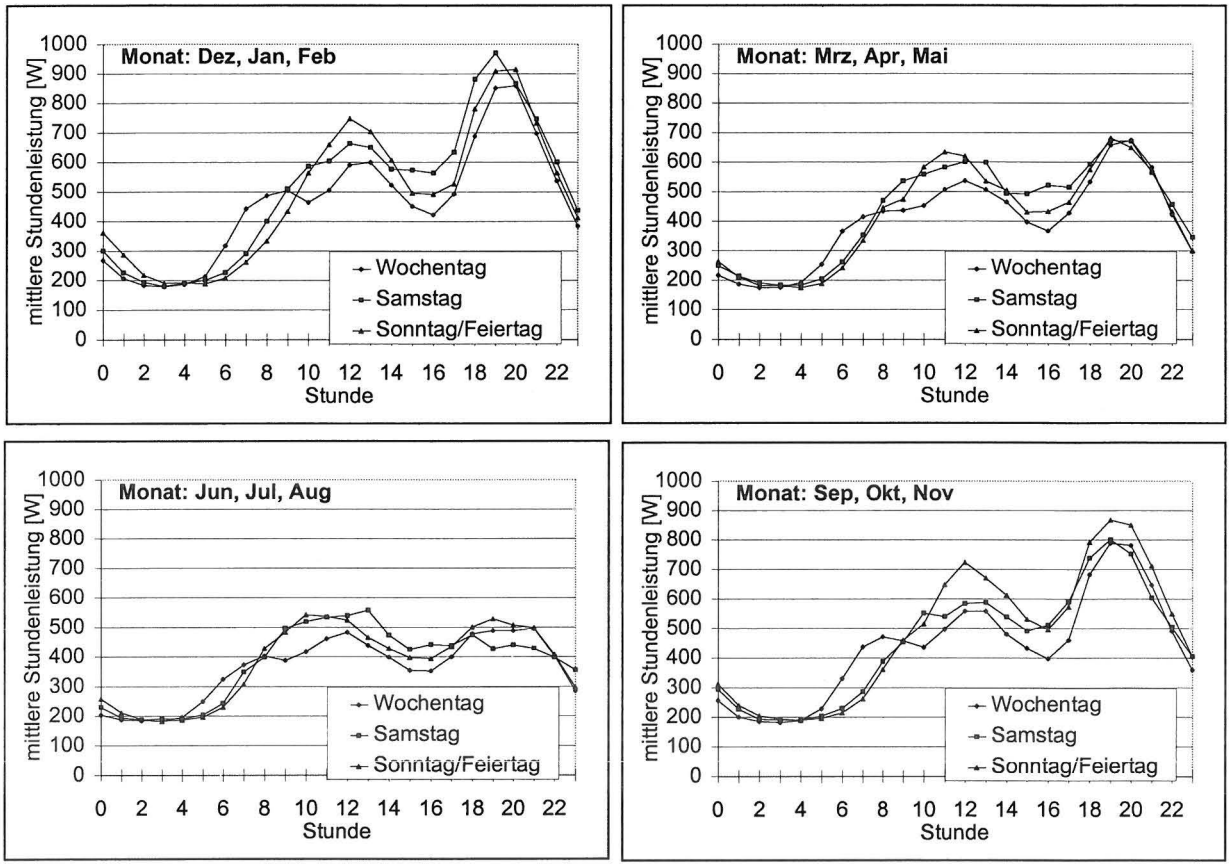


Abb. 4-22: Tagesgänge des Haushaltsstromverbrauchs, differenziert nach Jahreszeiten und Wochentagen

5 Zusammenfassung / Empfehlungen

Für die Raumheizung verbrauchte ein durchschnittlicher Haushalt in der Niedrigenergiesiedlung Distelweg jährlich zwischen 9000 und 10000 kWh (entspricht 900 bis 1000 Liter Heizöl). Das sind pro m² Wohnfläche 66 bis 72 kWh. Dies ist nur die Hälfte des Verbrauchs von konventionellen Neubauten, die zur gleichen Zeit errichtet wurden. Gegenüber der seit 1995 geltenden 3. Wärmeschutzverordnung liegt die Reduktion immer noch bei etwa 25 %. Das Konzept des Niedrigenergiehauses mit einem sehr guten Wärmeschutz hat sich also bewährt.

Insgesamt wurden ca. 140 kWh Erdgas pro m² Wohnfläche verbraucht (incl. Stromproduktion) - ca. 30% weniger, als in durchschnittlichen Reihenhäusern gleichen Baujahrs für Heizung und Warmwasser aufgewendet wird. Trotz des nur geringen Leistungsanteils der beiden Heizkraftanlagen von etwa 10% der Maximalwärmelast der Siedlung, erzeugten die Motoren etwa ein Drittel der im Jahr benötigten Wärmemenge. Die dabei gleichzeitig produzierte Strommenge von ca. 2000 kWh pro Wohneinheit entspricht etwa der Hälfte des durchschnittlichen Haushaltsstromverbrauchs. Die Stromproduktion in Kondensationskraftwerken ohne Wärmeauskopplung kann um diesen Betrag reduziert werden, wodurch dort jährlich etwa 6.000 kWh Brennstoff pro Wohneinheit eingespart werden können. Die durch die Heizkraftanlagen erzielte Primärenergieeinsparung liegt damit bei über 25%.

Die Meßergebnisse offenbaren jedoch auch Schwachstellen im realisierten Versorgungskonzept. So liegt der Brennstoffeinsatz in der Heizzentrale insgesamt über den Erwartungen. Grund ist der gegenüber der Planung erhöhte Wärmeverlust von Haustechnik und Nahwärmenetz. Für zukünftige Projekte ergeben sich daraus Ansätze für technische Verbesserungen:

- Der Wärmeverlust der Nahwärmeleitungen muß deutlich reduziert werden. Der rechnerische Wärmeverlustkoeffizient der in Niedernhausen verwendeten Rohrleitungen beträgt zwischen 0,23 und 0,38 W pro m Trasse und K Temperaturdifferenz zwischen Medium und Umgebung (Leitungspaar DN 20 bis DN 40). Durch Verwendung des zum Bauzeitpunkt erstmals verfügbaren FCKW-freien Dämmschaums (Treibgas CO_2) lag die Wärmeleitfähigkeit um 20% über den vorher üblichen Werten (λ = 0,032 statt 0,026 W/(mK)). Mittlerweile wird vom gleichen Hersteller eine ebenfalls CO_2-geschäumte flexible Zwillingsleitung mit Wärmeverlustkoeffizienten zwischen 0,21 und 0,27 W/(mK) (Doppelleitung DN 25 bis DN 40) angeboten - wäre diese Leitung zum Bauzeitpunkt schon verfügbar gewesen, dann hätten sich um 37 % (!) geringere Netzverluste ergeben.

Eine weitere Senkung ist grundsätzlich durch Verwendung starrer Rohrsysteme (Stahl-Mediumrohr) möglich, bei denen die Dämmstärke noch erhöht werden kann (bei flexiblen Leitungen wegen Biegeradius begrenzt).

- Prinzipiell kann durch den Einbau von thermostatisch geregelten Rücklauftemperaturbegrenzern eine stärkere Absenkung der Rücklauftemperaturen erreicht werden.
- Das Überströmen zwischen Vor- und Rücklauf zur Aufrechterhaltung einer Mindestvorlauftemperatur (schnelle Bereitschaft für Warmwasser) sollte nur an den Strangenden und dort auf definierte und kontrollierbare Art und Weise erfolgen.
- Um die durch zentrale Wärmeversorgung erhöhten Wärmeverluste zu kompensieren, sollte der Anteil der Heizkraftanlagen an der Jahreswärmeproduktion und damit die Stromgutschrift deutlich höher liegen. In der Siedlung Distelweg liegt der Anteil bisher bei 32%, anzustreben wäre ein Anteil von 50%. Empfehlenswert ist daher ein Anteil der Motoren an der maximalen Wärmelast von mindestens 15%. Dies entspricht der ursprünglichen Planung für die Niedrigenergiesiedlung Distelweg - realisiert wurden bisher jedoch nur ca. 10%.
- Der Ausstattungsgrad der konventionellen Haustechnik entspricht dem in Deutschland üblichen Standard. Die sich daraus ergebenden Wärmeverluste sind jedoch deutlich zu hoch. Empfehlenswert ist ein Verzicht auf Warmwasserspeicher und Zirkulation, wodurch der Jahresnutzungsgrad der Brauchwasserbereitung von 50 auf 90% (!) gesteigert werden könnte.
- Die Wärmeverluste der Übergabestationen sind zu hoch. Zwar wurde eine nachträgliche Dämmung der in den Übergabestationen befindlichen Rohrleitungen empfohlen (aus Kostengründen sollte dies in Eigenleistung geschehen), diese wurde jedoch nur von einem einzigen Bewohner durchgeführt. In Zukunft sollten beim Einbau in den unbeheizten Keller nur werkseitig gedämmte Geräte verwendet werden - am besten geeignet ist jedoch eine Anordnung im beheizten Bereich (verbrauchernah, z.B. Küche, damit auch kürzere Warmwasserleitungen).

Literaturverzeichnis

[EN 832] Europäische Norm EN 832: **Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden**; Brüssel 1994

[Ebel/Loga 1993] Ebel, Witta; Loga, Tobias: **Validierung des Leitfadens "Energiebewußte Gebäudeplanung" (LEG)** - Eignung des Verfahrens als Wärmeschutznachweis und als Energiepaß; IWU, Darmstadt 1993

[Feist 93] Feist, W.: **Unzulänglichkeiten des Rechenverfahrens nach dem Entwurf der neuen Wärmeschutzverordnung**; Sonnenenergie und Wärmepumpe Jg. 16, Heft 6, erschienen 1993

[GEMIS] Fritsche, U.; Leuchtner, J.; Mathes, F.C.; Rausch, L.; Simon, K.-H.: **Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS)** Version 2.0; Darmstadt 1992

[Imkeller/Loga 1996] Imkeller-Benjes, Ulrich; Loga, Tobias: **Stationäre Wärmebilanzverfahren im Vergleich**; IWU, Darmstadt 1996

[Klien 1991] Klien, Jobst: **Planungshilfe Blockheizkraftwerke**. Ein Leitfaden für Planer und Betreiber; Karlsruhe 1991

[LEG] **Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung**; Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten; Wiesbaden 1995

[Loga/Hampel/Claßen 1994] Loga, Tobias; Hampel-Balzereit, Heidrun; Claßen, Gerhard: **Die „Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in Niedernhausen - Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit für Wärmeschutz und Nahwärmeversorgung**; IWU Darmstadt 1994

[Menje, Loga 1992] Menje, H.; Loga, T.: **Die "Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in Niedernhausen - Projektdarstellung**; Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 1992

[Menje et al.1993] Menje, H.; Werner, J.; Zeller, J.; Weber, R.: **Dichtheit von Niedrigenergiehäusern am Beispiel der „Niedrigenergiesiedlung Distelweg"**; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1993

[Recknagel 1995] Recknagel, Sprenger, Schramek: **Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik**; München/Wien 1995

[SIA 380/1] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: **SIA 380/1 "Energie im Hochbau"** ; Zürich 1988

[VDEW 1992] VDEW Arbeitsausschuß "Marktforschung-Elektrizitätsanwendung": **"Ergebnisse der Haushaltskundenbefragung 1991"**; VDEW, Frankfurt 1992

ANHANG

- Wärmebilanz Einzelgebäude 1993, 1994, 1995
- Monatsbilanzen Siedlung 1993, 1994, 1995
- Tagesgänge Wärmeverbrauch Raumheizung 1994
- Tagesgänge Verbrauch Warmwasser 1994
- Tagesgänge Haushaltsstromverbrauch 1994

Wärmebilanz Einzelgebäude 1993						
Geb.	EBF	Nutzwärme Raumheizung	Nutzwärme Warmwasser	Verluste Haustechnik	Wärmeverbr. gesamt	spezif.
	m²	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m²a
A1	110	7171	1400	730	9301	85
A2	109	5948	1800	5964	13712	126
A3	110	8206	1002	1917	11125	101
A4	110	5748	1214	1288	8250	75
A5	109	13741	1550	5830	21121	194
B1	109	7734	2100	1877	11711	107
B2	109	9393	1484	2249	13126	120
B3	110	9546	755	2108	12408	113
B4	110	9695	990	2038	12723	116
B5	110	8851	1319	1138	11308	103
B6	110	7105	1485	4141	12730	116
B7	109	9155	2071	992	12218	112
B8	109	9684	1821	8415	19920	183
C1	152	12736	2800	2054	17590	116
C2	151	19897	4899	931	14796	98
C3	151	11276	2800	2917	25727	170
C4	134	8660	2132	1999	16994	127
C5	134	9006	1503	3207	12791	95
C6	134	10056	1503	3041	13716	102
C7	134	7659	1017	2410	14600	109
C8	135	8077	1066	2347	11086	82
C9	135	10019	1063	730	11490	85
C10	135	12043	728	2024	11812	87
D1	143	9148	891	2205	12243	86
D2	152	12090	2290	2488	16868	111
D3	134	12292	1268	5309	18869	141
D4	135	7995	814	730	9538	71
D5	135	9285	1732	2076	13093	97
D6	135	9025	1918	730	11673	86
D7	135	9131	1673	1825	12629	94
D8	135	12186	1928	2440	16554	123
E1	156	9972	1579	2418	13970	90
E2	156	8184	2964	4285	15433	99
E3	156	8759	2156	620	11536	74
E4	156	7992	1667	2312	11971	77
F1	165	9066	1509	2246	12821	78
F2	165	9341	1342	2198	12881	78
F3	165	9179	2100	1095	12374	75
F4	165	7741	738	365	8843	54
S1	135	17844	4392	3650	25887	192
S2	226	12581	2236	2956	17773	79
Gesamt	136	403216	71701	100294	575212	103

Wärmebilanz Einzelgebäude 1994							
Geb.	EBF	Nutzwärme Raumheizung	Nutzwärme Warmwasser	Verluste Haustechnik	Einspeisung Solaranlage	Wärmeverbr. gesamt	spezif.
	m²	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m²a
A1	111	5107	700	613		6420	58
A2	111	6339	1707	3125		11171	101
A3	111	7363	1149	1252		9763	88
A4	111	5242	1146	371		6760	61
A5	111	5902	1488	659		8050	73
B1	111	6381	2372	781		9534	86
B2	111	9203	878	701		10782	97
B3	111	8618	801	1589		11008	99
B4	111	9099	1013	1626		11738	106
B5	111	6288	2567	382		9237	83
B6	111	7099	1478	530		9107	82
B7	111	8676	1983	1996		12654	114
B8	111	15814	1647	2640		20101	181
C1	147	11655	2800	742		15197	103
C2	147	16790	4382	581		21753	148
C3	147	9245	2800	2758		14802	101
C4	135	8844	1774	3332		13951	103
C5	135	7549	1339	4524		13411	99
C6	135	8457	1818	3532		13808	102
C7	135	8238	1405	1102	1431	9315	69
C8	135	8126	1060	1243		10429	77
C9	135	10238	1287	618		12143	90
C10	135	8829	800	537		10166	75
D1	147	8647	1074	1837		11558	79
D2	147	9905	2426	2189		14521	99
D3	135	9000	1529	6761	1431	15859	117
D4	135	8006	1043	202	547	8704	65
D5	135	8089	1592	1533		11214	83
D6	135	11891	1690	375		13956	104
D7	135	8669	1797	1725		12191	91
D8	135	11558	2367	882		14807	110
E1	163	7235	1698	3975		12908	79
E2	163	8119	2931	2668		13718	84
E3	163	7275	2110	383		9768	60
E4	163	7988	2018	4726		14731	90
F1	170	9024	1379	886		11289	66
F2	170	9874	1488	2024		13386	79
F3	170	10616	2100	938		13654	80
F4	170	8704	1111	0		9815	58
S1	170	14456	1706	4230		20392	120
S2	226	12802	1861	5053		19716	87
Gesamt	138	370962	70314	75619	3408	513487	91

Wärmebilanz Einzelgebäude 1995							
Geb.	EBF	Nutzwärme Raumheizung	Nutzwärme Warmwasser	Verluste Haustechnik	Einspeisung Solaranlage	Wärmeverbr. gesamt	spezif.
	m²	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/m²a
A1	111	5313	650	710		6673	60
A2	111	5906	1807	1111		8824	79
A3	111	8599	1290	1460		11348	102
A4	111	6577	1216	546		8338	75
A5	111	6370	1754	860		8985	81
B1	111	7625	2284	50		9958	90
B2	111	8341	1273	1996		11610	105
B3	111	9680	704	2110		12494	113
B4	111	8368	1033	1663		11063	100
B5	111	6283	1985	883		9151	82
B6	111	6791	1493	1731		10015	90
B7	111	9419	1998	4742		16159	146
B8	111	17005	1267	2722		20994	189
C1	147	13831	1955	864		16649	113
C2	147	17208	4087	5708		27003	184
C3	147	12163	2762	1079		16004	109
C4	135	8850	1763	5826		16439	122
C5	135	9703	1460	2108		13271	98
C6	135	9495	1570	1644		12710	94
C7	135	8814	1256	476	996	9551	71
C8	135	8701	976	1286		10963	81
C9	135	10577	1518	1067		13162	98
C10	135	8655	830	989		10474	78
D1	147	10275	986	1641		12903	88
D2	147	11489	2658	2305		16452	112
D3	135	11795	1209	2170	930	14244	106
D4	135	8672	1014	505	499	9692	72
D5	135	9126	1632	2004		12762	95
D6	135	14791	2149	586		17526	130
D7	135	9485	1449	2089		13023	97
D8	135	13096	1914	1489		16499	123
E1	163	10305	1924	3087		15316	94
E2	163	7654	2764	4326		14744	90
E3	163	9018	2094	365		11477	70
E4	163	8684	2301	2049		13034	80
F1	170	8795	1146	1174		11115	65
F2	170	11688	1905	1148		14741	87
F3	170	12535	1241	365		14141	83
F4	170	10324	633	51		11008	65
S1	170	13892	1439	9240		24571	145
S2	226	11897	2125	2496		16517	73
Gesamt	138	407792	67511	78722	2425	551600	97

Wärmebilanz 1993								
	Heizzentrale			Wärmenetz	Wohngebäude			
	Gas-verbrauch (H_u) MWh	Wärme-verluste MWh	Einspeisung Wärmenetz MWh	Wärme-verluste MWh	Wärme-verbrauch gesamt MWh	Verbrauch Raum-heizung MWh	Verbrauch Warm-wasser MWh	Verluste Haus-technik MWh
Jan	105,5	6,6	99,0	14,6	84,4	69,5	6,4	8,5
Feb	105,3	6,5	98,8	11,5	87,3	74,0	5,7	7,7
Mär	79,3	4,6	74,7	13,0	61,7	45,4	7,8	8,5
Apr	54,3	4,0	50,2	10,8	39,4	25,5	5,7	8,2
Mai	30,4	2,8	27,6	9,9	17,7	3,4	5,7	8,6
Jun	26,1	1,9	24,2	9,6	14,6	0,0	5,8	8,8
Jul	26,3	2,1	24,2	9,4	14,8	0,0	5,8	9,0
Aug	23,4	1,6	21,8	9,7	12,1	0,0	4,3	7,9
Sep	34,0	1,9	32,0	12,9	19,1	5,5	5,8	7,8
Okt	63,2	3,9	59,3	10,3	49,0	34,3	6,2	8,5
Nov	100,9	4,7	96,2	8,3	87,9	73,5	6,2	8,2
Dez	102,4	5,6	96,9	9,7	87,2	72,3	6,4	8,5
Summe 93	**751,2**	**46,2**	**705,0**	**129,8**	**575,2**	**403,2**	**71,7**	**100,3**

Energiebilanz Heizzentrale 1993						
	Erdgasverbrauch		Wärmeeinspeisung		Stromproduktion	
	Kessel MWh	Heiz-Kraft-Anlage* MWh	Kessel MWh	Heiz-Kraft-Anlage* MWh	Strom-erzeugung HKA* MWh	Volllast-stunden HKA* h
Jan	105,5	0,0	99,0	0,0	0,0	0
Feb	105,3	0,0	98,8	0,0	0,0	0
Mär	79,3	0,0	74,7	0,0	0,0	0
Apr	54,3	0,0	50,2	0,0	0,0	0
Mai	30,4	0,0	27,6	0,0	0,0	0
Jun	26,1	0,0	24,2	0,0	0,0	0
Jul	26,3	0,0	24,2	0,0	0,0	0
Aug	23,4	0,0	21,8	0,0	0,0	0
Sep	34,0	0,0	32,0	0,0	0,0	0
Okt	63,2	0,0	59,3	0,0	0,0	0
Nov	100,9	0,0	96,2	0,0	0,0	0
Dez	102,4	0,0	96,9	0,0	0,0	0
Summe 93	**751,2**	**0,0**	**705,0**	**0,0**	**0,0**	**0**

*) Betrieb ab 21.4.94

Wärmebilanz 1994								
	Heizzentrale			Wärmenetz	Wohngebäude			
	Gas-verbrauch (H_u) MWh	Wärme-verluste MWh	Einspeisung Wärmenetz MWh	Wärme-verluste MWh	Wärme-verbrauch gesamt* MWh	Verbrauch Raum-heizung MWh	Verbrauch Warm-wasser MWh	Verluste Haus-technik MWh
Jan	100,0	4,0	96,1	11,0	85,0	72,2	6,3	6,5
Feb	90,7	3,2	87,5	8,1	79,4	67,8	5,9	5,9
Mär	73,1	2,9	70,3	10,6	59,7	46,9	6,4	6,5
Apr	58,9	3,5	53,2	10,9	42,3	30,6	5,8	6,3
Mai	41,8	3,8	30,6	10,3	20,3	8,0	6,1	6,5
Jun	34,2	2,9	24,2	9,8	14,4	2,8	5,8	6,3
Jul	27,5	1,2	21,4	10,2	11,3	0,0	5,3	6,5
Aug	24,7	1,2	20,9	10,0	10,9	0,0	4,7	6,5
Sep	36,9	2,2	28,1	9,2	18,9	7,1	6,0	6,0
Okt	61,9	3,6	51,3	11,0	40,2	28,4	5,8	6,4
Nov	74,8	5,5	62,5	10,3	52,2	40,8	5,8	5,6
Dez	101,6	6,1	89,0	10,1	79,0	66,3	6,3	6,4
Summe 94	**726,2**	**39,9**	**635,1**	**121,6**	**513,5**	**371,0**	**70,3**	**75,6**

*) abzügl. Wärmeerzeugung der 3 thermischen Solaranlagen

Energiebilanz Heizzentrale 1994						
	Erdgasverbrauch		Wärmeeinspeisung		Stromproduktion	
	Kessel MWh	Heiz-Kraft-Anlage* MWh	Kessel MWh	Heiz-Kraft-Anlage* MWh	Strom-erzeugung HKA* MWh	Volllast-stunden HKA* h
Jan	100,0	0,0	96,1	0,0	0,0	0
Feb	90,7	0,0	87,5	0,0	0,0	0
Mär	73,1	0,0	70,3	0,0	0,0	0
Apr	50,1	8,9	47,7	5,5	2,2	189
Mai	11,4	30,4	10,9	19,7	7,4	681
Jun	5,1	29,1	5,0	19,2	7,1	662
Jul	7,2	20,3	7,1	14,3	4,9	494
Aug	14,0	10,7	13,4	7,4	2,6	256
Sep	9,8	27,1	9,6	18,5	6,6	638
Okt	33,8	28,2	32,7	18,6	7,0	641
Nov	47,5	27,3	45,0	17,5	6,8	604
Dez	75,5	26,1	71,7	17,4	6,5	598
Summe 94	**518,3**	**208,0**	**496,9**	**138,2**	**51,2**	**4764**

*) Betrieb ab 21.4.94

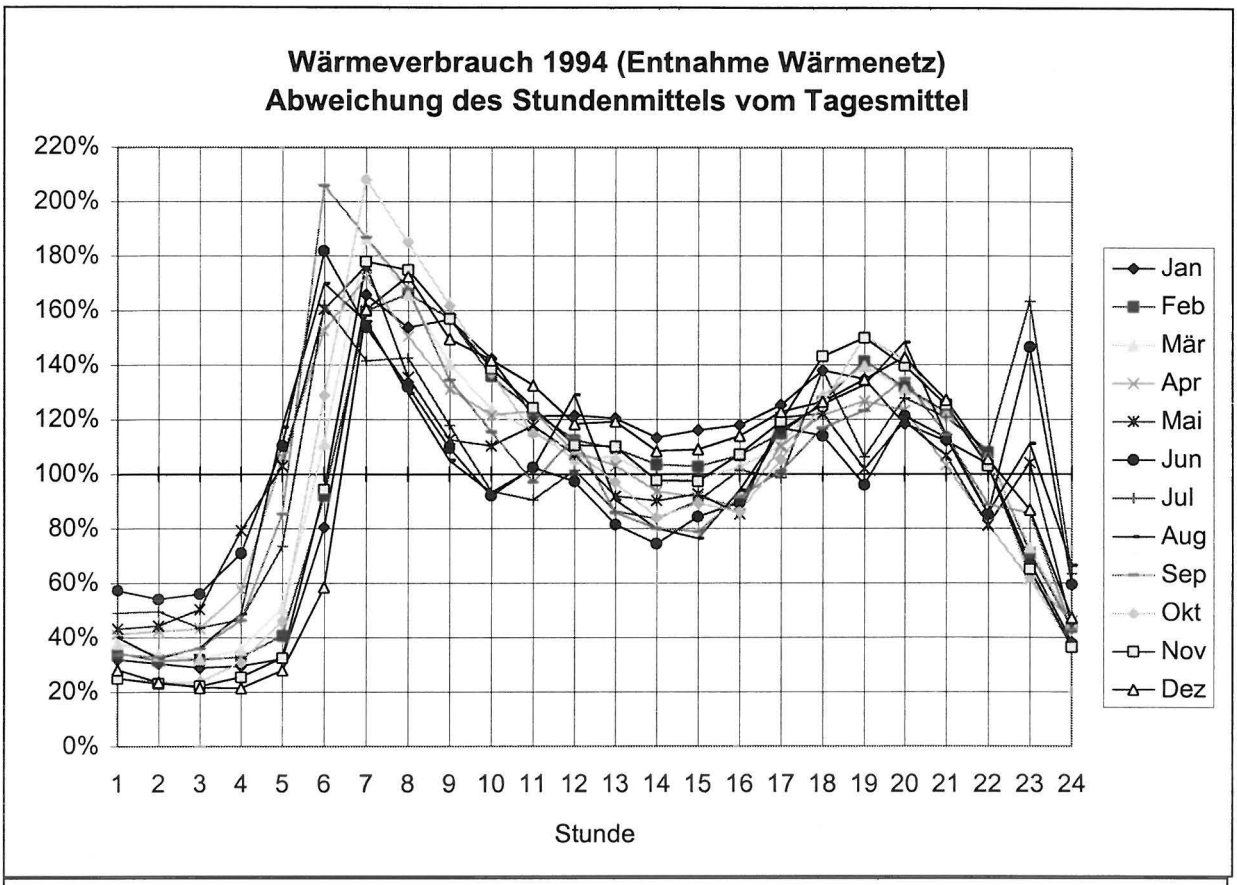
Wärmebilanz 1995								
	Heizzentrale			Wärmenetz	Wohngebäude			
	Gas-verbrauch (H_u)	Wärme-verluste	Einspeisung Wärmenetz	Wärme-verluste	Wärme-verbrauch gesamt*	Verbrauch Raum-heizung	Verbrauch Warm-wasser	Verluste Haus-technik
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Jan	120,1	5,5	106,4	11,6	94,8	82,0	6,2	6,7
Feb	91,5	6,8	78,0	10,9	67,1	55,5	5,7	6,1
Mär	95,9	7,2	81,3	12,0	69,2	56,5	6,3	6,7
Apr	62,6	4,6	51,0	11,7	39,3	27,6	5,4	6,5
Mai	46,9	6,1	33,7	11,1	22,6	10,6	5,6	6,7
Jun	40,5	5,6	28,0	10,4	17,6	5,8	5,5	6,5
Jul	31,8	3,5	21,7	11,1	10,6	0,0	4,1	6,7
Aug	28,2	2,7	20,7	9,2	11,5	0,2	4,8	6,7
Sep	41,3	4,1	30,8	9,9	20,9	8,6	6,0	6,4
Okt	51,9	3,5	41,7	11,8	29,9	17,8	5,7	6,7
Nov	91,2	5,8	78,3	7,9	70,4	58,1	6,0	6,4
Dez	117,6	3,8	106,3	8,6	97,7	85,0	6,1	6,7
Summe 95	**819,5**	**59,1**	**677,9**	**126,3**	**551,6**	**407,8**	**67,5**	**78,7**

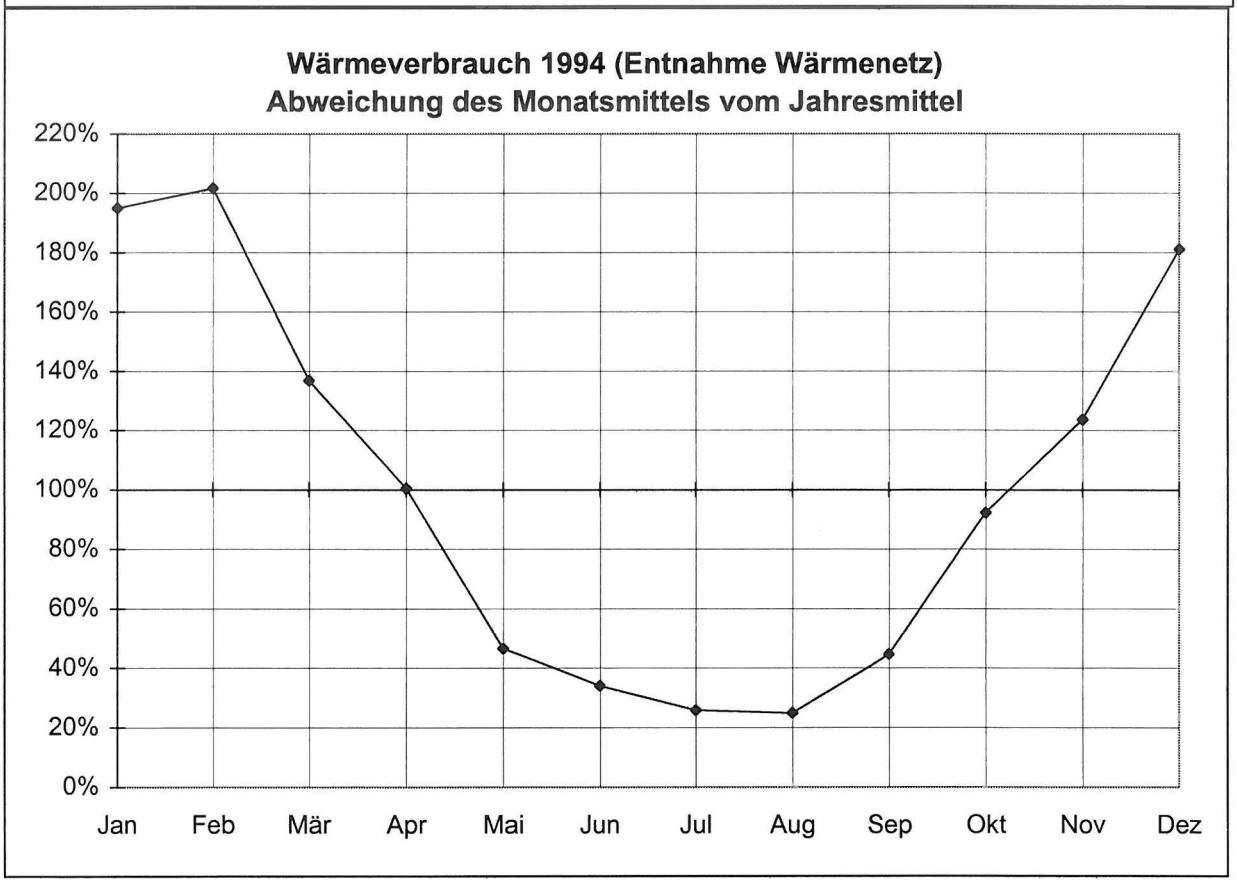
*) abzügl. Wärmeerzeugung der 3 thermischen Solaranlagen

Energiebilanz Heizzentrale 1995						
	Erdgasverbrauch		Wärmeeinspeisung		Stromproduktion	
	Kessel	Heiz-Kraft-Anlage	Kessel	Heiz-Kraft-Anlage	Strom-erzeugung HKA	Volllast-stunden HKA
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	h
Jan	86,1	34,0	83,8	22,6	8,2	779
Feb	63,9	27,7	59,6	18,4	6,8	634
Mär	65,3	30,7	60,9	20,4	7,5	702
Apr	34,6	28,0	32,4	18,6	7,0	641
Mai	19,1	27,8	15,2	18,4	7,1	636
Jun	13,5	27,0	10,1	17,9	6,9	618
Jul	5,8	26,0	4,5	17,3	6,6	596
Aug	9,1	19,1	8,0	12,7	4,8	437
Sep	16,3	25,0	14,2	16,6	6,4	573
Okt	26,1	25,9	24,6	17,2	6,6	592
Nov	64,2	27,0	60,4	17,9	7,1	619
Dez	89,3	28,2	87,5	18,7	7,5	646
Summe 95	**493,2**	**326,4**	**461,2**	**216,7**	**82,6**	**7473**

Monatliche Tagesgänge des Wärmeverbrauchs (Entnahme Wärmenetz)
Messung Niedrigenergiesiedlung Distelweg 1994

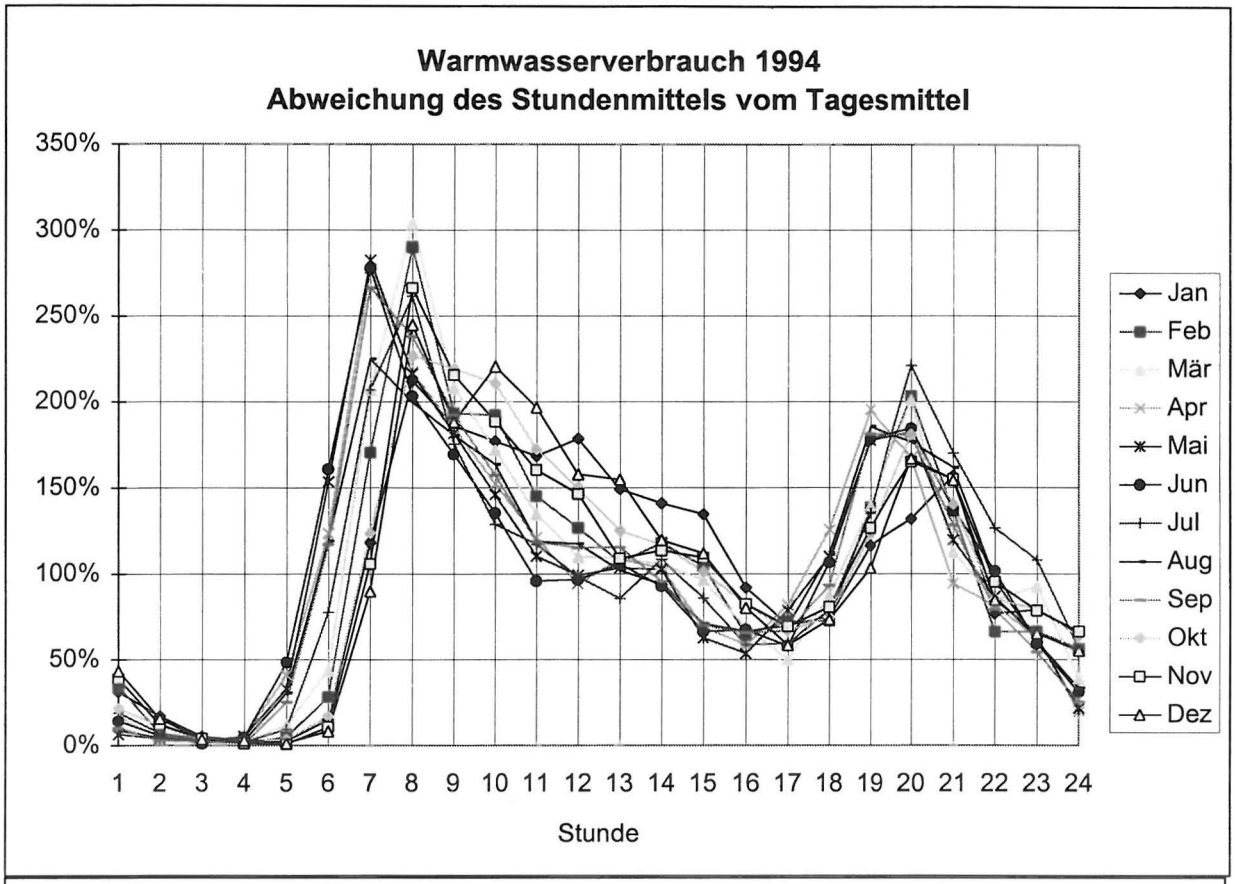
		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verbrauch 41 Häuser	MWh	84,0	78,5	58,9	41,8	20,1	14,2	11,1	10,7	18,6	39,8	51,5	78,0	507,3
Verbrauch Haushalt	MWh	2,049	1,914	1,438	1,020	0,489	0,346	0,271	0,262	0,455	0,970	1,257	1,903	12,373
mittl. Tagesverbr. Haushalt	kWh	66,09	68,34	46,38	34,01	15,78	11,55	8,75	8,44	15,16	31,28	41,90	61,39	33,90
mittlere Leistung Haushalt	W	2754	2848	1932	1417	657	481	365	352	632	1303	1746	2558	1412
bezogen auf Jahresmittel		195%	202%	137%	100%	47%	34%	26%	25%	45%	92%	124%	181%	100%
Stundenmittel der Leistung je Haushalt in W	1	879	979	734	583	284	276	179	141	215	328	437	719	477
	2	835	897	651	598	291	260	181	114	207	307	402	601	442
	3	794	910	623	613	331	269	159	128	227	307	387	552	439
	4	812	935	689	811	522	342	170	171	293	402	444	547	508
	5	888	1159	979	1508	677	531	268	413	539	600	569	715	733
	6	2215	2620	2154	2165	1055	875	591	599	1301	1678	1645	1496	1524
	7	4564	4551	3598	2441	1159	740	517	549	1181	2713	3107	4104	2424
	8	4236	4731	3206	2134	891	636	520	457	1061	2410	3054	4413	2299
	9	4318	4475	2716	1858	740	527	430	370	850	2112	2741	3826	2067
	10	3918	3869	2389	1725	725	443	341	328	730	1787	2422	3627	1848
	11	3335	3500	2236	1744	774	493	330	360	613	1496	2170	3391	1694
	12	3348	3202	2040	1533	705	468	370	455	717	1420	1931	3027	1593
	13	3316	3116	2057	1462	604	392	315	318	542	1262	1921	3050	1521
	14	3119	2946	1892	1326	592	358	305	282	506	1095	1705	2772	1400
	15	3197	2927	1890	1295	609	406	329	269	498	1163	1699	2789	1415
	16	3246	3041	1978	1245	560	430	370	331	578	1122	1870	2914	1466
	17	3448	3270	2133	1561	793	562	360	409	639	1371	2081	3138	1639
	18	3797	3600	2488	1721	803	549	504	442	738	1633	2500	3237	1825
	19	3711	4028	2700	1795	670	462	388	468	778	1960	2618	3445	1907
	20	3259	3754	2528	1747	783	583	466	522	852	1851	2437	3650	1859
	21	3086	3495	2353	1464	702	546	440	402	723	1616	2187	3250	1679
	22	2854	3072	2057	1155	533	410	396	301	560	1361	1796	2699	1424
	23	1862	2024	1413	868	684	705	596	391	541	806	1135	2219	1099
	24	1053	1245	871	656	290	286	231	234	271	478	636	1207	618
Abweichung des Stundenmittels vom Tagesmittel	1	32%	34%	38%	41%	43%	57%	49%	40%	34%	25%	25%	28%	34%
	2	30%	31%	34%	42%	44%	54%	49%	32%	33%	24%	23%	23%	31%
	3	29%	32%	32%	43%	50%	56%	43%	36%	36%	24%	22%	22%	31%
	4	29%	33%	36%	57%	79%	71%	47%	49%	46%	31%	25%	21%	36%
	5	32%	41%	51%	106%	103%	110%	74%	117%	85%	46%	33%	28%	52%
	6	80%	92%	111%	153%	161%	182%	162%	170%	206%	129%	94%	58%	108%
	7	166%	160%	186%	172%	176%	154%	142%	156%	187%	208%	178%	160%	172%
	8	154%	166%	166%	151%	136%	132%	143%	130%	168%	185%	175%	173%	163%
	9	157%	157%	141%	131%	113%	110%	118%	105%	135%	162%	157%	150%	146%
	10	142%	136%	124%	122%	110%	92%	94%	93%	116%	137%	139%	142%	131%
	11	121%	123%	116%	123%	118%	102%	90%	102%	97%	115%	124%	133%	120%
	12	122%	112%	106%	108%	107%	97%	101%	129%	114%	109%	111%	118%	113%
	13	120%	109%	106%	103%	92%	81%	86%	90%	86%	97%	110%	119%	108%
	14	113%	103%	98%	94%	90%	74%	84%	80%	80%	84%	98%	108%	99%
	15	116%	103%	98%	91%	93%	84%	90%	76%	79%	89%	97%	109%	100%
	16	118%	107%	102%	88%	85%	89%	101%	94%	91%	86%	107%	114%	104%
	17	125%	115%	110%	110%	121%	117%	99%	116%	101%	105%	119%	123%	116%
	18	138%	126%	129%	121%	122%	114%	138%	126%	117%	125%	143%	127%	129%
	19	135%	141%	140%	127%	102%	96%	106%	133%	123%	150%	150%	135%	135%
	20	118%	132%	131%	123%	119%	121%	128%	148%	135%	142%	140%	143%	132%
	21	112%	123%	122%	103%	107%	113%	121%	114%	114%	124%	125%	127%	119%
	22	104%	108%	106%	82%	81%	85%	108%	85%	89%	104%	103%	106%	101%
	23	68%	71%	73%	61%	104%	147%	163%	111%	86%	62%	65%	87%	78%
	24	38%	44%	45%	46%	44%	59%	63%	66%	43%	37%	36%	47%	44%
Mittelwert Tag		*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*

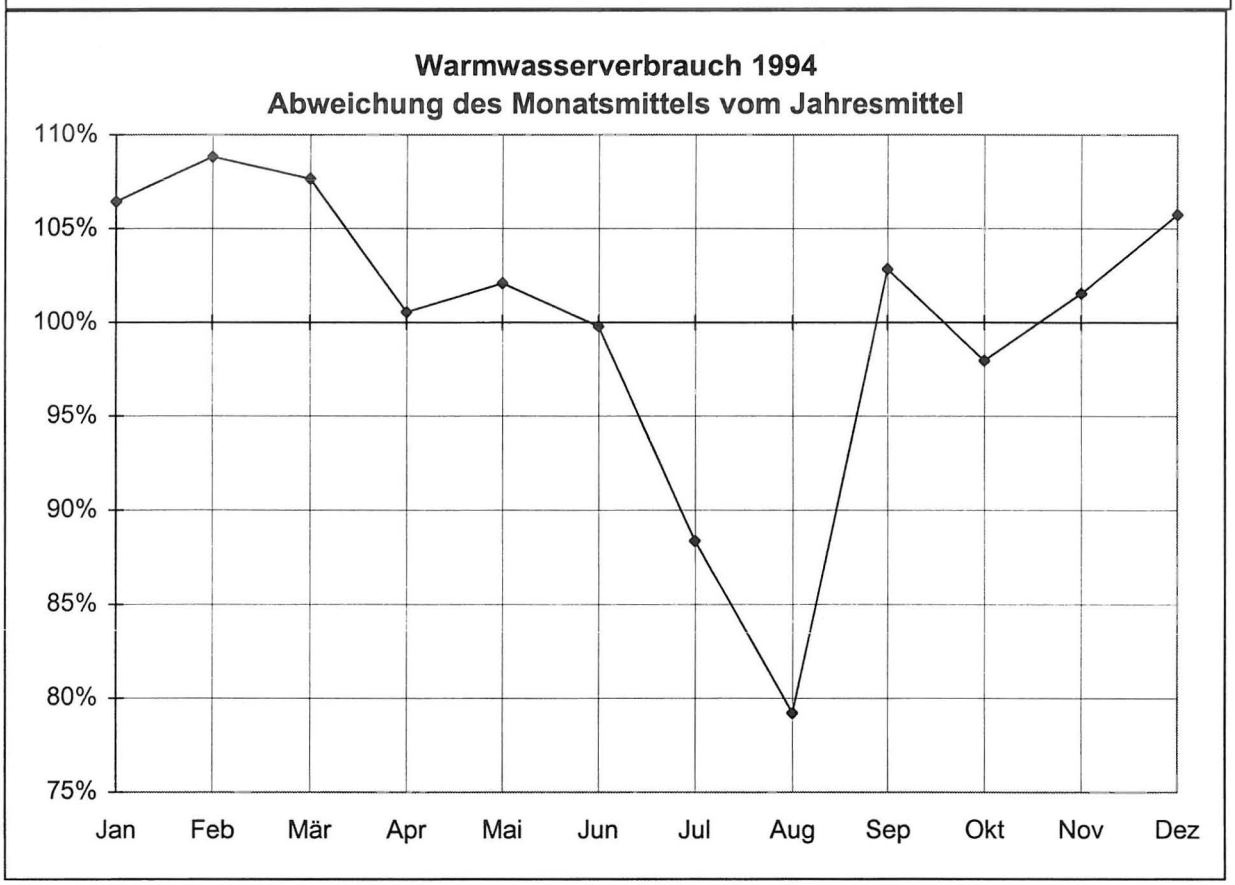

Wärmeverbrauch 1994 (Entnahme Wärmenetz)
Abweichung des Stundenmittels vom Tagesmittel
220%
200%
180%
160%
140%
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Stunde
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez


Wärmeverbrauch 1994 (Entnahme Wärmenetz)
Abweichung des Monatsmittels vom Jahresmittel
220%
200%
180%
160%
140%
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez

Monatliche Tagesgänge des Warmwasserverbrauchs (Wasserzähler)
Messung Niedrigenergiesiedlung Distelweg 1994

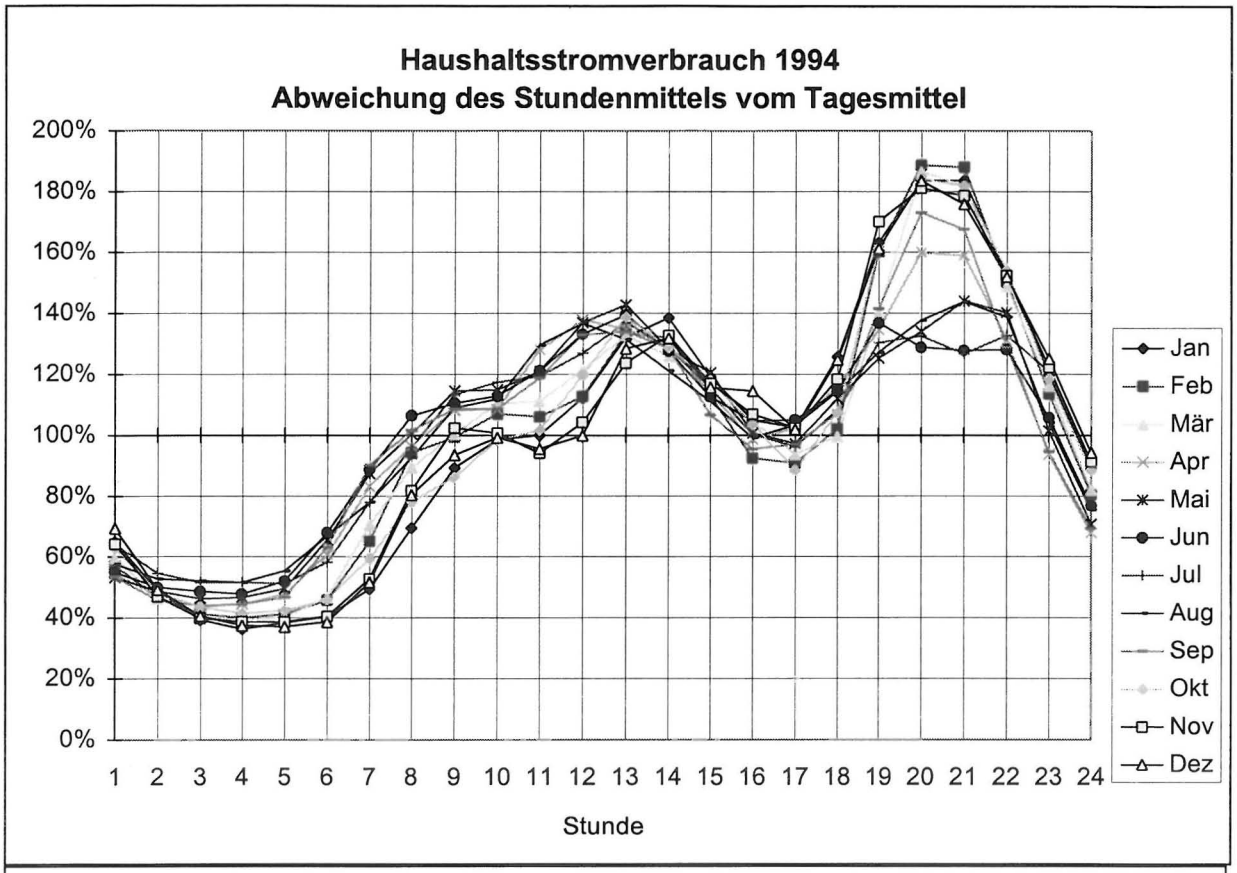
		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verbrauch 41 Häuser	m³	124,4	114,9	125,8	113,7	119,3	112,8	103,3	92,6	116,3	114,5	114,8	123,6	1375,9
Verbrauch Haushalt	m³	3,03	2,80	3,07	2,77	2,91	2,75	2,52	2,26	2,84	2,79	2,80	3,01	33,56
mittl. Tagesverbr. Haushalt	l	97,9	100,1	99,0	92,4	93,9	91,7	81,2	72,8	94,6	90,1	93,4	97,2	91,9
mittl. Stdenverbrauch Haus	l	4,08	4,17	4,12	3,85	3,91	3,82	3,39	3,03	3,94	3,75	3,89	4,05	3,83
bezogen auf Jahresmittel		106%	109%	108%	101%	102%	100%	88%	79%	103%	98%	102%	106%	100%
	1	1,27	1,42	0,69	0,39	0,25	0,54	0,64	0,27	0,39	0,81	1,51	1,75	0,82
	2	0,69	0,29	0,18	0,13	0,15	0,22	0,24	0,13	0,11	0,42	0,47	0,63	0,31
	3	0,21	0,10	0,06	0,08	0,09	0,04	0,12	0,08	0,09	0,13	0,16	0,15	0,11
	4	0,12	0,05	0,07	0,19	0,21	0,17	0,06	0,08	0,04	0,09	0,05	0,12	0,10
	5	0,11	0,20	0,49	1,58	1,29	1,84	0,32	0,93	0,99	0,13	0,03	0,05	0,66
	6	0,60	1,18	1,81	4,76	6,00	6,14	2,63	3,61	4,61	0,63	0,42	0,33	2,72
	7	4,82	7,11	8,53	10,69	11,04	10,61	7,00	6,82	10,49	4,64	4,12	3,64	7,45
	8	8,65	12,09	12,53	8,35	8,45	7,76	8,85	6,05	9,37	8,50	10,36	9,92	9,22
	9	7,57	8,05	8,57	7,12	7,10	6,47	5,94	5,47	7,58	8,22	8,38	7,62	7,34
Stundenmittel	10	7,22	8,01	7,09	5,87	5,71	5,18	4,36	4,96	6,19	7,91	7,33	8,93	6,56
des Verbrauchs	11	6,87	6,05	5,54	4,66	4,30	3,66	3,96	3,60	4,67	6,46	6,24	7,96	5,33
je Haushalt in l	12	7,28	5,28	4,53	3,63	3,88	3,69	3,32	3,56	4,54	5,63	5,69	6,39	4,78
	13	6,08	4,45	4,50	4,18	4,04	4,04	2,90	3,10	4,55	4,68	4,23	6,27	4,42
	14	5,74	4,91	4,35	3,98	4,01	3,54	3,66	2,85	3,76	4,38	4,41	4,84	4,20
	15	5,48	4,35	3,98	2,66	2,45	2,53	2,91	2,15	2,76	3,80	4,25	4,53	3,49
	16	3,74	2,68	2,82	2,25	2,09	2,57	1,99	2,02	2,59	3,08	3,20	3,24	2,69
	17	2,86	3,01	2,06	3,15	3,08	2,22	2,01	2,11	2,63	2,50	2,69	2,37	2,55
	18	3,05	3,03	3,59	4,83	4,30	4,07	2,67	3,38	3,67	2,81	3,13	2,97	3,46
	19	4,74	5,78	5,75	7,52	6,94	6,81	4,57	5,62	7,13	4,63	4,92	4,19	5,71
	20	5,37	8,47	8,29	6,46	7,12	7,05	7,48	5,36	7,10	6,79	6,42	6,76	6,88
	21	6,39	5,68	4,64	3,62	4,67	5,25	5,76	4,90	5,05	5,26	6,02	6,25	5,29
	22	3,13	2,76	3,48	3,14	3,38	3,88	4,28	2,93	3,12	3,20	3,70	3,43	3,37
	23	3,22	2,76	3,82	2,43	2,45	2,27	3,65	1,83	2,14	2,97	3,05	2,65	2,77
	24	2,66	2,34	1,61	0,77	0,84	1,19	1,91	1,01	1,00	2,38	2,58	2,24	1,71
	1	31%	34%	17%	10%	6%	14%	19%	9%	10%	22%	39%	43%	22%
	2	17%	7%	4%	3%	4%	6%	7%	4%	3%	11%	12%	16%	8%
	3	5%	2%	1%	2%	2%	1%	4%	3%	2%	3%	4%	4%	3%
	4	3%	1%	2%	5%	5%	5%	2%	3%	1%	2%	1%	3%	3%
	5	3%	5%	12%	41%	33%	48%	9%	31%	25%	3%	1%	1%	17%
	6	15%	28%	44%	124%	153%	161%	78%	119%	117%	17%	11%	8%	71%
	7	118%	171%	207%	278%	282%	278%	207%	225%	266%	124%	106%	90%	194%
	8	212%	290%	304%	217%	216%	203%	261%	200%	238%	227%	266%	245%	241%
	9	186%	193%	208%	185%	182%	169%	175%	180%	192%	219%	215%	188%	191%
	10	177%	192%	172%	152%	146%	135%	129%	163%	157%	211%	188%	220%	171%
Abweichung des	11	168%	145%	134%	121%	110%	96%	117%	119%	119%	172%	160%	196%	139%
Stundenmittels vom	12	179%	127%	110%	94%	99%	97%	98%	117%	115%	150%	146%	158%	125%
Tagesmittel	13	149%	107%	109%	109%	103%	106%	86%	102%	115%	125%	109%	155%	115%
	14	141%	118%	106%	103%	103%	93%	108%	94%	95%	117%	113%	119%	110%
	15	134%	104%	97%	69%	63%	66%	86%	71%	70%	101%	109%	112%	91%
	16	92%	64%	68%	58%	54%	67%	59%	67%	66%	82%	82%	80%	70%
	17	70%	72%	50%	82%	79%	58%	60%	70%	67%	67%	69%	58%	67%
	18	75%	73%	87%	125%	110%	106%	79%	111%	93%	75%	81%	73%	90%
	19	116%	139%	139%	195%	177%	178%	135%	185%	181%	123%	126%	103%	149%
	20	132%	203%	201%	168%	182%	184%	221%	177%	180%	181%	165%	167%	179%
	21	157%	136%	112%	94%	119%	137%	170%	162%	128%	140%	155%	154%	138%
	22	77%	66%	84%	81%	87%	102%	127%	96%	79%	85%	95%	85%	88%
	23	79%	66%	93%	63%	63%	59%	108%	60%	54%	79%	78%	65%	72%
	24	65%	56%	39%	20%	22%	31%	56%	33%	25%	63%	66%	55%	45%
Mittelwert Tag		*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*

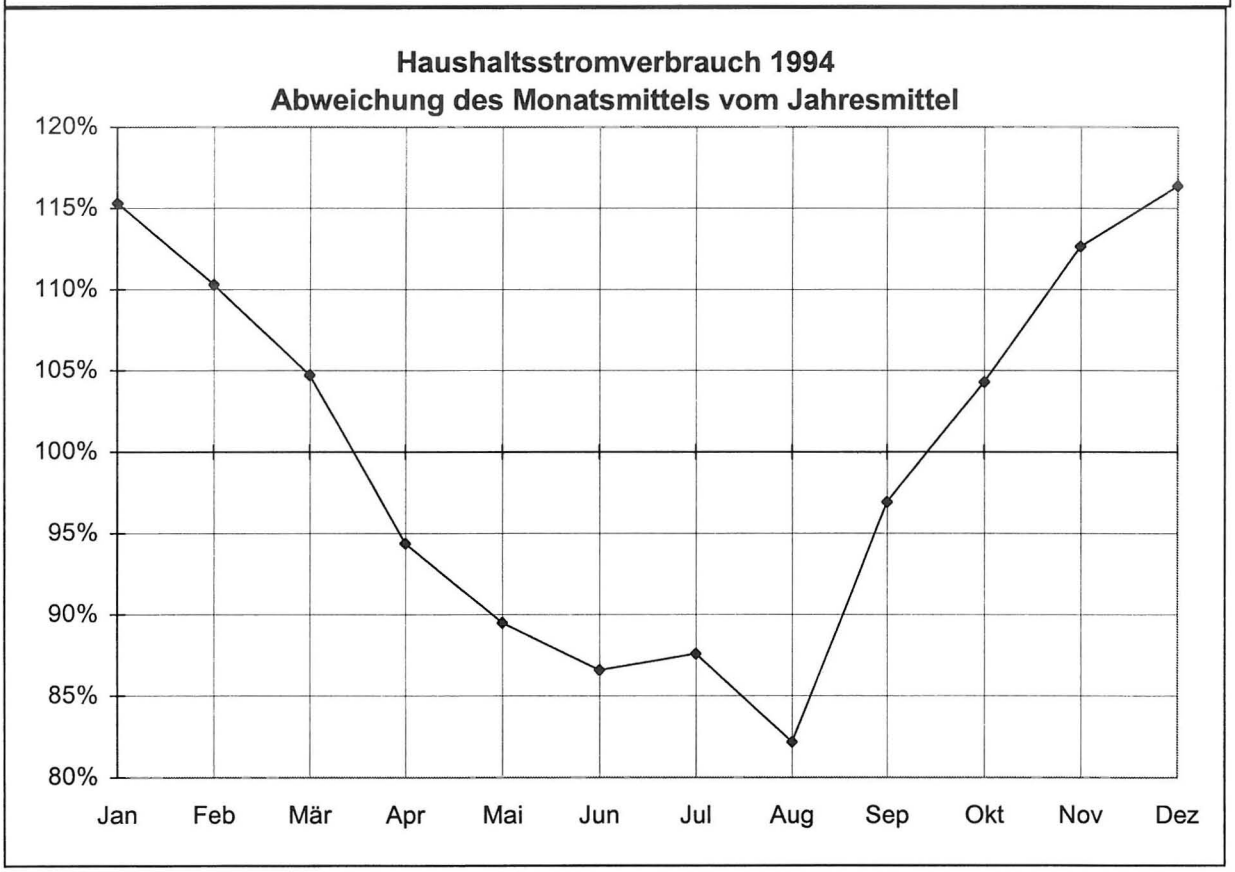

Warmwasserverbrauch 1994
Abweichung des Stundenmittels vom Tagesmittel
350%
300%
250%
200%
150%
100%
50%
0%
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Stunde
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez


Warmwasserverbrauch 1994
Abweichung des Monatsmittels vom Jahresmittel
110%
105%
100%
95%
90%
85%
80%
75%
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez

Monatliche Tagesgänge des Haushaltsstromverbrauchs
Messung Niedrigenergiesiedlung Distelweg 1994

		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Verbrauch 41 Häuser	MWh	15,0	13,0	13,7	11,9	11,7	10,9	11,4	10,7	12,2	13,6	14,2	15,2	153,5
Verbrauch Haushalt	MWh	0,367	0,317	0,333	0,290	0,285	0,266	0,278	0,261	0,298	0,332	0,347	0,370	3,744
mittl. Tagesverbr. Haushalt	kWh	11,83	11,31	10,74	9,68	9,18	8,88	8,98	8,43	9,94	10,70	11,55	11,94	10,26
mittlere Leistung Haushalt	W	492,8	471	448	403	383	370	374	351	414	446	481	497	427
bezogen auf Jahresmittel		115%	110%	105%	94%	90%	87%	88%	82%	97%	104%	113%	116%	100%
	1	320	270	266	218	203	203	240	203	222	281	309	345	257
	2	241	219	207	191	186	185	205	185	189	216	226	245	208
	3	193	194	181	176	176	180	193	183	182	194	192	201	187
	4	179	189	175	179	178	177	193	181	184	185	186	186	183
	5	189	194	180	192	189	192	191	195	193	188	186	184	189
	6	199	216	208	244	250	251	218	235	261	204	194	192	223
	7	243	307	315	335	334	328	292	274	374	265	253	256	298
	8	342	444	400	389	384	394	359	325	420	348	393	399	382
	9	439	469	449	436	438	409	424	383	450	384	493	464	436
	10	485	504	494	437	439	418	439	393	450	438	484	493	456
Stundenmittel der Leistung	11	492	500	497	515	462	448	446	455	492	453	453	475	474
je Haushalt in W	12	553	531	543	556	523	493	475	480	551	533	501	496	519
	13	651	629	594	543	546	516	513	461	555	618	595	638	571
	14	682	623	563	522	489	472	481	425	532	573	639	655	554
	15	586	533	508	458	461	417	432	390	442	525	563	575	491
	16	517	436	467	397	385	387	375	348	395	462	514	569	438
	17	505	429	419	413	372	389	360	363	402	395	493	506	420
	18	618	481	445	468	428	424	405	401	444	478	569	619	482
	19	804	756	627	542	478	506	487	446	586	719	819	801	630
	20	905	890	835	645	512	477	495	483	717	821	871	913	713
	21	905	887	815	641	550	473	474	505	694	810	860	874	706
	22	753	709	666	529	536	474	496	487	534	686	732	755	613
	23	590	536	520	378	387	391	452	365	392	528	588	621	479
	24	438	380	367	273	270	284	339	265	287	394	439	468	350
	1	65%	57%	60%	54%	53%	55%	64%	58%	53%	63%	64%	69%	60%
	2	49%	46%	46%	47%	49%	50%	55%	53%	46%	48%	47%	49%	49%
	3	39%	41%	40%	44%	46%	49%	52%	52%	44%	43%	40%	40%	44%
	4	36%	40%	39%	44%	47%	48%	52%	52%	44%	41%	39%	37%	43%
	5	38%	41%	40%	48%	49%	52%	51%	55%	47%	42%	39%	37%	44%
	6	40%	46%	47%	61%	65%	68%	58%	67%	63%	46%	40%	39%	52%
	7	49%	65%	70%	83%	87%	89%	78%	78%	90%	59%	53%	52%	70%
	8	69%	94%	89%	96%	100%	106%	96%	93%	101%	78%	82%	80%	89%
	9	89%	99%	100%	108%	114%	110%	113%	109%	109%	86%	102%	93%	102%
	10	98%	107%	110%	108%	115%	113%	117%	112%	109%	98%	101%	99%	107%
Abweichung des	11	100%	106%	111%	128%	121%	121%	119%	130%	119%	102%	94%	95%	111%
Stundenmittels vom	12	112%	113%	121%	138%	137%	133%	127%	137%	133%	120%	104%	100%	122%
Tagesmittel	13	132%	133%	133%	135%	143%	139%	137%	131%	134%	139%	124%	128%	134%
	14	138%	132%	126%	129%	128%	128%	128%	121%	128%	129%	133%	132%	130%
	15	119%	113%	114%	114%	120%	113%	115%	111%	107%	118%	117%	116%	115%
	16	105%	92%	104%	98%	101%	105%	100%	99%	95%	104%	107%	114%	102%
	17	102%	91%	94%	102%	97%	105%	96%	103%	97%	89%	102%	102%	98%
	18	125%	102%	100%	116%	112%	114%	108%	114%	107%	107%	118%	125%	113%
	19	163%	160%	140%	134%	125%	137%	130%	127%	141%	161%	170%	161%	147%
	20	184%	189%	187%	160%	134%	129%	132%	138%	173%	184%	181%	184%	167%
	21	184%	188%	182%	159%	144%	128%	127%	144%	167%	182%	179%	176%	165%
	22	153%	150%	149%	131%	140%	128%	133%	139%	129%	154%	152%	152%	143%
	23	120%	114%	116%	94%	101%	106%	121%	104%	94%	118%	122%	125%	112%
	24	89%	81%	82%	68%	71%	77%	91%	75%	69%	88%	91%	94%	82%
Mittelwert Tag		*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*	*100%*


Haushaltsstromverbrauch 1994
Abweichung des Stundenmittels vom Tagesmittel
200%
180%
160%
140%
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
Stunde
Jan
Feb
Mär
Apr
Mai
Jun
Jul
Aug
Sep
Okt
Nov
Dez


Haushaltsstromverbrauch 1994
Abweichung des Monatsmittels vom Jahresmittel
120%
115%
110%
105%
100%
95%
90%
85%
80%
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez