

## **Jahresdauerlinien für Niedrigenergiesiedlungen**

Gemessene Tagesganglinien als Grundlage für die  
Auslegung von Blockheizkraftwerken

Bernhard Brunnengräber (BÖE)  
Tobias Loga (IWU)

Sachbearbeitung: Kornelia Müller  
Marc Großklos

Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage  
Darmstadt, Juli 1996

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

Büro für ökologische Energienutzung (BÖE)  
Jahnstraße 4  
64285 Darmstadt  
Tel.: 06151/65868

ISBN-Nr.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einführung und Aufgabenstellung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Auswertung der Messungen.....</b>	<b>1</b>
2.1 Gemessene Jahresdauerlinien der Wärmelast .....	2
2.2 Auswertung von Klimadaten.....	2
2.3 Messungen in den Häusern .....	4
<b>3 Nachbildung der Jahresdauerlinie mit verschiedenen Verfahren.....</b>	<b>6</b>
3.1 Nutzung der VDI-Typtage und des VDI-Zeitrasters (Verfahren 1).....	6
3.2 Nutzung gemessener mittlerer Typtage im VDI-Zeitraster (Verfahren 2).....	8
3.3 Nutzung gemessener Typtage im monatlichen Zeitraster (Verfahren 3).....	10
3.4 Differenzierung nach Monaten und Verbrauchsanteilen mit 2 Typtagen (Verfahren 4).....	12
3.4.1 Raumheizung .....	13
3.4.2 Warmwasser.....	14
3.4.3 Haustechnik- und Netzverluste.....	16
<b>4 Zusammenfassung.....</b>	<b>22</b>

## Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1: Gemessene Jahresdauerlinien der Wärmelast 1993/94.....	2
Abb. 2: Monatliche Tagesgänge der Außenlufttemperatur in Niedernhausen 1994 .....	3
Abb. 3: Jahresdauerlinie der Außentemperatur in Niedernhausen 1994 .....	4
Abb. 4: Tagesgänge der Wärmelast der VDI 2067 Blatt 7 .....	6
Abb. 5: Nach Verfahren 1 errechnete Jahresdauerlinie .....	7
Abb. 6: Tagesgänge der in Niedernhausen gemessenen Wärmelast (Zeitraster der VDI 2067) ..	8
Abb. 7: Nach Verfahren 2a errechnete Jahresdauerlinie .....	9
Abb. 8: Gemessene Tagesgänge der Wärmelast (Zeitraster der VDI 2067, differenziert nach Wochentag und Wochenende .....	10
Abb. 9: Nach Verfahren 2b errechnete Jahresdauerlinie .....	10
Abb. 10: Monatliche gemessene Tagesgänge der Wärmelast.....	11
Abb. 11: Nach Verfahren 3 errechnete Jahresdauerlinie .....	11
Abb. 12: Gemessene und errechnete Monatswerte der Raumheizung in Niedernhausen für die Jahre 1993 - 95 .....	12
Abb. 13: Monatliche Tagesgänge der Raumheizung .....	13
Abb. 14: Prozentuale Tagesgänge der Raumheizung .....	14
Abb. 15: Tagesgänge des Warmwasserverbrauchs .....	15
Abb. 16: Prozentuale Tagesgänge des Warmwasserverbrauchs .....	15
Abb. 17: Tagesgänge der Netzverluste.....	16
Abb. 18: Durchschnittliche prozentuale Tagesgänge für Raumwärme und Warmwasser .....	17
Abb. 19: Nach Verfahren 4a errechnete Jahresdauerlinie .....	19
Abb. 20: Nach Verfahren 4b errechnete Jahresdauerlinie .....	19
Abb. 21: Nach Verfahren 4c errechnete Jahresdauerlinie .....	20
Abb. 22: Nach Verfahren 4d errechnete Jahresdauerlinie .....	21

## Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Klimadaten für Niedernhausen 1994.....	3
Tab. 2: Häufigkeit heiterer, bewölkter und trüber Tage nach DIN 4710, Tab. 6.....	7
Tab. 3: Durchschnittliche prozentuale Tagesgänge für Raumwärme und Warmwasser .....	17
Tab. 4: Monatliche Verbrauchsanteile Raumheizung, Warmwasser, Haustechnik- und Netzverluste .....	18

# 1 Einführung und Aufgabenstellung

Die "Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in der hessischen Gemeinde Niedernhausen (Taunus) ist die erste Siedlung Deutschlands, die komplett in Niedrigenergiebauweise errichtet wurde und darüberhinaus über ein Blockheizkraftwerk mit Wärme versorgt wird. Sie wurde 1991/92 gebaut und umfaßt 41 Wohneinheiten in Doppel- und Reihenhäusern [Menje, Loga 1992]. Im Rahmen des 1995 abgelaufenen Meßprogramms wurde eine Fülle von Daten zum energetischen Verhalten der Niedrigenergiehäuser, des Wärmenetzes und der Heizzentrale gewonnen, die für die Planung von zukünftigen Projekten hilfreich sein können [Loga et al. 1996].

In der vorliegenden Studie sollen repräsentative Tagesgänge entwickelt werden, die eine rechnerische Ermittlung der Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs ermöglichen. Ziel ist die gewinnung eines flexiblen Verfahrens zur realistischen Auslegung von Blockheizkraftwerken für Wohnsiedlungen. Das Verfahren soll so einfach sein, daß es mit Tabellenkalkulationsprogrammen zu bewältigen ist.

## 2 Auswertung der Messungen

Es wurde für das Jahr 1994 der stündliche Zählerwert am Wärmemengenzähler und parallel dazu am Volumenzählwerk des Wärmezählers sowie die Vor- und Rücklauftemperatur in der Heizzentrale registriert. Aus der rechnerisch ermittelten Wärmemenge über stündlich gemessene Durchflußmengen und Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf und dem Meßwert des Wärmezählers wurden stündliche Mittelwerte gebildet, die der weiteren Verarbeitung zu Grunde liegen. Ausfälle der Meßwerterfassung wurden an insgesamt 1040 Stunden auf der Basis der vorliegenden, von Hand abgelesenen Zählerstände rechnerisch ergänzt.

Der Zeitpunkt der Meßwerterfassung zu jeder Stunde verschob sich bei jedem der insgesamt 11 Ausfälle des Jahres 1994 geringfügig, so daß am Ende zwei Messungen mehr durchgeführt wurden, als das Jahr Stunden hat. Diese Messungen am 23.02. und 29.06.1994 wurden korrigiert, so daß jeder Stunde des Jahres ein Wert zugeordnet werden konnte. Die Verschiebungen im Zeitpunkt der Messung innerhalb einer Stunde blieben unberücksichtigt.

Eine Korrektur des Einflusses der Sommerzeit wurde nicht durchgeführt.

## 2.1 Gemessene Jahresdauerlinien der Wärmelast

Nachfolgende Abbildung zeigt die geordneten stündlichen Meßwerte des Jahres. Das maximale Stundenmittel der Wärmeleistungen lag bei 271 kW.

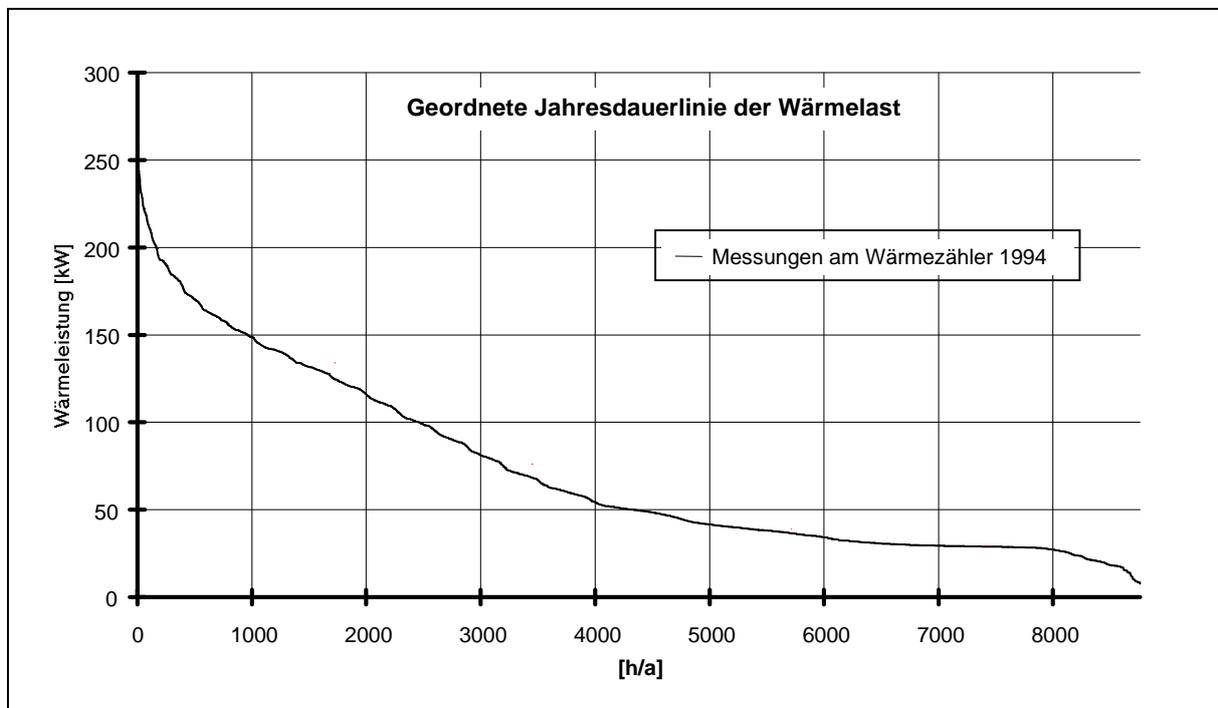


Abb. 1: Gemessene Jahresdauerlinien der Wärmelast 1993/94

## 2.2 Auswertung von Klimadaten

Es wurde auch die Solarstrahlung aus verschiedenen Richtungen erfaßt und die Außenlufttemperatur gemessen.

Zur Einstufung des Wetters in Niedernhausen 1994 in die Kategorien "heiter", "bewölkt" und "trübe", wurde die in Niedernhausen gemessene Globalstrahlung mit der in DIN 4710 angegebenen monatlichen Globalstrahlung für wolkenlose Großstadtatmosphäre (Tabelle 7.1b) verglichen. Ein Tag in Niedernhausen wurde als "heiter" definiert, wenn die Globalstrahlung vor Ort mindestens 80% des in der DIN angegebenen Wertes aufwies. Bei einer Globalstrahlung kleiner 40% des DIN-Wertes wurde der Tag als "trübe" festgelegt. Alle anderen Tage gelten entsprechend als bewölkt.

Monatsdaten für das in Niedernhausen gemessene Klima 1994				
	mittlere Außenlufttemperatur (°C)	mittlere Globalstrahl. horizontal (kWh/m²)	Anzahl Tage heiter	Anzahl Tage trüb
Jan	3,02	0,46	1	23
Feb	1,18	1,11	0	15
Mar	7,06	1,78	2	18
Apr	8,40	2,88	0	13
Mai	14,15	3,79	2	12
Jun	18,77	4,88	4	3
Jul	23,78	4,84	5	3
Aug	21,24	3,63	7	6
Sep	14,07	2,01	0	11
Okt	8,86	1,54	9	12
Nov	8,88	0,48	2	21
Dez	2,91	0,37	0	19

Tab. 1: Klimadaten für Niedernhausen 1994

Für einen Vergleich mit den Tagesgängen der Wärmelast (s.u.) wurden die mittleren monatlichen Tagesgänge der Außentemperatur gebildet.

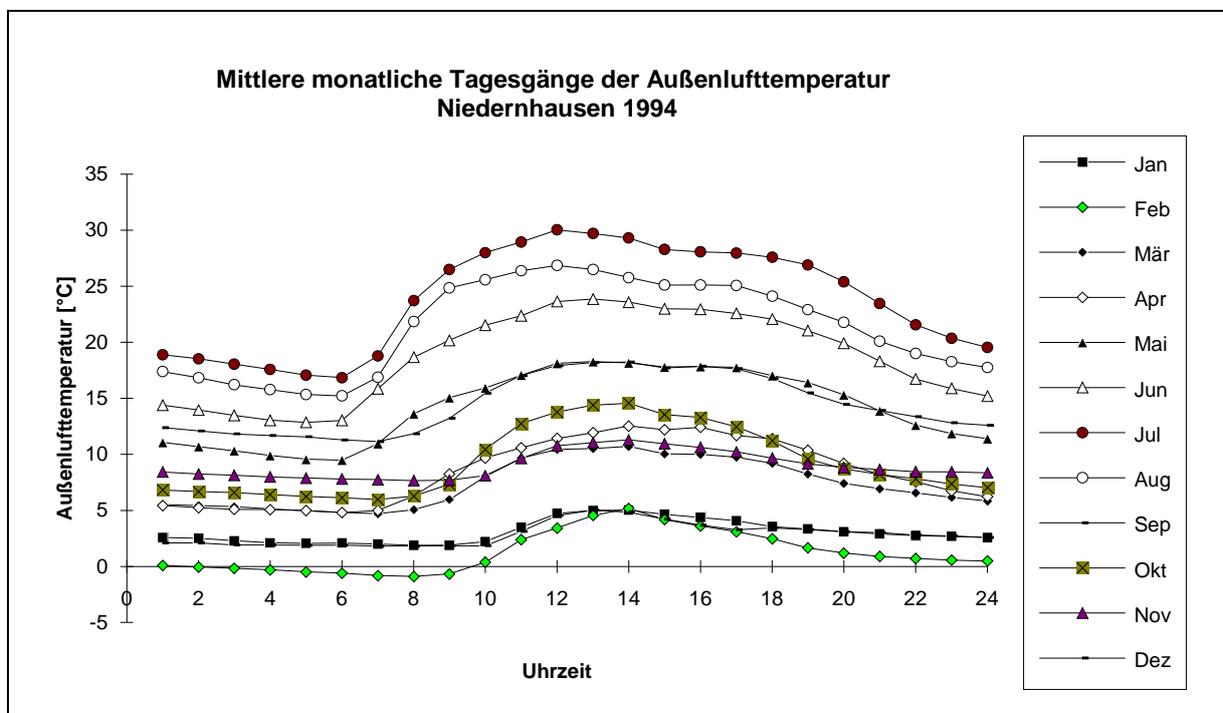


Abb. 2: Monatliche Tagesgänge der Außenlufttemperatur in Niedernhausen 1994

Die Jahresdauerlinie der Außentemperatur wurde aus diesen Tagesgängen ermittelt und ist im nächsten Diagramm dargestellt.

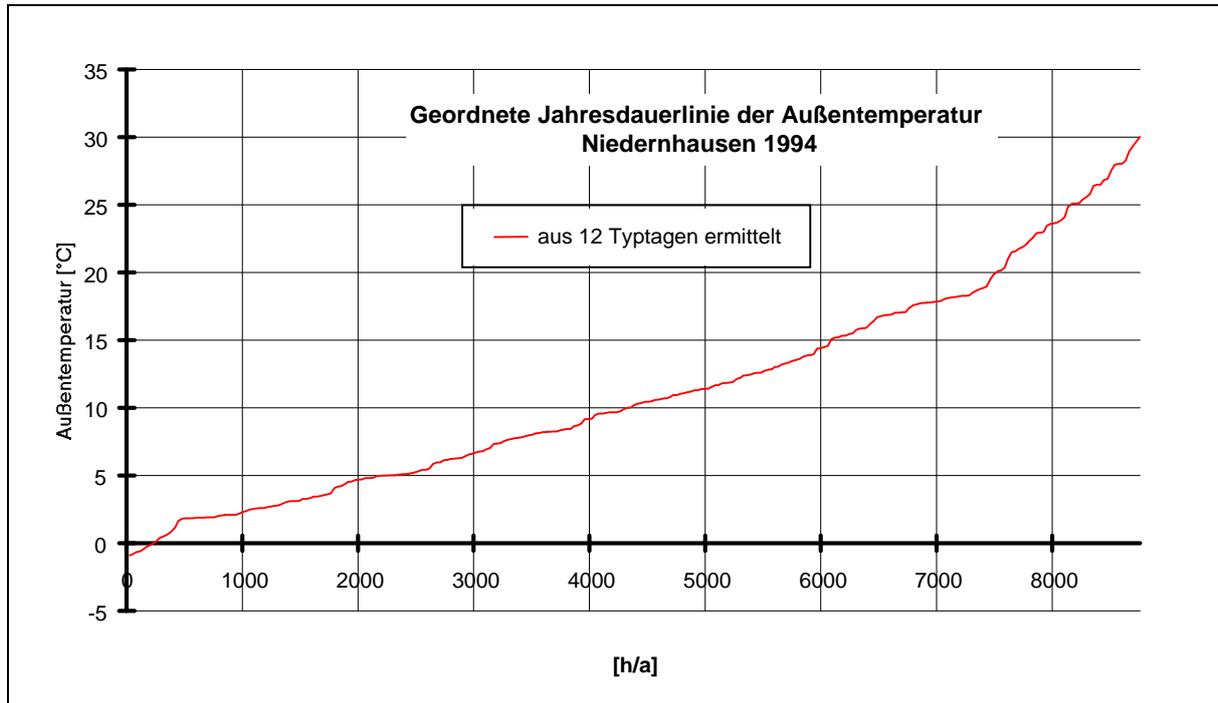


Abb. 3: Jahresdauerlinie der Außentemperatur in Niedernhausen 1994

## 2.3 Messungen in den Häusern

Um die Verbrauchsanteile für Raumwärme, Warmwasserbereitung, Bereitschaftsverluste der Haustechnik und die Verluste des Nahwärmenetzes ermitteln zu können, wurde neben dem Gesamtwärmebezug der einzelnen Häuser auch der Warmwasserverbrauch stundenweise gemessen. Der Gesamtwärmebezug wurde mit Wärmehäusern erfasst, der Wärmeverbrauch zur Warmwasserbereitung wurde über Wasserzähler (am Kaltwasserzulauf Speicher, bzw. Durchlauferhitzer) und die Warmwassertemperatur rechnerisch ermittelt.

Die Wärmeverluste der Haustechnik (Wärmeübergabestation, Speicher, Speicherladekreis, Zirkulationsleitung) sind aus der Differenz zwischen dem am Wärmemengenzähler abgelesenen gesamten Wärmeverbrauch und aus dem am Wasserzähler abgelesenen Warmwasserverbrauch in den Sommermonaten bestimmt worden (vgl. [Loga/Müller/Menje 1996]).

Der Raumwärmebedarf ergibt sich in der Heizzeit aus den am Wärmehäusern gemessenen Werten, abzüglich des Warmwasserverbrauchs und der Haustechnikverluste.

Zur Berechnung der Tagesgänge des Raumwärmebedarfs und der Haustechnikverluste wurden die monatlichen Summen der Haustechnikverluste prozentual zur stündlichen Wärmelast verteilt.

Beim Warmwasserverbrauch ergeben sich Ungenauigkeiten durch das verwendete Meßsystem und die installierte Anlagentechnik. In Niedernhausen werden sowohl konventionelle Warmwasserspeicher als auch Plattenwärmetauscher im direkten System ohne Speicher eingesetzt. Gemessen wird aber immer nur während der Warmwasserzapfung, so daß beim Speichersystem der Wärmebezug aus dem Netz zeitlich nicht mit der Messung korrespondiert.

Die Netzverluste errechnen sich aus der Differenz der stündlichen Netzeinspeisung und der Summe der Entnahmen der Gebäude. Die stündlich errechneten Netzverluste weisen, vor allem in der Anheizphase zwischen 6.00 und 8.00 Uhr, manchmal auch negative Werte auf. Dies ist auf die Speicherfähigkeit des Wärmenetzes zurückzuführen.

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Kapitel 3.4. dargestellt.

### 3 Nachbildung der Jahresdauerlinie mit verschiedenen Verfahren

#### 3.1 Nutzung der VDI-Typtage und des VDI-Zeitrasters (Verfahren 1)

Es wurde zunächst untersucht, ob die Rechenvorschrift der VDI 2067, Blatt 7, als bereits vorhandenes Verfahren zu einem verlässlichen Ergebnis führt.

Die VDI-Richtlinie bietet 5 Tagesgänge der Wärmelast als Typtage für Wohngebiete mit etwa 100 bis 400 Wohneinheiten (Raumheizung und Warmwasser) an. Winter und Übergangszeit werden jeweils nach "heiterem" und "trübem" Wetter unterschieden, für die Sommerzeit ist ein Typtag vorgesehen.

Das Zeitraster der VDI 2067 bestimmt als Winter die Zeit von Oktober bis Februar, die Übergangszeit besteht aus den Monaten März bis Mai und September und der Sommer enthält die Monate Juni bis August.

Unter der Annahme, daß ein Planer auf diese Tagesgänge zurückgreifen würde, wenn er ein Neubaugebiet plant, wurden diese Typtage zur Generierung der Jahresdauerlinie benutzt. Der voraussichtliche Jahresverbrauch an Wärme für ein Neubaugebiet kann mit gängigen Methoden gut vorausgerechnet werden, so daß weiter unterstellt wurde, ihn zur Normierung der Typtage zu verwenden.

Die Häufigkeit der einzelnen Typtage wurde dabei der DIN 4710, Tabelle 6, für Frankfurt entnommen.

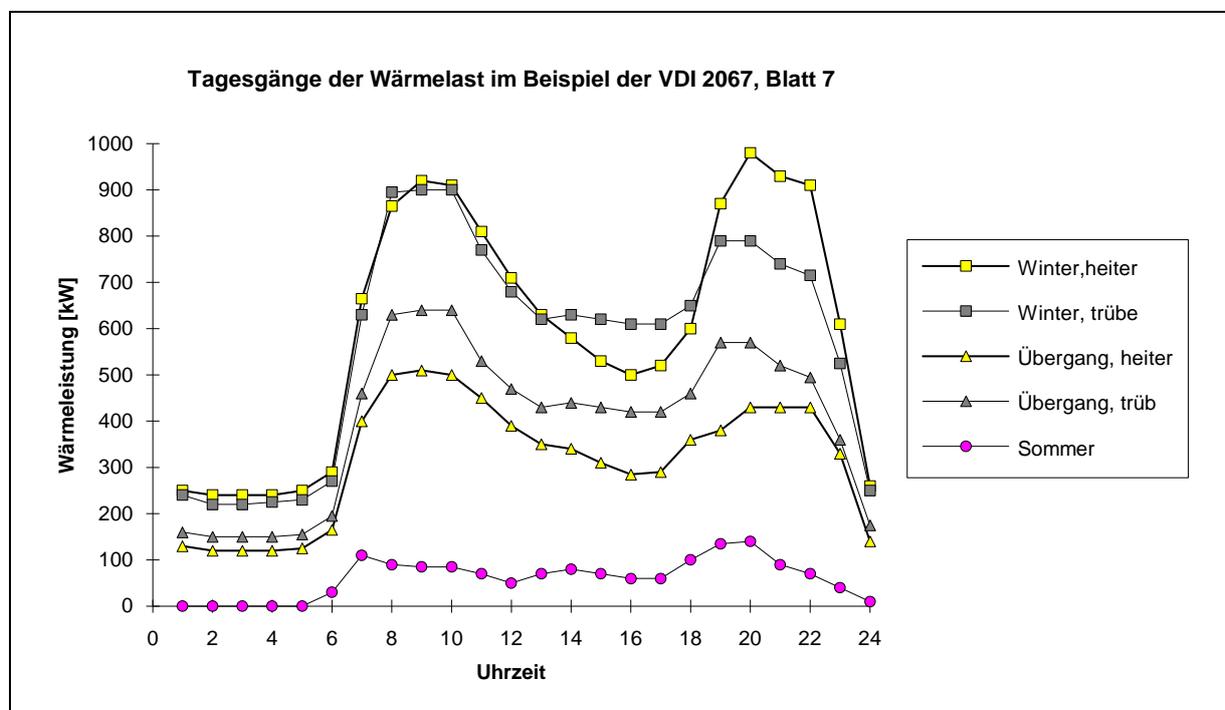


Abb. 4: Tagesgänge der Wärmelast der VDI 2067 Blatt 7

Häufigkeit heiterer, bewölkter und trüber Tage nach DIN 4710, Tab. 6								
	statist.	statist.	statist.	Sonn-/	Sonn-/Feiertage		Werktage	
	heiter	bewölkt	trübe	Feiertage	statist. heiter	statist. trüb	statist. heiter	statist. trüb
Jan	1,9	10,2	18,9	5	1,95	3,05	10,15	15,85
Feb	2,8	11,2	14	4	2,00	2,00	12,00	12,00
März	3,3	15,8	11,9	5	3,08	1,92	16,02	9,98
Apr	2,5	16,9	10,6	6	3,88	2,12	15,52	8,48
Mai	2,1	19,6	9,3	7	4,90	2,10	16,80	7,20
Jun	2	18,9	9,1	6	4,18	1,82	16,72	7,28
Jul	2,5	20,4	8,1	4	2,95	1,05	19,95	7,05
Aug	2,4	19,3	9,3	4	2,80	1,20	18,90	8,10
Sep	4,2	17,7	8,1	5	3,65	1,35	18,25	6,75
Okt	3,6	14,5	12,9	4	2,34	1,66	15,76	11,24
Nov	1,6	10	18,4	6	2,32	3,68	9,28	14,72
Dez	1,4	9,2	20,4	7	2,39	4,61	8,21	15,79
	30,3	183,7	151	63	36,45	26,55	177,55	124,45

Tab. 2: Häufigkeit heiterer, bewölkter und trüber Tage nach DIN 4710, Tab. 6

Die aus diesen Typtagen mit der Häufigkeit nach DIN 4710 generierte Jahresdauerlinie hat nachfolgend dargestellten Verlauf. Zur Orientierung ist die gemessene Kurve mit dargestellt.

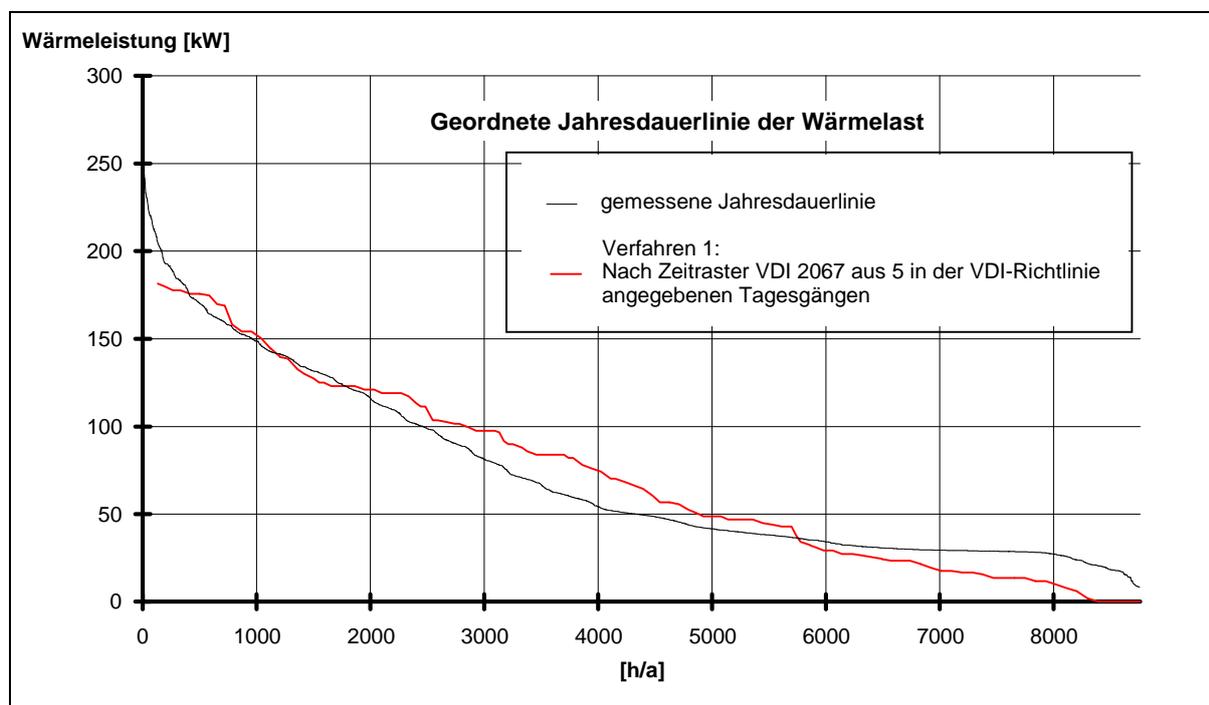


Abb. 5: Nach Verfahren 1 errechnete Jahresdauerlinie

Die Abweichungen der nach VDI 2067 ermittelten Jahresdauerlinie zur gemessenen ist erheblich und würde zu falschen Aussagen bezüglich einer BHKW-Auslegung führen.

Zu bedenken ist hier allerdings, daß die VDI die angegebenen Typtage lediglich als Beispiel aufführt und nicht zur Anwendung vorschreibt oder empfiehlt.

Auf Seite 9 heißt es dort: " Die Ermittlung der typischen Tagesganglinien ist mit äußerster Sorgfalt vorzunehmen. So ist z.B. für einen 'Winter-Werktag' diejenige Tagesganglinie als typisch anzusehen, die für die Gesamtzahl von 125 Winterwerktagen repräsentativ ist."

In den Fällen der Neuplanung bleibt es dem Planer überlassen, welche Typtage er ansetzt, und er wird aller Wahrscheinlichkeit nach auf die durch die VDI-Richtlinie "abgesicherten" Daten zurückgreifen, wenn er keine Simulationsprogramme zur Ermittlung von Ganglinien besitzt, oder keine vergleichbaren Objekte mit vorliegenden Meßergebnissen kennt.

### 3.2 Nutzung gemessener mittlerer Typtage im VDI-Zeitraster (Verfahren 2)

Im nächsten Schritt wurden im gleichen Zeitraster der VDI 2067 mittlere Typtage aus den gemessenen Tagesgängen gebildet.

Das Zeitraster Winter und Übergangszeit wurde nach heiteren und trüben Tagen, entsprechend der klimatischen Auswertung des Jahres 1994 in Niedernhausen, differenziert.

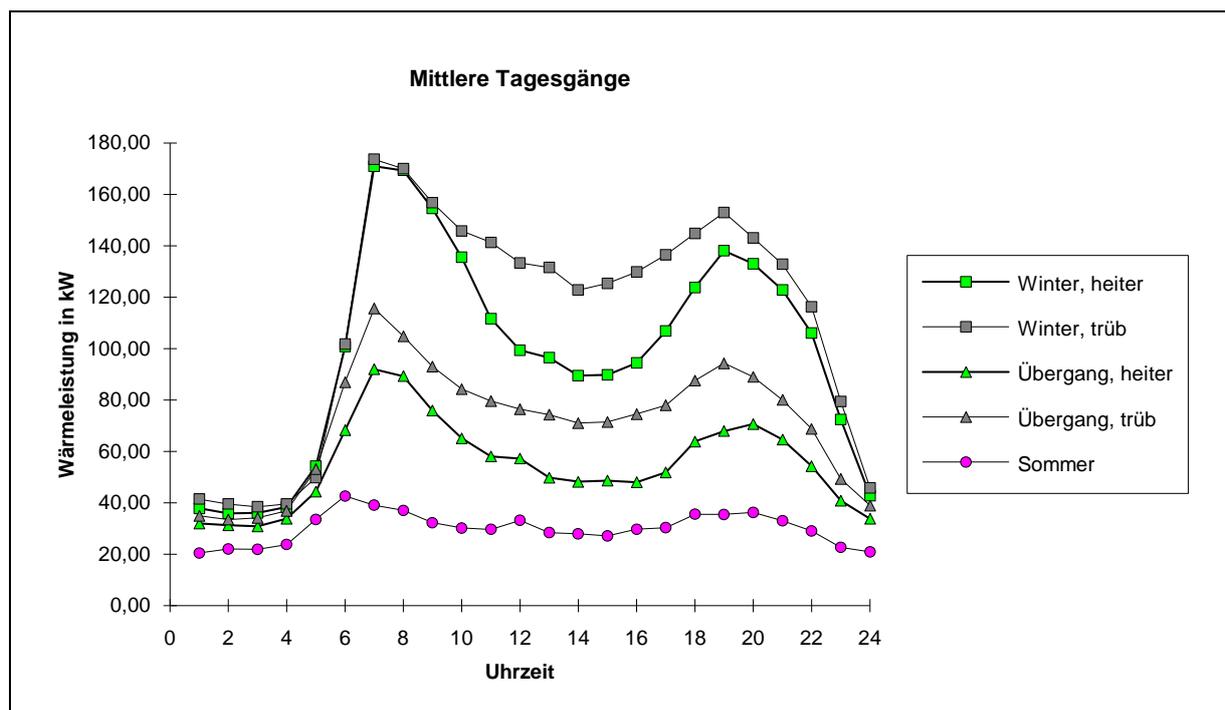


Abb. 6: Tagesgänge der in Niedernhausen gemessenen Wärmelast (Zeitraster der VDI 2067)

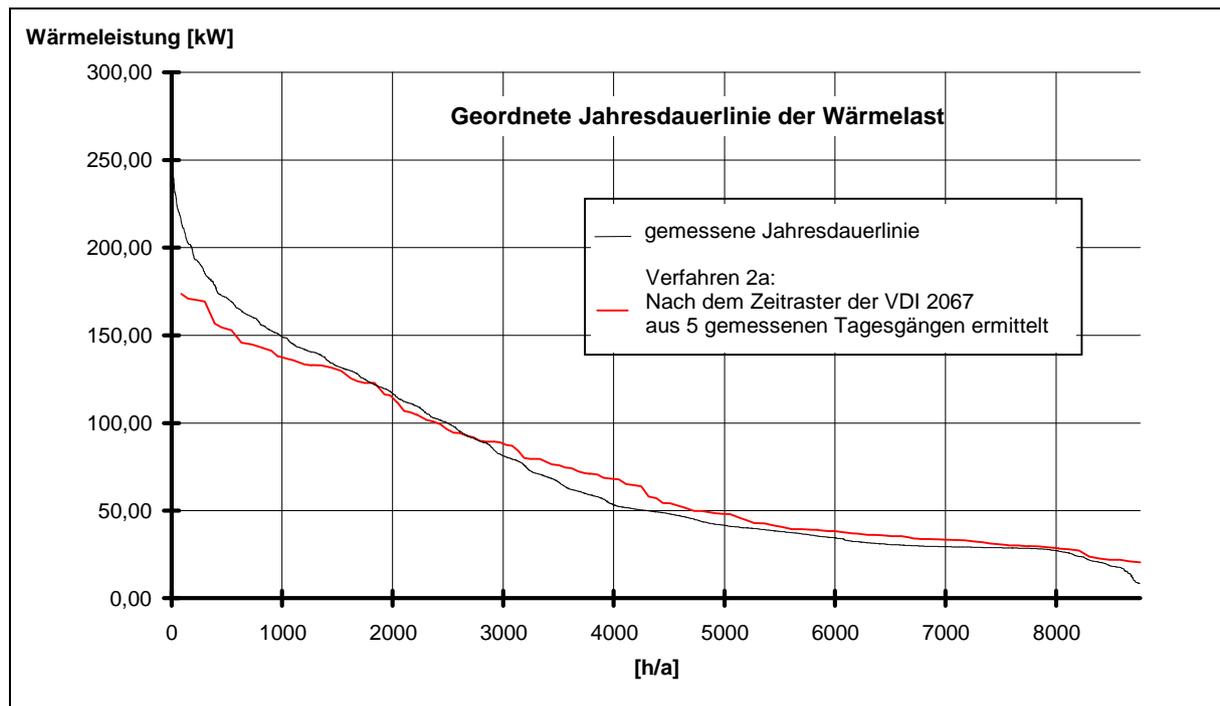


Abb. 7: Nach Verfahren 2a errechnete Jahresdauerlinie

In Verbindung mit der Häufigkeit der Typtage ergibt sich die Jahresdauerlinie in Abb. 7.

Die Annäherung an die gemessene Jahresdauerlinie ist im Bereich kleiner Leistungen besser als im ersten Fall. Ursache ist in erster Linie der deutlich unterschiedliche Tagesgang im Sommer (vgl. Abb. 4 mit Abb. 6).

Eine Verfeinerung des Zeitrasters in Werktagen und Wochenende, wie es die VDI 2067 vorsieht, führt mit sonst gleicher Vorgehensweise zu folgenden mittleren Tagesgängen (Abb. 8).

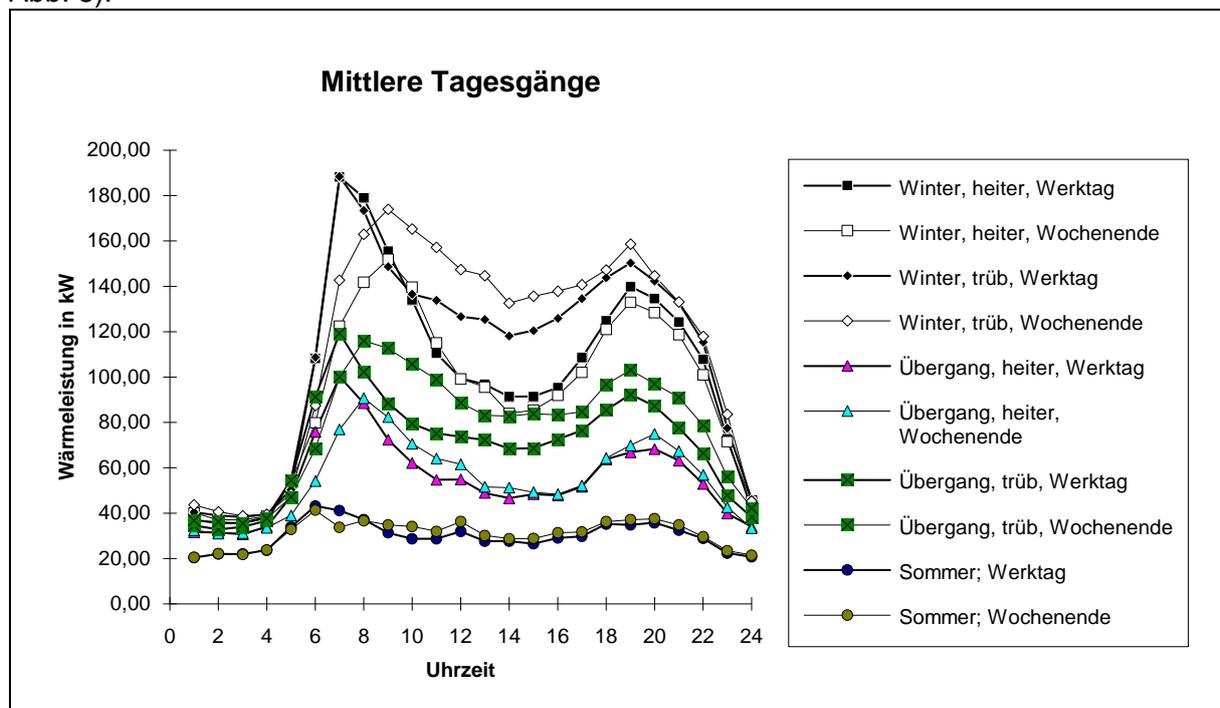


Abb. 8: Gemessene Tagesgänge der Wärmelast (Zeitraster der VDI 2067, differenziert nach Wochentag und Wochenende

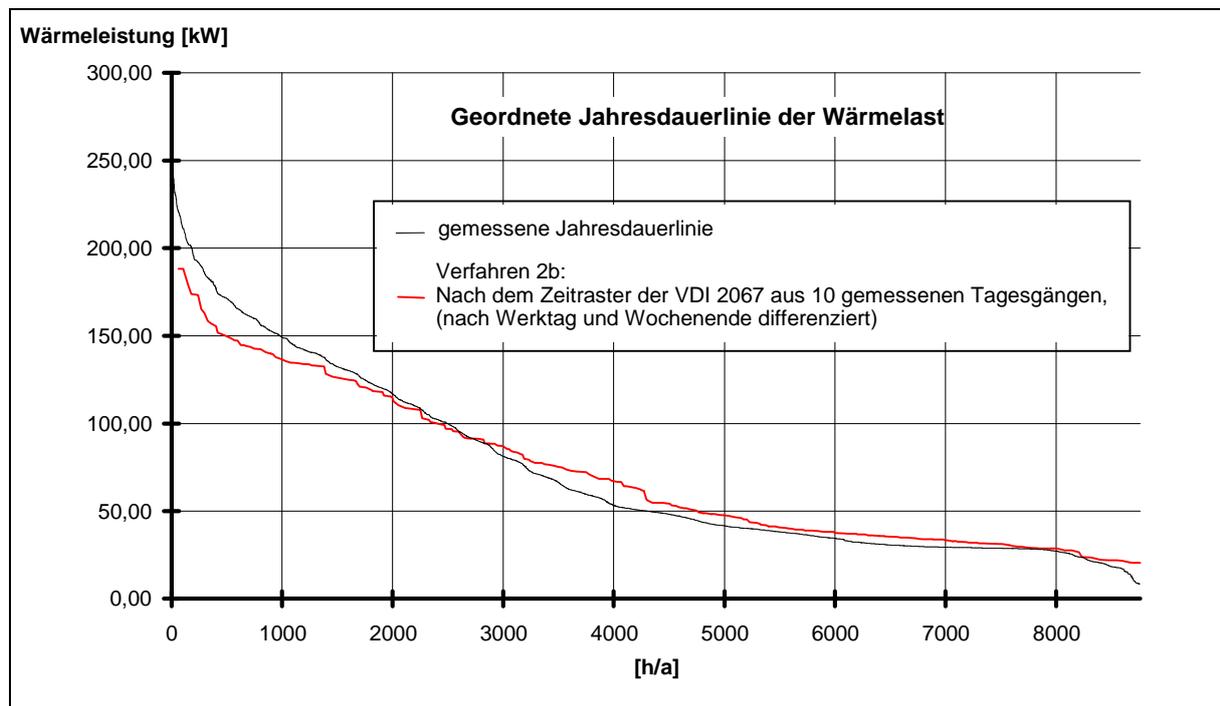


Abb. 9: Nach Verfahren 2b errechnete Jahresdauerlinie

Die aus den Tagesgängen in

Abb. 8 generierte Jahresdauerlinie (Abb.9) weist kaum eine bessere Annäherung an die gemessene Kurve auf, als mit nur 5 Typtagen.

### 3.3 Nutzung gemessener Typtage im monatlichen Zeitraster (Verfahren 3)

Nachdem auch mit meßtechnisch ermittelten Tagesgängen im Zeitraster der VDI sich noch deutliche Abweichungen ergeben, wurde eine monatliche Zeiteinteilung gewählt.

Das Ergebnis der monatlichen Mittelwertbildung ist nachfolgend dargestellt (Abb. 10). Es zeigt sich eine auffällige Gruppierung von monatsmittleren Tagesgängen, wobei die Wintermonate Dezember bis Februar sehr eng zusammenliegen. Dann folgen März und November, sowie April und Oktober mit jeweils fast gleichem Verlauf. Die wärmeren Monate Mai bis September liegen wiederum in einem schmalen Band im Grundlastbereich zusammen. Die Gruppierung der Winter- und Übergangsmonate ist eine zufällige Erscheinung des Meßjahres 1994.

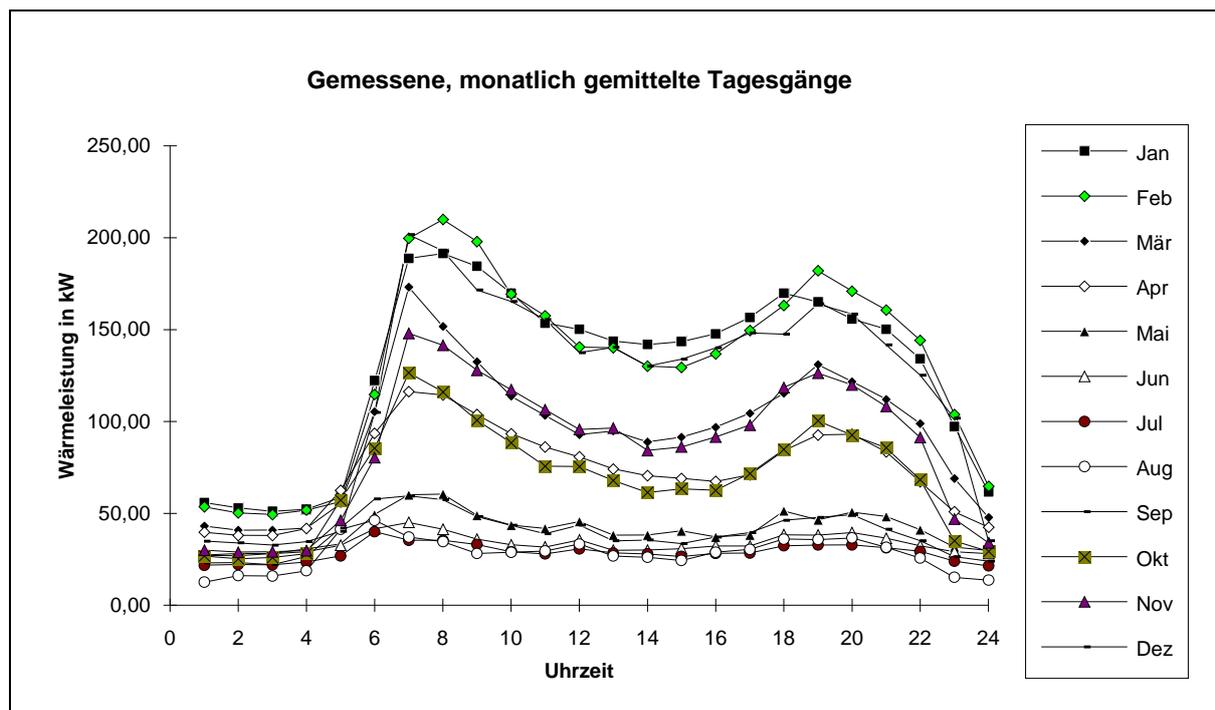


Abb. 10: Monatliche gemessene Tagesgänge der Wärmelast

Eine Zusammenfassung von annähernd gleichen monatlichen Tagesgängen würde hier zu einem ganz anderen Ergebnis kommen, als es im Zeitraster der VDI 2067 festgelegt ist. Daraus lässt sich auch die geringe Annäherung der nach VDI-Zeiteinteilung gebildeten Jahresdauerlinie an die reale Kurve erklären.

Mit den monatlichen Tagesgängen lässt sich die nachfolgend dargestellte Jahresdauerlinie entwickeln (Abb. 11). Die gemessene Laststruktur wird rechnerisch dadurch gut nachgebildet.

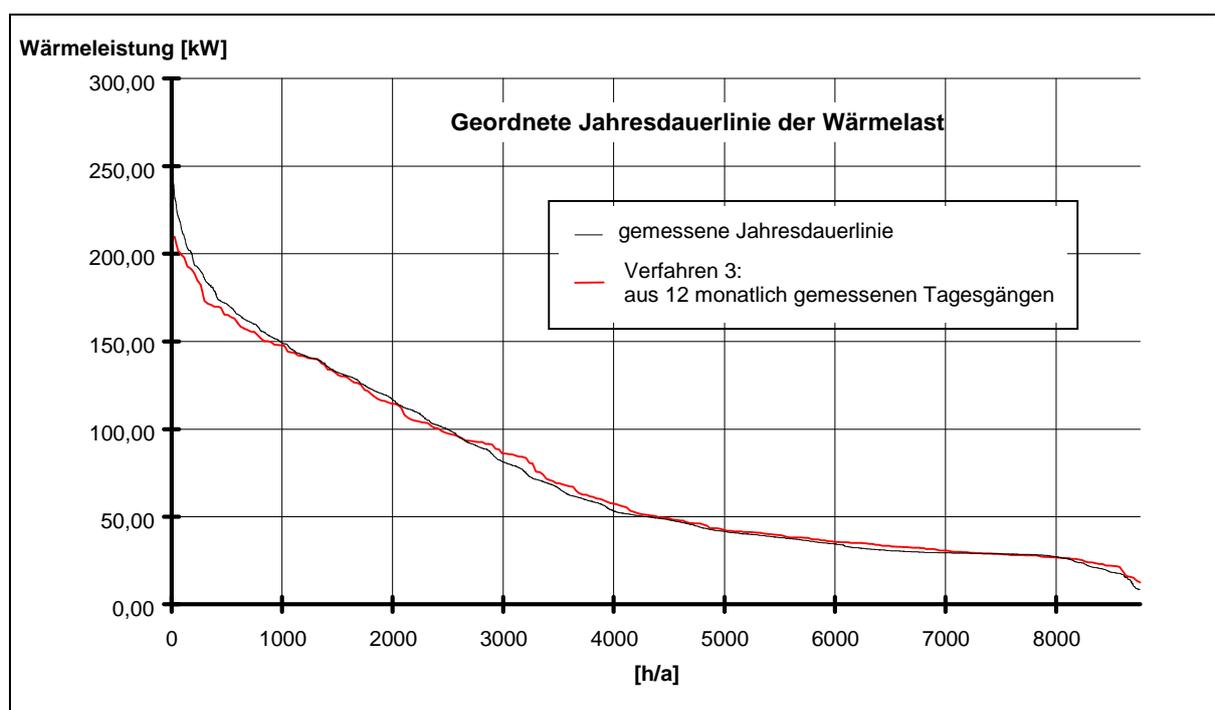


Abb. 11: Nach Verfahren 3 errechnete Jahresdauerlinie

### 3.4 Differenzierung nach Monaten und Verbrauchsanteilen mit 2 Typtagen (Verfahren 4)

Nach einer guten Annäherung an die reale Jahresdauerlinie mit mittleren monatlichen Tagesgängen ist die Frage der Übertragbarkeit auf andere Objekte zu lösen.

Verschiedene Objekte (Gebäude, Gebäudegruppen, Bäder... etc.) können je nach Wärmedämmstandard, Technik und Nutzung sehr unterschiedliche Laststrukturen haben.

Der Ansatz der nachfolgenden Betrachtungen ist daher, den Gesamtverbrauch in Verbrauchsanteile zu zerlegen, diese in bezogene Größen zu wandeln und dadurch zu einer an das jeweilige Objekt angepassten Berechnung zu kommen. Vorstellbar ist, witterungsabhängige Verbrauchsanteile (Raumheizung) von eher zeitabhängigen Verbrauchsanteilen (Warmwasser) getrennt zu bilanzieren und dann monatlich zu einem gemeinsamen Tagesgang zusammenzufügen.

Eine monatliche Bilanzierung wird im Falle bestehender Objekte durch die meist monatlich vorliegenden Verbrauchsabrechnungen eher erleichtert. Für die Berechnung von Neubausprojekten sind einfache Rechenverfahren ([LEG], [EN832]), sowie erschwingliche Rechenprogramme am Markt verfügbar, die monatliche Wärmebilanzen erstellen können.

Die Abbildungsgenauigkeit des monatlichen Wärmebedarfs durch ein stationäres Bilanzverfahren ist sehr gut. Abb. 12 zeigt für die Jahre 1993 bis 1995 den Vergleich zwischen den in Niedernhausen gemessenen und den nach [LEG] berechneten Monatswerten des Heizwärmebedarfs.

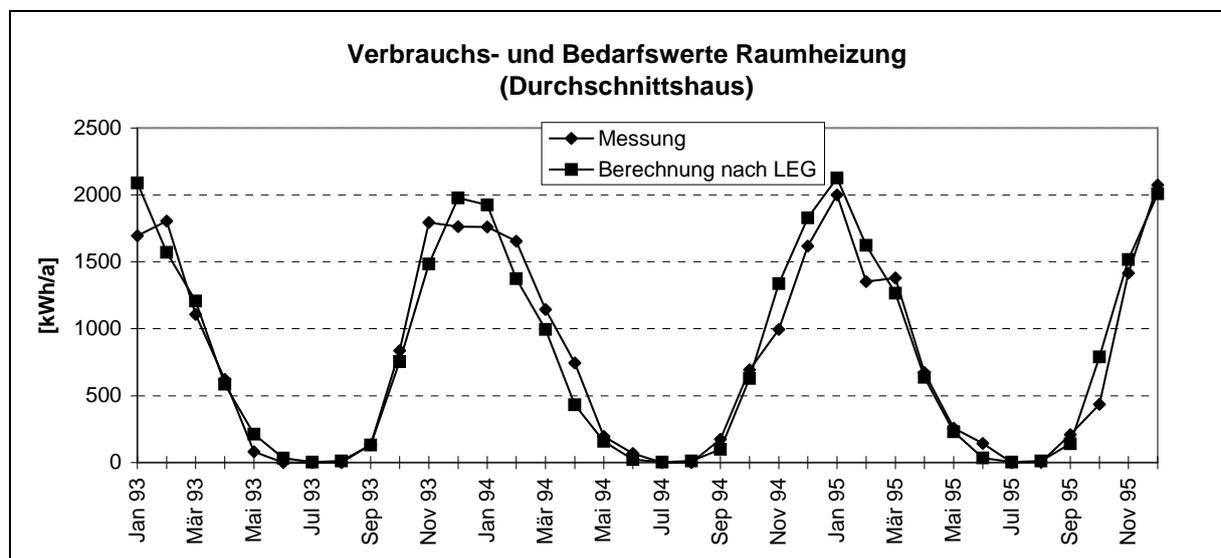


Abb. 12: Gemessene und errechnete Monatswerte der Raumheizung in Niedernhausen für die Jahre 1993 - 95

Daher wurden die Messungen wie in Kapitel 2.3 beschrieben, aufbereitet und im monatlichen Zeitraster analysiert.

Nachfolgend wird gezeigt, daß zwei bezogene Tagesgänge (Raumwärme und Warmwasser) ausreichen, um eine Jahresdauerlinie mit guter Näherung zu rekonstruieren.

### 3.4.1 Raumheizung

Die Tagesgänge der Raumheizung verlaufen in ihrer Struktur ähnlich wie die der Netzeinspeisung (Abb. 13). Auch hier ist die Gruppierung deutlich erkennbar

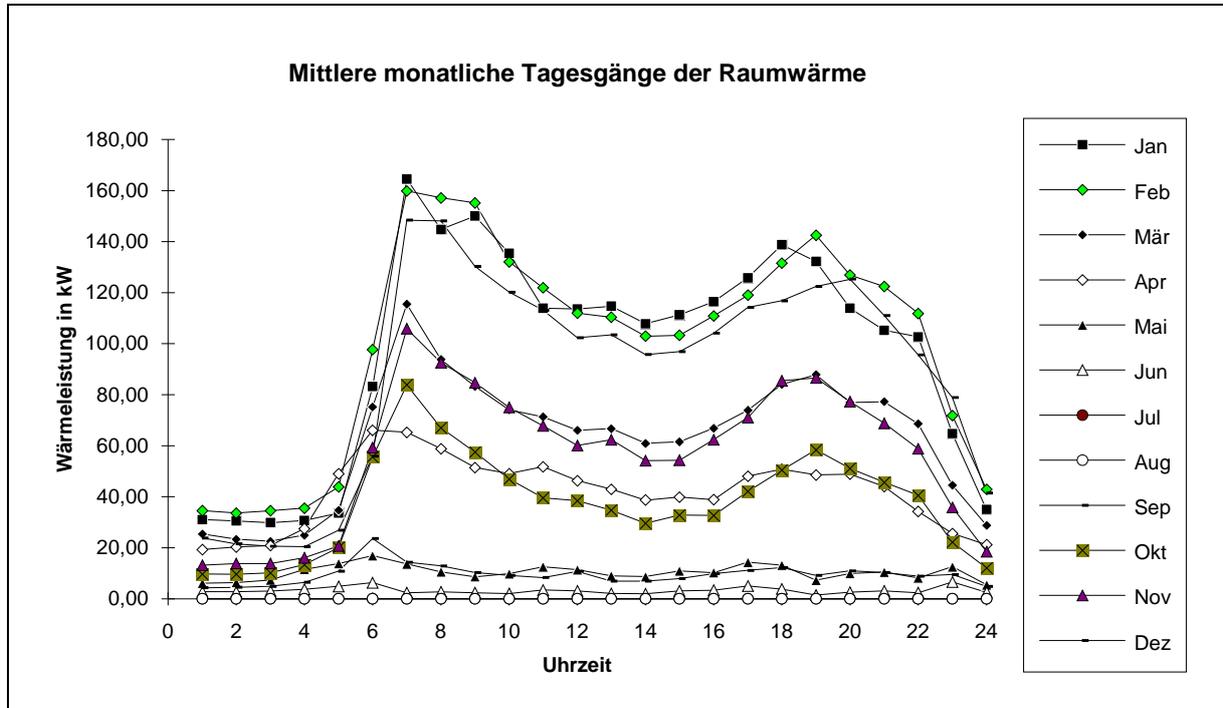


Abb. 13: Monatliche Tagesgänge der Raumheizung

Ergänzend wurden die mittleren monatlichen Tagesgänge für Werktage und Wochenende getrennt ermittelt (nicht dargestellt).

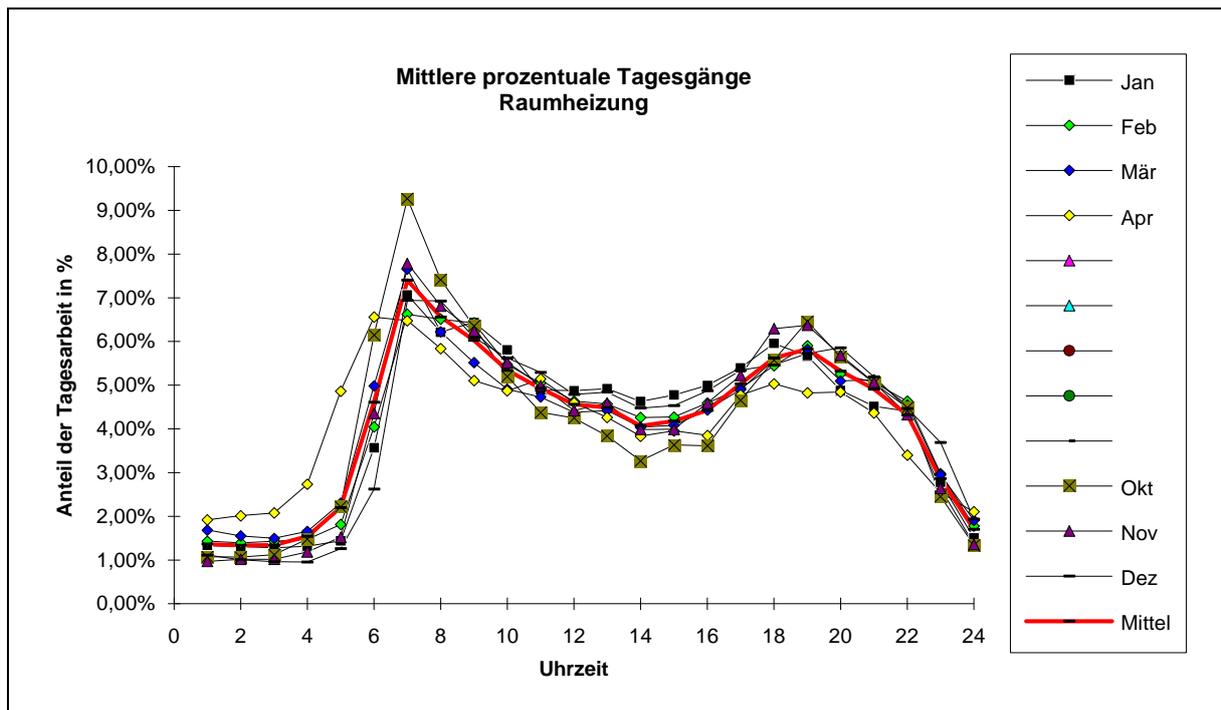


Abb. 14: Prozentuale Tagesgänge der Raumheizung

Da die Tagesgänge der Raumheizung einen prinzipiell ähnlichen Verlauf aufweisen, wurde in der vorstehenden prozentualen Darstellung ihre Übereinstimmung überprüft (Abb. 14). Die aufgetragenen Wintermonate liegen sehr eng zusammen. Die Monate in der Übergangszeit und im Sommer streuen aufgrund des geringen Raumwärmebedarfs sehr stark und wurden aus der Betrachtung herausgelassen. Der Mittelwert aus den Tagesgängen ist ebenfalls dargestellt und bildet später die Grundlage für die Konstruktion der Jahresdauerlinie.

### 3.4.2 Warmwasser

Der Warmwasserverbrauch wurde aus den stündlichen Meßwerten des Warmwasserzählers und der Brauchwassertemperatur errechnet. Die monatsmittleren Tagesgänge sind nachfolgend dargestellt (Abb. 15). Die Verschiebung der beiden Maxima um ca. 1 Stunde wird durch die Umstellung zwischen Winter- und Sommerzeit verursacht.

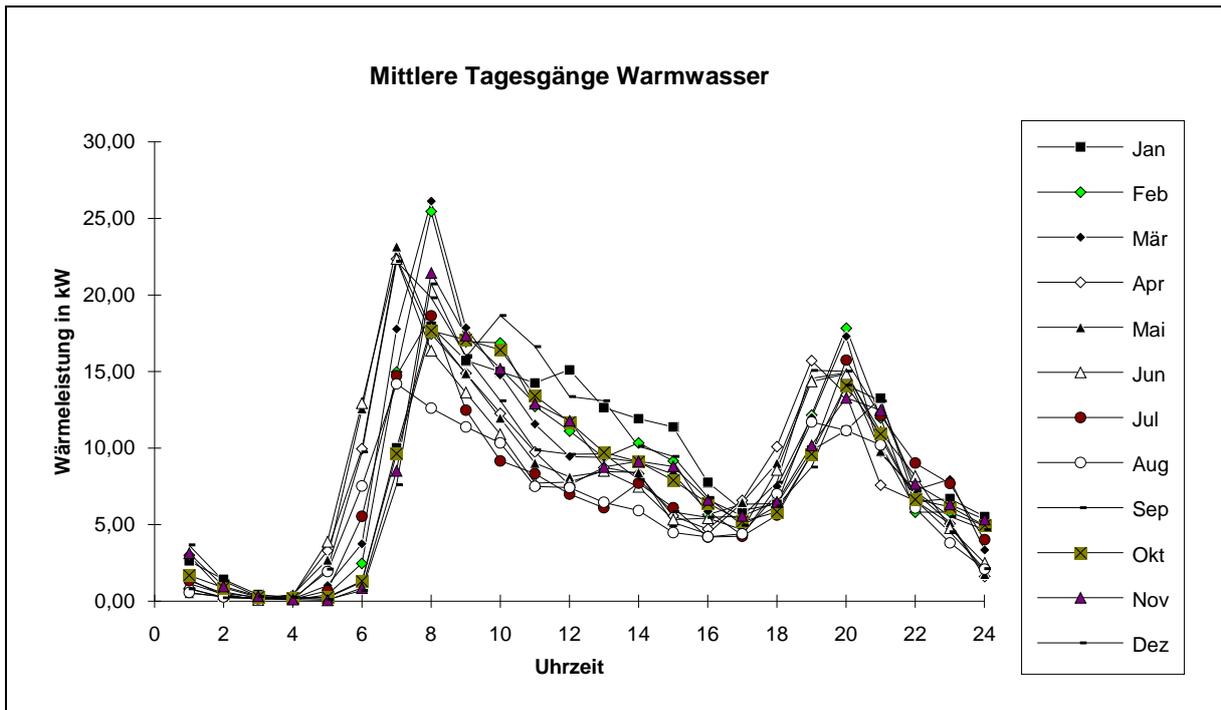


Abb. 15: Tagesgänge des Warmwasserverbrauchs

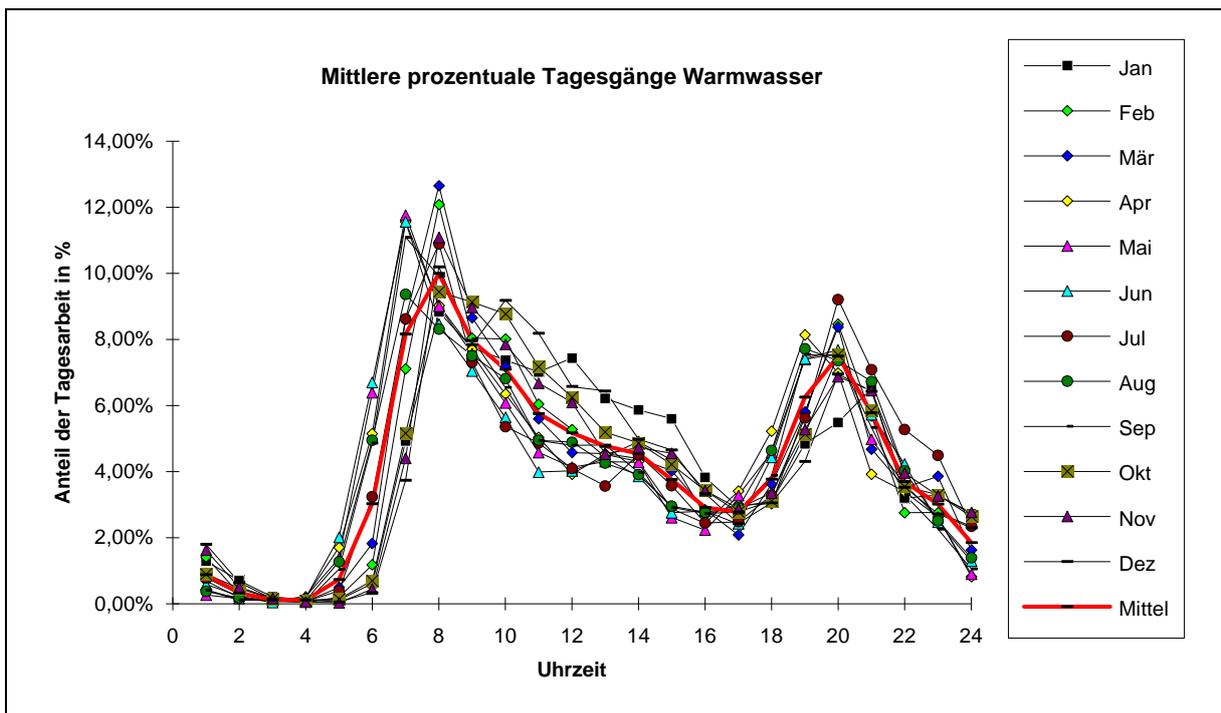


Abb. 16: Prozentuale Tagesgänge des Warmwasserverbrauchs

Auch hier wurden die prozentualen Tagesgänge gebildet, die etwa denselben Verlauf aufweisen, wie die absoluten Tagesgänge (Abb. 16).

Der Mittelwert ist in der Kurvenschar eingezeichnet und bildet den zweiten Tagesgang zur Konstruktion der Jahresdauerlinie.

### 3.4.3 Haustechnik- und Netzverluste

Haustechnik- und Netzverluste wurden in der Konstruktion der Jahresdauerlinie konstant angenommen, was in erster Näherung zutrifft.

Die in nachfolgendem Diagramm dargestellten mittleren Tagesgänge der Netzverluste zeigen einen im Mittel etwa konstanten Verlauf (Abb. 17). In der Aufheizphase zwischen 5.00 und 8.00 Uhr sind größere Unregelmäßigkeiten zu beobachten, die auf Speichervorgänge und Dynamik im Netz hindeuten. Der deutliche Wärmeabzug aus dem Netz gegen 22.00 Uhr ist vermutlich auf die Nachtabsenkung der Kessel zurückzuführen.

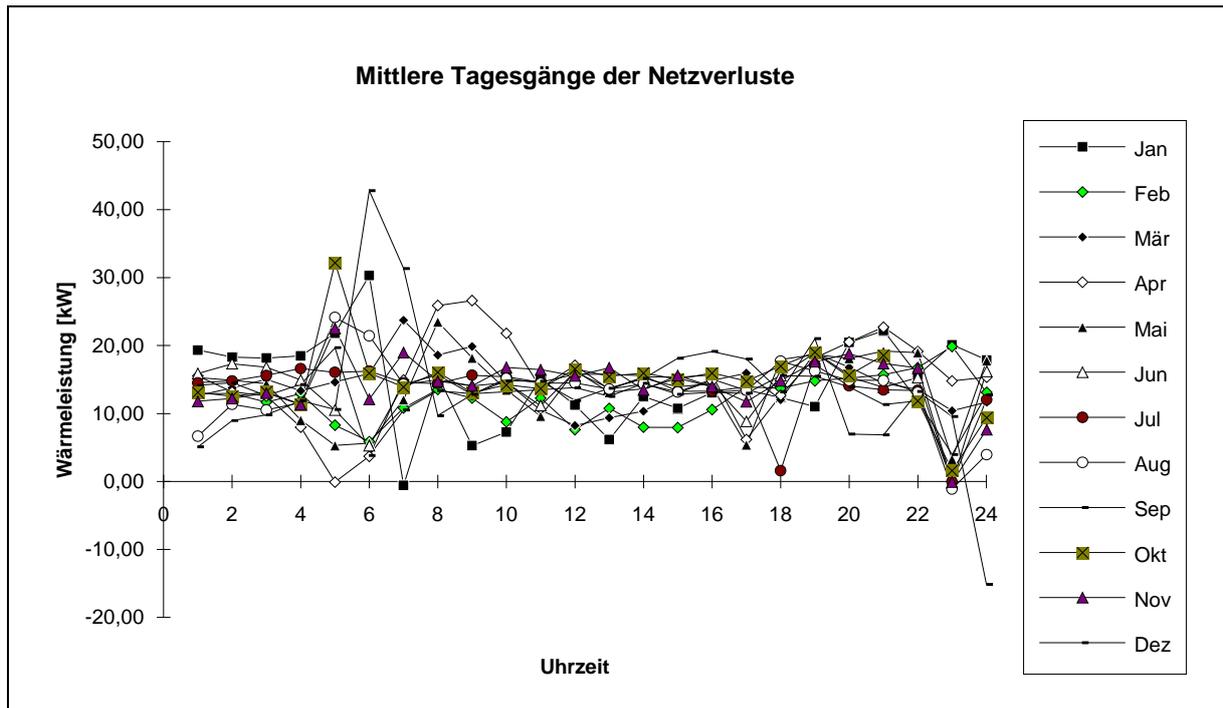


Abb. 17: Tagesgänge der Netzverluste

Die Mittelwerte der in den vorhergehenden Diagrammen dargestellten prozentualen Tagesgänge sind im nächsten Diagramm zusammengefaßt (Abb. 18, Daten in Tab. 3).

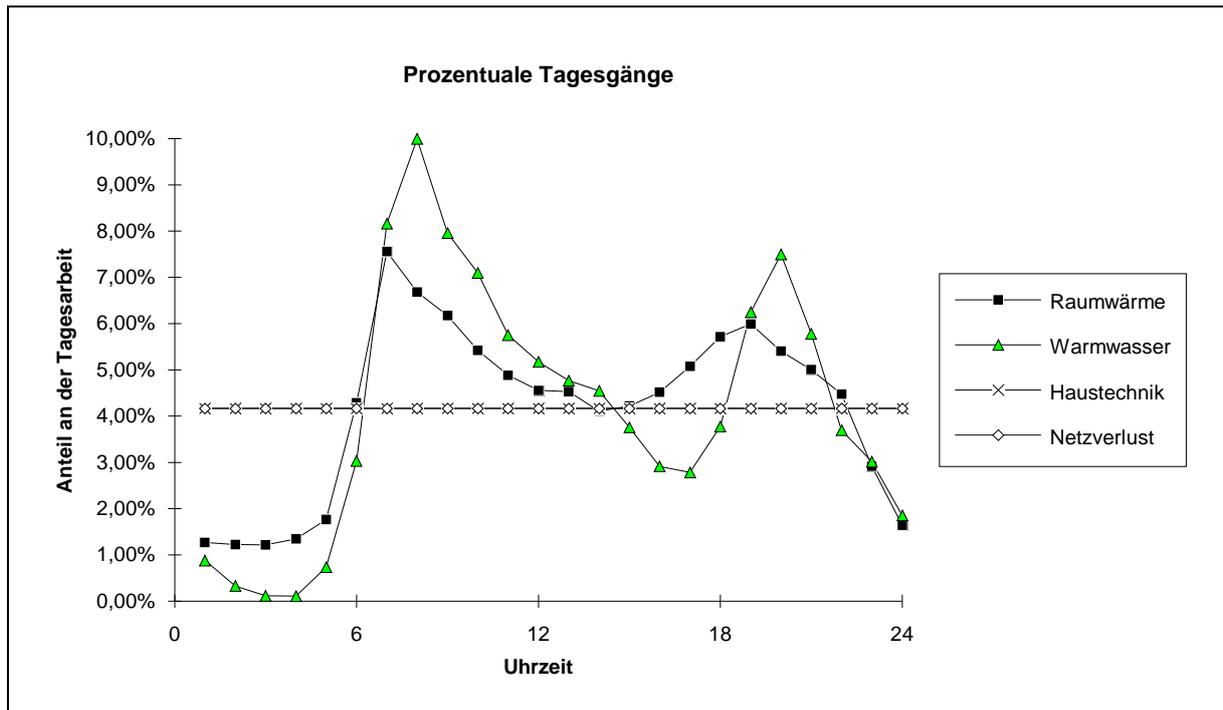


Abb. 18: Durchschnittliche prozentuale Tagesgänge für Raumwärme und Warmwasser

Prozentuale Tagesgänge		
Stunde	Raumheizung	Warmwasser
1	1,27%	0,88%
2	1,22%	0,33%
3	1,22%	0,12%
4	1,35%	0,11%
5	1,76%	0,74%
6	4,29%	3,03%
7	7,56%	8,16%
8	6,68%	9,99%
9	6,18%	7,96%
10	5,42%	7,10%
11	4,89%	5,76%
12	4,56%	5,17%
13	4,53%	4,77%
14	4,11%	4,55%
15	4,22%	3,76%
16	4,52%	2,91%
17	5,08%	2,78%
18	5,72%	3,78%
19	5,99%	6,25%
20	5,41%	7,50%
21	5,00%	5,78%
22	4,48%	3,69%
23	2,92%	3,01%
24	1,64%	1,85%

Tab. 3: Durchschnittliche prozentuale Tagesgänge für Raumwärme und Warmwasser

Mit diesen prozentualen Laststrukturen wurden die monatlichen Tagesgänge auf die in der Monatsbilanz der Verbrauchsanteile angegebenen Monatsverbräuche normiert und zu einem Tagesgang pro Monat zusammengefaßt.

<b>Monatsbilanz der Verbrauchsanteile, Niedernhausen 1994</b>						
<b>Monat</b>	<b>Tage/ Monat</b>	<b>Raum- heizung (MWh)</b>	<b>Warm- wasser (MWh)</b>	<b>Haus- technik (MWh)</b>	<b>Verteil- netz (MWh)</b>	<b>Summe pro Tag (kWh/d)</b>
Jan	31	72,21	6,34	6,54	11,04	3101
Feb	28	67,84	5,89	5,91	8,13	3135
Mär	31	46,92	6,44	6,54	10,61	2275
Apr	30	30,56	5,81	6,33	10,88	1786
Mai	31	8,02	6,13	6,54	10,32	1000
Jun	30	2,76	5,77	6,26	9,81	820
Jul	31	0,00	5,27	6,48	10,16	707
Aug	31	0,00	4,71	6,50	10,00	684
Sep	30	7,15	5,97	6,04	9,22	946
Okt	31	28,37	5,84	6,39	11,04	1666
Nov	30	40,79	5,85	5,64	10,32	2087
Dez	31	66,35	6,29	6,43	10,06	2875
Summe	365	370,96	70,31	75,62	121,59	21082

Tab. 4: Monatliche Verbrauchsanteile Raumheizung, Warmwasser, Haustechnik- und Netzverluste

**Verfahren 4a:**

Die nachfolgend dargestellte Jahresdauerlinie wurde danach aus den 12 konstruierten monatlichen Typtagen gebildet (Abb. 19). Obwohl dieser Kurve im Prinzip nur zwei Tagesgangstrukturen zu Grunde liegen, nähert sie sich den gemessenen Werten besser an, als die Kurve mit 10 gemessenen mittleren Tagesgängen und der Zeiteinteilung nach VDI 2067. Grund ist die zusätzlich einfließende Information der monatlichen Verbrauchsstruktur.

Die noch verbleibenden Abweichungen ergeben sich vermutlich durch den konstanten Ansatz von Haustechnik- und Netzverlusten.

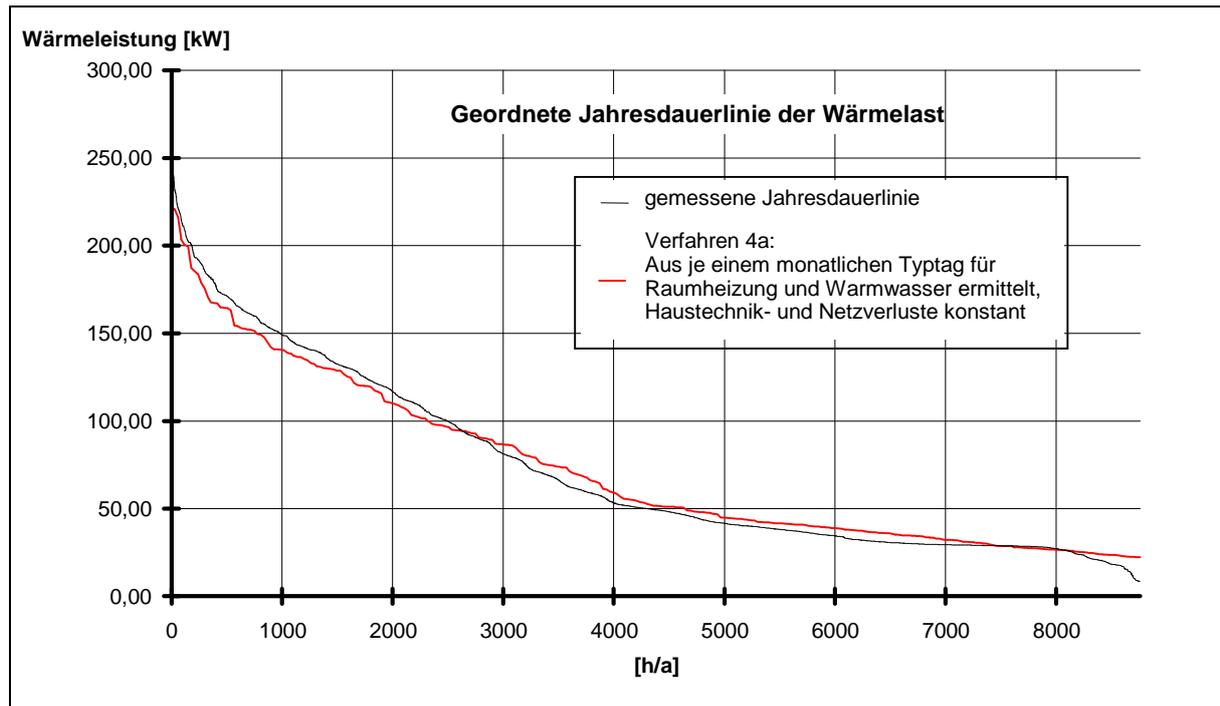


Abb. 19: Nach Verfahren 4a errechnete Jahresdauerlinie

### Verfahren 4b:

Werden die Haustechnikverluste nicht konstant, sondern prozentual nach dem Tagesgang der Gesamtwärmelast eingerechnet, nähert sich die konstruierte Jahresdauerlinie noch besser der Realität. (Abb. 20)

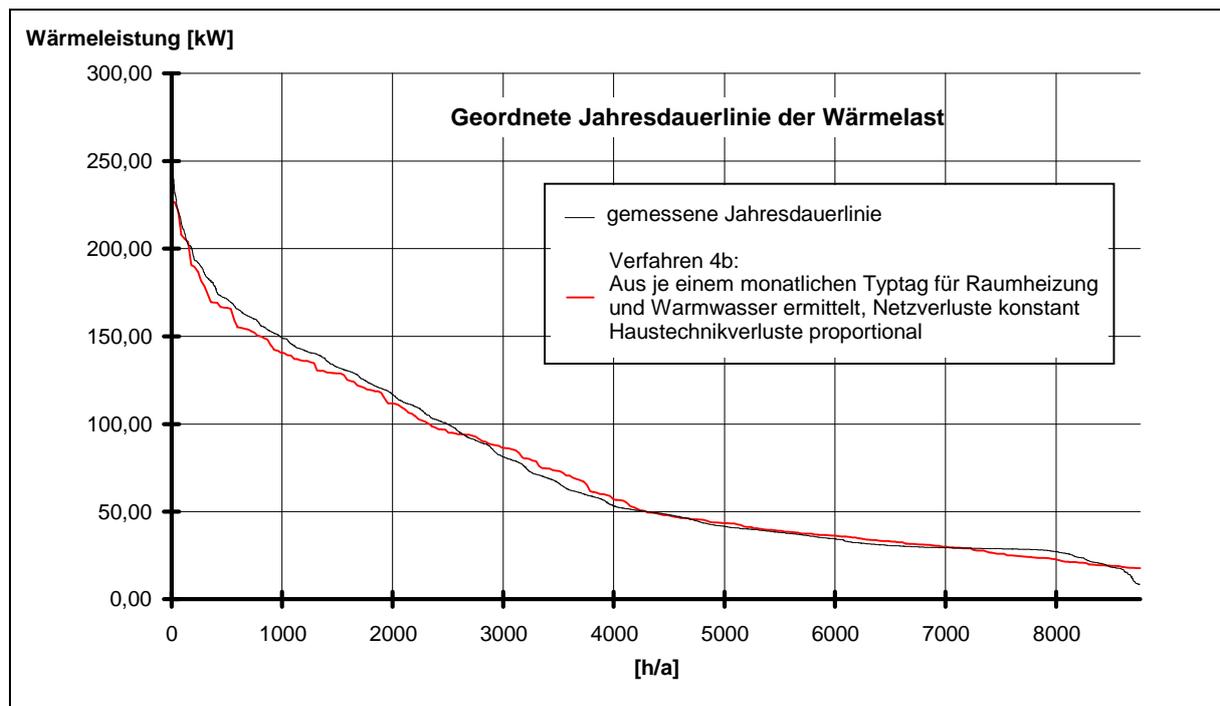


Abb. 20: Nach Verfahren 4b errechnete Jahresdauerlinie

### Verfahren 4c+d:

Um zu testen, welchen Einfluß die Wärmelaststruktur bei diesem Verfahren auf die Ermittlung der Jahresdauerlinie hat, wurden in den folgenden zwei Diagrammen die prozentualen Tagesgänge, die in der VDI 2067 als heiterer und trüber Wintertag angegeben sind, verwendet. (Abb. 21)

Gegenüber den vorhergehenden Berechnungen mit je einem aus Messungen gemittelten Tagesgang für Raumwärme und Warmwasser, liegt diesen Jahresdauerlinien nur eine einzige Wärmelaststruktur eines ähnlichen Objektes (VDI 2067, heiterer bzw. trüber Wintertag) zugrunde, nach der die mittleren monatlichen Lastgänge gebildet und (wie zuvor auch) auf die gemessenen Monatsverbräuche normiert wurden.

Die Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse ist erstaunlich gut. Den entscheidenden Einfluß hat scheinbar die Normierung auf die monatlichen Verbrauchswerte.

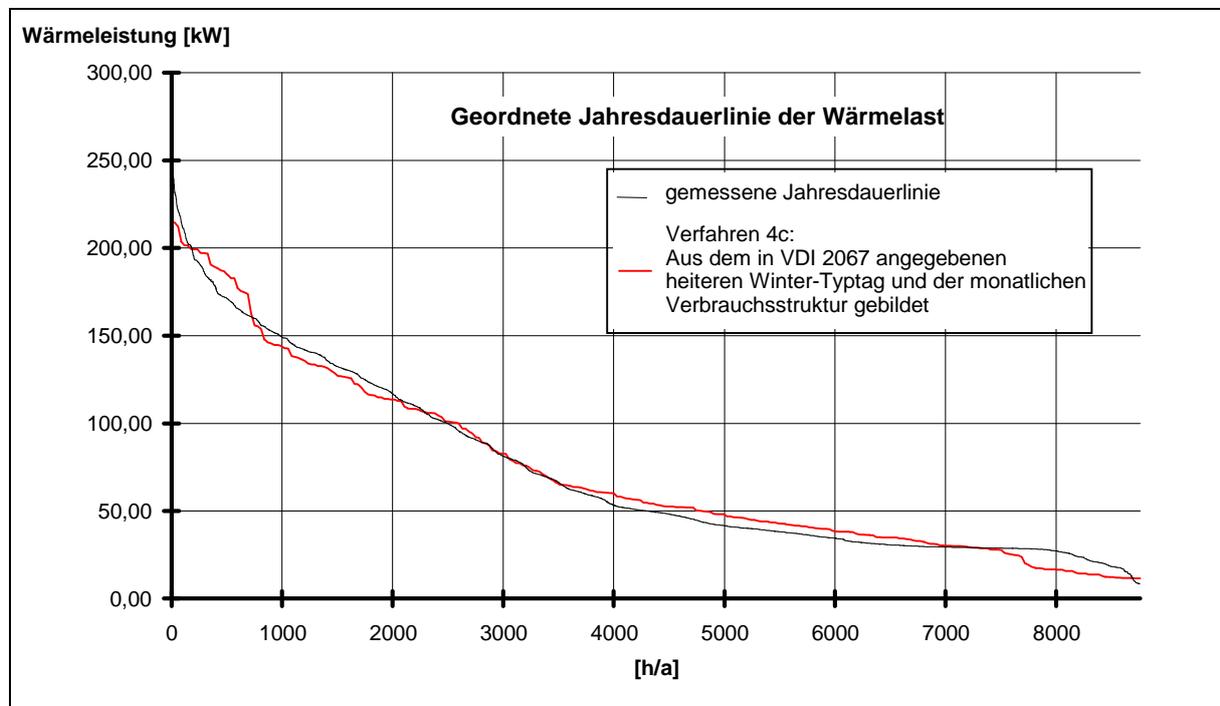


Abb. 21: Nach Verfahren 4c errechnete Jahresdauerlinie

Im nächsten Diagramm wurde ein zweiter Test mit dem in der VDI 2067 angegebenen Lastgang für einen trüben Wintertag durchgeführt (Abb. 22). Die Näherung ist vergleichbar gut.

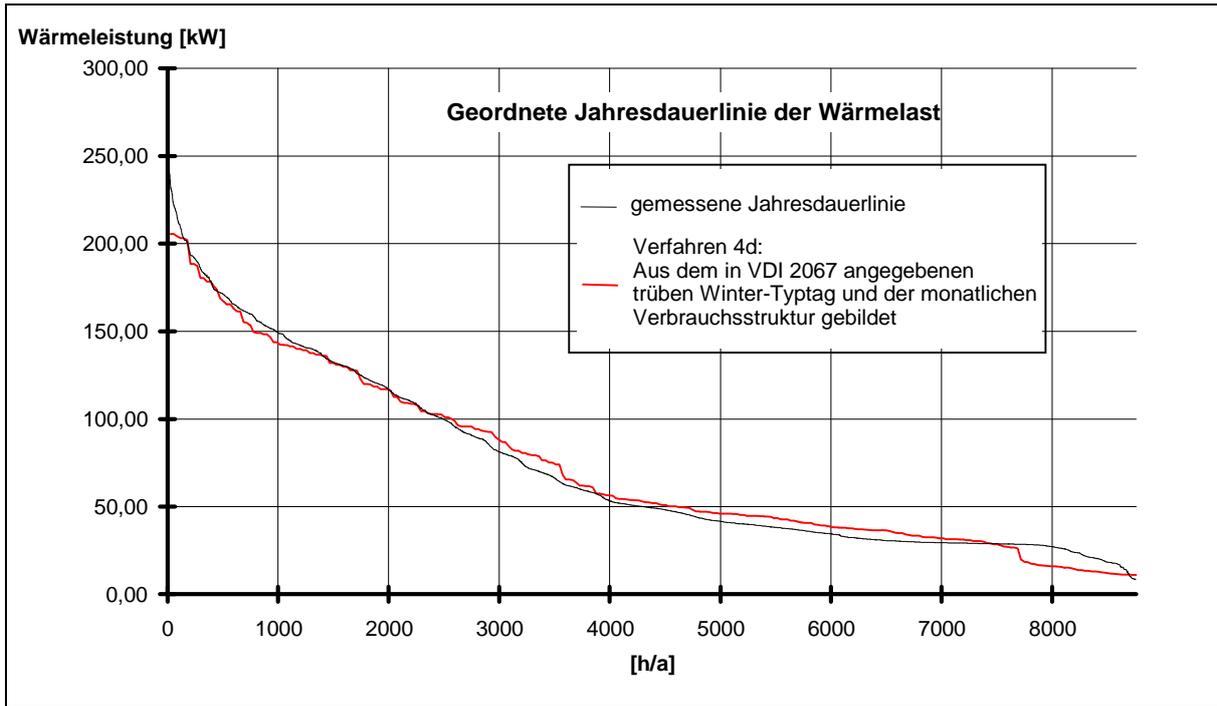


Abb. 22: Nach Verfahren 4d errechnete Jahresdauerlinie

## 4 Zusammenfassung

Die "Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in Niedernhausen ist die erste Siedlung Deutschlands, die komplett in Niedrigenergiebauweise errichtet wurde und durch ein Blockheizkraftwerk mit Wärme versorgt wird. Ein in den Jahren 1993 bis 1995 durchgeführtes umfangreiches Meßprogramm liefert Daten, die für die Planung von Folgeprojekten ähnlicher Konzeption genutzt werden können. In der vorliegenden Dokumentation werden aus den stündlichen Meßdaten des Jahres 1994 repräsentative Tagesgänge entwickelt, die eine rechnerische Bestimmung der Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs ermöglichen. Ziel ist die Gewinnung eines auf andere Siedlungsprojekte übertragbaren Verfahrens, das eine verlässliche Basis zur Auslegung von Blockheizkraftwerken darstellt.

Als Referenz für die Bewertung der Genauigkeit der verschiedenen Verfahrensansätze dient die direkt gemessene Jahresdauerlinie, die aus den in der Heizzentrale stündlich ermittelten Wärmemengen ermittelt wurde. Für die Konstruktion von Tagesganglinien wurden die Meßwerte der Wärmemengenzähler sowie Warmwasserzähler in den 41 Wohnhäusern ausgewertet. Daraus ergaben sich für jeden Monat mittlere Tagesganglinien für Raumheizung, Warmwasser sowie Wärmeverluste der Haustechnik und des Nahwärmenetzes. Auf der Basis unterschiedlich detaillierter Tagesganglinien wurde die Jahresdauerlinie rechnerisch konstruiert und mit der gemessenen Charakteristik verglichen:

- Zunächst wurde exakt nach dem Verfahren der VDI 2067, Blatt 7 mit den dort angegebenen fünf Beispiel-Tagesgängen (Winter: heiter/trüb, Übergangszeit: heiter/trüb, Sommer) die Jahresdauerlinie generiert (Verfahren 1) - die Übereinstimmung mit der direkt gemessenen ist jedoch gering.
- Im zweiten Schritt wurden die Tagesganglinien der VDI 2067 durch in Niedernhausen gemessene Tagesgänge der Wärmeerzeugung ersetzt (Verfahren 2). Das Zeitraster der VDI 2067 wurde beibehalten. Die Übereinstimmung verbesserte sich. Eine Differenzierung nach Wochentag/Wochenende brachte keine Verbesserung.
- Im Verfahren 3 wurde das Zeitraster der VDI-Richtlinie verlassen und monatlich ein Typtag aus den Meßwerten gebildet. Die Annäherung der konstruierten Dauerlinie an die gemessene war damit am größten.
- Die vierte Stufe sollte in einem qualitativen Ansatz die Übertragbarkeit auf andere Objekte verbessern. Dazu wurden die monatlichen Tagesganglinien nach den jeweiligen Verbrauchsanteilen (Raumheizung, Warmwasser, Wärmeverluste Haustechnik und Wärmenetz) aufgespalten und in Form prozentualer Lastgänge verallgemeinert. Da für die einzelnen Monate die relativen Lastgänge gut übereinstimmten, wurden sie zu einem einzigen (für das ganze Jahr geltenden) zusammengefaßt. Mit lediglich zwei relativen Lastgängen (Raumwärme und Warmwasser) wurden die monatlichen Typtage rechnerisch über die Normierung auf den monatlichen Verbrauch konstruiert (Verfahren 4). Die Übereinstimmung der damit erzeugten Jahresdauerlinie mit der direkt gemessenen ist sehr gut.
- Ein zusätzlicher Test, in dem im gleichen Verfahren eine Tagesganglinie aus dem Beispiel der VDI 2067 verwendet wurde, ergab immer noch eine akzeptable Näherung (Verfahren 4c, 4d). Den entscheidenden Einfluß auf die Genauigkeit hat folglich die monatliche Verbrauchsstruktur.

Der Vergleich verschiedener Verfahren zur Konstruktion einer Jahresdauerlinie erbrachte zusammengefaßt folgendes Ergebnis:

Das Zeitraster der VDI 2067, Blatt 7, das mehrere Monate zu einer Winter-, Übergangs- und Sommerzeit zusammenfaßt, ist für die Ermittlung von Jahresdauerlinien wenig geeignet. Wesentlich präzisere Aussagen ergeben sich durch den Übergang auf ein monatliches Verfahren, das gegenüber der Form der Tagesganglinie recht unempfindlich ist. Der Vorteil der monatlichen Berechnung liegt für bestehende Objekte darin, daß monatliche Verbrauchsdaten oft vorliegen, dafür aber keine Tagesganglinien bekannt sind. Im Falle der Neubauplanung liefern stationäre Bilanzverfahren ein hinreichend genaues monatliches Bedarfsprofil.

Für die Konstruktion von Jahresdauerlinien im Rahmen der Planung von Wohnsiedlungen steht damit ein verlässliches Verfahren zur Verfügung, das leicht in Form eines Tabellenkalkulationsblattes umgesetzt werden kann. Die wesentlichen Arbeitsschritte sind:

1. Der monatliche Heizwärmebedarf der Siedlung wird mittels der stationären Wärmebilanzverfahren "Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung" [LEG], der europäischen Norm [EN 832] (als Tabellenkalkulation) oder dem Programm STATBIL/ENBIL [ENBIL] bestimmt. Weiterhin werden die Wärmeverluste der Haustechnik und des Wärmenetzes auf der Basis der Leitungslängen und Wärmeverlustkoeffizienten berechnet.
2. Die im Rahmen dieser Studie ermittelten relativen Lastgänge für Raumwärme und Warmwasser werden für jeden Monat durch Normierung auf den monatlichen Bedarfswert in jeweils einen typischen Tagesgang überführt.
3. Auf der Basis der stündlichen Bedarfswerte der zwölf Typtage und der jeweiligen Anzahl von Tagen wird die Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs konstruiert, die die wärmeseitige Auslegung einer Heizkraftanlage ermöglicht.
4. Über die zwölf Tagesganglinien des Wärmebedarfs kann auf einfache Weise die Stromproduktion der gewählten Heizkraftanlage - nach Hoch- und Niedertarifzeiten differenziert - berechnet werden.

## Literatur

- [EN 832] **Europäische Norm EN 832:** Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs von Wohngebäuden; Brüssel 1994
- [ENBIL] Feist, W.: **Das vereinfachte Heizenergiebilanzprogramm STATBIL/ENBIL.** Vergleich der Ergebnisse des Programms mit Ergebnissen nach dem Netzwerkmodell von JULOTTA; IWU, Darmstadt 1989
- [LEG] **Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung;** Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten; Wiesbaden 1995
- [Loga et al. 1996] Loga, T.; Müller; K.; Menje, H.: **Die „Niedrigenergiesiedlung Distelweg“ in Niedernhausen: Auswertung der Meßdaten;** Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 1996 (in Vorbereitung)
- [Menje, Loga 1992] Menje, H.; Loga, T.: **Die "Niedrigenergiesiedlung Distelweg" in Niedernhausen - Projektdarstellung;** Institut Wohnen und Umwelt; Darmstadt 1992