

## **Wärmebedarfsdeckung aus geothermischer Energie im Betriebsjahr 1996**

*Kuno Schallenberg\* und Dr.-Ing. Heiner Menzel\*\**

\* *GeoForschungsZentrum Potsdam*

\*\* *Erdwärme Neustadt-Glewe GmbH*

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einleitung und Zielsetzung .....</b>	<b>18</b>
<b>2 Methodik.....</b>	<b>18</b>
<b>3 Klima.....</b>	<b>19</b>
<b>4 Wärmebedarf .....</b>	<b>21</b>
<b>5 Schlußfolgerungen .....</b>	<b>26</b>
<b>6 Literatur.....</b>	<b>27</b>

## Abstract

The operation data of heat supply are compared with the planning data of the geothermal heat plant Neustadt-Glewe. For this, a time resolution of the data must be more in the order of an hour than of a day. However, measurements are only made in the day resolution. Therefore, a method was developed to get information more detailed in time within the observed statistical boundary conditions. The calculations show, that for the demand in the operation year 1996 geothermal power installation contribute with 82 % to the heat supply. Based on such a high time resolved knowledge of demand, recommendations can be given for plant size optimisation.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Zur Darstellung der Betriebsergebnisse der Geothermischen Heizentrale (GHZ) in Neustadt-Glewe werden die in der GHZ erfaßten Meßdaten des Jahres 1996 herangezogen. Die Anlagenspezifika dieses Systems und technisch bedingte Ausfälle über größere Zeiträume sind im Bericht *Die geothermische Heizentrale in Neustadt-Glewe im Betriebsjahr 1996* hier: *Ausfallzeiten* in diesem Band wiedergegeben. Der vorliegende Text befaßt sich mit den Außentemperaturdaten, dem Wärmebedarf, der Wärmebereitstellung aus geothermischer und konventioneller Energie (vergleiche Abbildung 4-1 des Berichtes *Das geothermische Heizwerk in Neustadt-Glewe im Betriebsjahr 1996*).

Die vorliegende Arbeit dient dem Zweck, die konkreten Betriebsergebnisse des ersten vollständigen Betriebsjahres dem im Rahmen der Planung prognostizierten Verhalten des geothermischen Anlagenteils gegenüberzustellen. Dazu wird mit Hilfe der erfaßten Außentemperaturdaten und der Literatur [[Klimadaten der DDR, 1987](#)] zunächst festgestellt, daß das Jahr 1996 keine signifikante Abweichung vom „Durchschnittsjahr“ hatte. Die Meßdaten der Leistung beider Wärmebereitstellungssysteme werden zu einer geordneten Jahresganglinie zusammengefaßt. Es wird versucht, auf Basis der tageweise dokumentierten Meßwerte eine Hochrechnung auf Stundenwerte zu erstellen. Deren Auftragung liefert bessere Übereinstimmung mit bekannten Ganglinien. Hierdurch wird ein Vergleich der tatsächlichen Wärmelieferung und deren Prognose aus der Planungsphase möglich.

Weiterhin soll durch Vorgabe der aus dem ersten Betriebsjahr abgeleiteten Randbedingungen des Anlagenbetriebes eine Bewertung der mathematischen Kalkulation des Fernwärmenetzes [[Schallenberg, 1998](#)] als eine bestimmende Größe für den technischen und wirtschaftlichen Erfolg in der Planungsphase einer GHZ durchgeführt werden. Dieser Vergleich zeigt, daß sich das mathematische Modell dann validieren läßt, wenn die gegenübergestellten Meßwerte eine ausreichende zeitliche Detaillierung aufweisen.

## 2 Methodik

Durch Vergleich der gemessenen Temperaturdaten mit langjährig gemittelten Werten [[Klimadaten der DDR, 1987](#)] wird abgeleitet, ob im Jahresverlauf ungewöhnliche Belastungen aufgrund dieses Einflußfaktors auftraten.

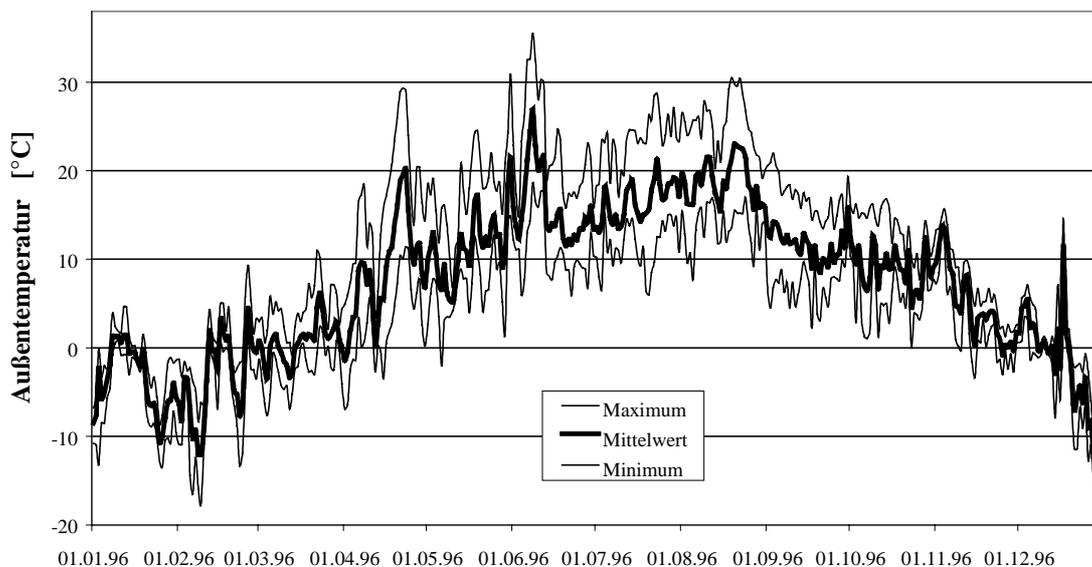
Die ausgewerteten Meßprotokolle für jeden Tag enthalten lediglich einen minimalen, einen mittleren und einen maximalen Zahlenwert. Im Gegensatz hierzu werden geordnete Ganglinien in der Regel auf Basis von Stundenwerten erstellt. Die Darstellung des Jahresgangs des Wärmebedarfes mit Hilfe der Mittelwerte führt zu einer ungewöhnlich flachen Kurve. Dies ist darin begründet, daß durch die Mittelwertbildung sowohl hohe als auch niedrige Extremwerte beseitigt werden. Durch Umrechnung der für jeden Tag gemessenen drei Werte soll eine verbesserte Datenlage erreicht werden. Die Protokolle bieten keine Angaben zu Standardabweichungen der Mittelwerte, so daß ein einfaches und zugleich ungenaues Verfahren der Aufteilung gewählt werden mußte.

Die aus den Meßwerten erstellte, geordnete Jahresganglinie des Wärmebedarfes wird mit Hilfe einer mathematischen Kalkulation auf der Basis bestimmter Eckwerte aus dem Betriebsjahr 1996 verglichen. Das mathematische Modell zur Ganglinienbestimmung in Anlehnung an *Sochinsky* [Zscherning, 1994] hat seine Eignung für die Beschreibung des Fernwärmenetzes in *Lemgo, Nordrhein-Westfalen* im Vergleich zu Meßdaten des Jahres 1994 nachgewiesen [siehe hierzu Schallenberg, 1996].

Die Kennzahlen zur Bestimmung der Emissionswerte werden für das Betriebsjahr 1996 mit der GEMIS-Studie in der Version 2.1 [GEMIS, 1995] festgelegt. Unterschiede zur prognostizierten Emission werden diskutiert.

### 3 Klima

Die Mitschrift der Betriebsergebnisse der geothermischen Heizzentrale Neustadt-Glewe beinhaltet die Dokumentation der Außentemperatur. Sie ist, genauso wie alle anderen Werte dieser Mitschrift, als minimaler, mittlerer und maximaler Tageswert festgehalten. Die gemessenen Außentemperaturen mit chronologischer Zuordnung sind der [Abbildung 3-1](#) zu entnehmen. Hierin sind die Ganglinien der Minimal-, der Mittel- und Maximalwerte wiedergegeben. Die Abbildung ist von offensichtlichen Meßfehlern bereinigt.



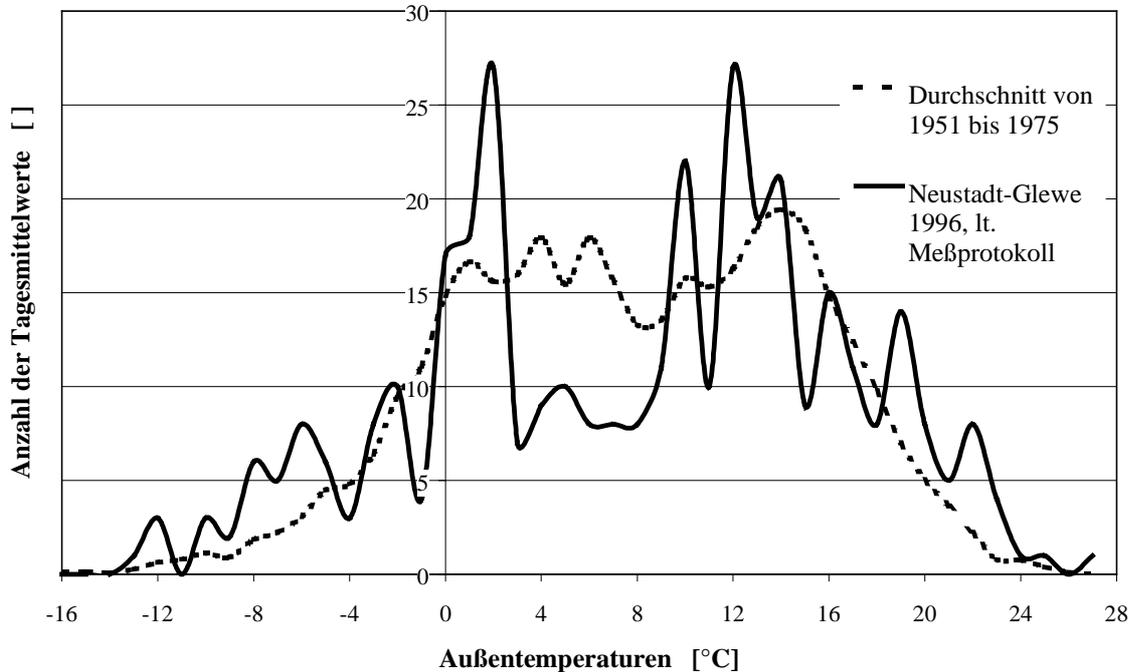
**Abb. 3-1:** Ganglinie der an der GHZ Neustadt-Glewe erfaßten Außentemperaturdaten des Jahres 1996

Die Meßdaten der Außentemperatur lassen sich durch Vergleich mit dokumentierten, langjährigen Mittelwerten daraufhin untersuchen, ob das vorliegende Betriebsjahr einen typischen Wärmebedarfsfall repräsentiert.

Diese dokumentierten, typischen Mittelwerte der Außentemperatur sind aus Meßwerten der Jahre 1951 bis 1975 [Klimadaten der DDR, 1987] bestimmt worden. Die Häufigkeit bestimmter Außentemperaturen im Tagesmittel mit monatlicher Zuordnung ist für den zitierten Beobachtungszeitraum erfaßt.

Die Summe der Häufigkeitswerte ist gleich der Anzahl der Tage des betrachteten Monats multipliziert mit der Zeitintervalllänge (z. B. für den Januar: 31 Tage multipliziert mit 25 Jahren ergibt 775 Werte). Die Mittelung dieser Werte führt zu einem „typischen“ Jahr, in dem der Tagesmittelwert „0 °C“ im Januar beispielsweise 4,16 mal vorliegt. Dieses „typische“

Jahr wird nun mit den konkreten Meßwerten 1996 verglichen. [Abbildung 3-2](#) zeigt diesen Vergleich mit der Abszisse als Temperaturachse und der Ordinate als Häufigkeit. Jede Tagesmitteltemperatur der Meßfolge kann in ihrer Häufigkeit natürlich nur als ganzzahliger Wert vorliegen.



**Abb. 3-2:** Häufigkeit der Außentemperaturwerte in Neustadt-Glewe

Es wird deutlich, daß bestimmte Außentemperaturen im Jahre 1996 häufiger als im Durchschnitt der Jahre 1951 bis 1971 vorlagen, andere seltener. Um einen Vergleich dieser mal positiven, mal negativen Differenz zwischen den beiden Kurven bei gleichzeitiger Beachtung des Absolutbetrags der Außentemperatur zu ermöglichen, wird in der Wärmetechnik die *Gradtagzahl* als Kenngröße benutzt. Das [Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 94/95](#) schreibt zur Erläuterung:

„Diese (die Gradtagzahl) ist das Produkt aus der Zahl der Heiztage und dem Unterschied zwischen der mittleren Raumtemperatur und der mittleren Außentemperatur, also

worin  $G_t$  = Gradtagzahl

$$G_t = \sum_1^z (t_i - t_{am})$$

$z$  = Zahl der Heiztage in der Heizperiode 1.9. bis 31.5.

$t_i$  = mittlere Raumtemperatur = 20 °C

$t_{am}$  = mittlere Außentemperatur eines Heiztages“

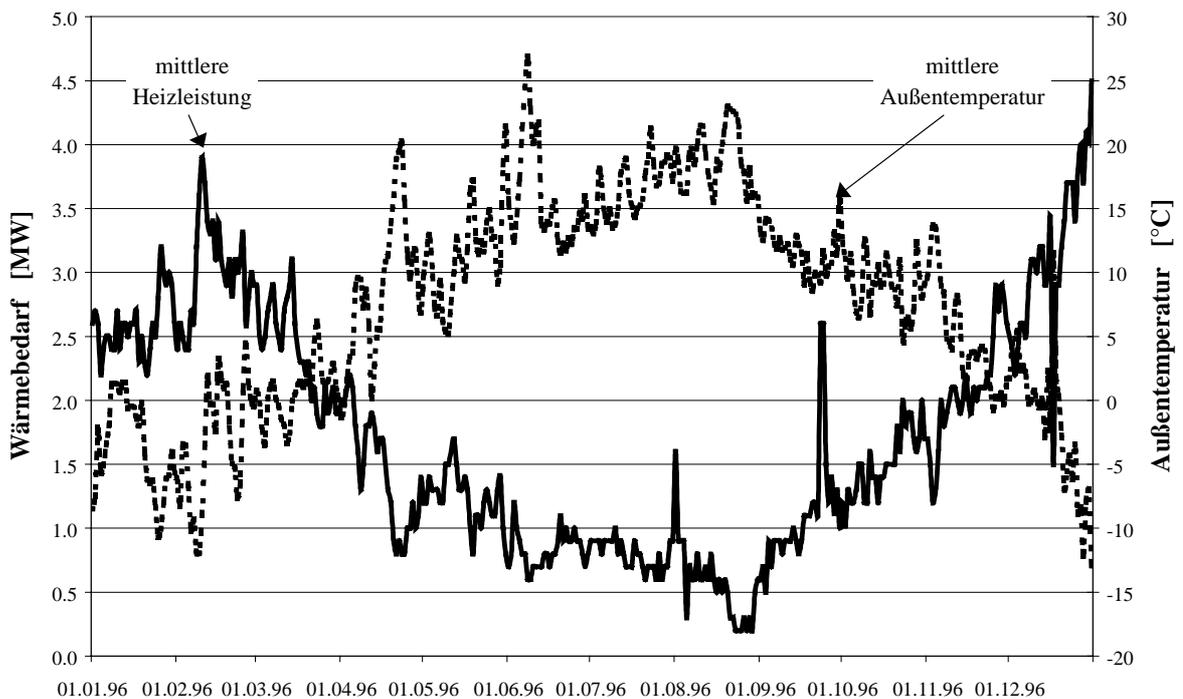
Als Heizgrenztemperatur, also als Grenze für den Heizbetrieb, wird hier eine Außentemperatur von 15 °C angenommen. Alle Tage, welche im Mittel unterhalb dieser Temperatur und außerdem im Zeitraum vom 1.9. bis 31.5 liegen, tragen zur Bestimmung der Heiztagzahl bei.

Wertet man unter diesen Bedingungen die Meßdaten in Neustadt-Glewe in bezug auf die Bestimmung dieser Kenngröße aus, so erhält man einen Wert von 4311 Gradtagen. Dieser erscheint etwa 5 % zu hoch. Der durchschnittliche Wert liegt bei etwa 4100 Gradtagen.

Berücksichtigt man jedoch die geringe Abweichung, so kann man auch auf Basis der Außentemperaturdaten das Jahr 1996 als „durchschnittlich“ für die Wärmeversorgung bezeichnen.

#### 4 Wärmebedarf

Die Werte für den Wärmebedarf sind als Minimal-, Maximal- und Mittelwert für jeden Tag vorhanden. Die Mittelwerte sind in der [Abbildung 4-1](#) in zeitlicher Folge für den Verlauf des Jahres dargestellt. In dieses Diagramm sind ebenfalls die mittleren Außentemperaturdaten aufgenommen.



**Abb. 4-1:** Mittelwerte des Wärmebedarfs in zeitlicher Folge und Abgleich mit den Außentemperaturdaten

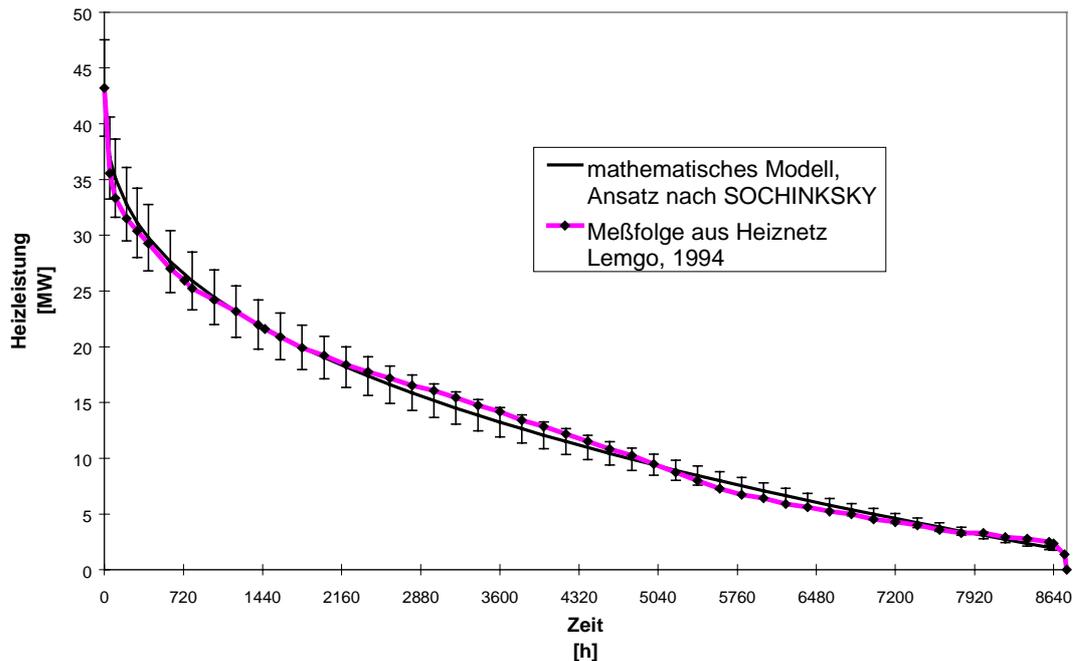
Ordnet man die Werte für den Wärmebedarf nach ihren Beträgen und trägt sie in abfallender Folge auf, so erhält man eine Darstellung des geordneten Wärmebedarfes (z. B. [Abbildung 4-2](#)). Durch diese Vorgehensweise geht die Zuordnung der Bedarfswerte zu konkreten Zeitdaten verloren.

Der geordnete Wärmebedarf stellt dennoch eine verbesserte Visualisierung der Verhältnisse dar. Auf diese Weise kann ein Vergleich mit anderen Fernwärmenetzen einfacher erfolgen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß eine mathematische Beschreibung der Zuordnung vereinfacht werden kann. Nachteile treten immer dann deutlich hervor, wenn eine zeitliche Zuordnung der Bedarfswerte zu Jahreszeiten, Monaten oder bestimmten Tagen erforderlich ist. Für den Betrieb eines Fernwärmenetzes, dessen Versorgung nicht mit zeitlich zuzuordnenden Daten (z. B. dem Elektroenergiebedarf) abgeglichen werden muß, ist diese Darstellung sehr geeignet. Gerade bei Einbindung von geothermischer Energie in ein Heiznetz ist die zeitliche Zuordnung nicht erforderlich, denn im Gegensatz zu anderen regenerativen Energien stellt die Geothermie eine ständige, jahreszeitlich unabhängige, „ein- und ausschaltbare“ Energie zur Verfügung.

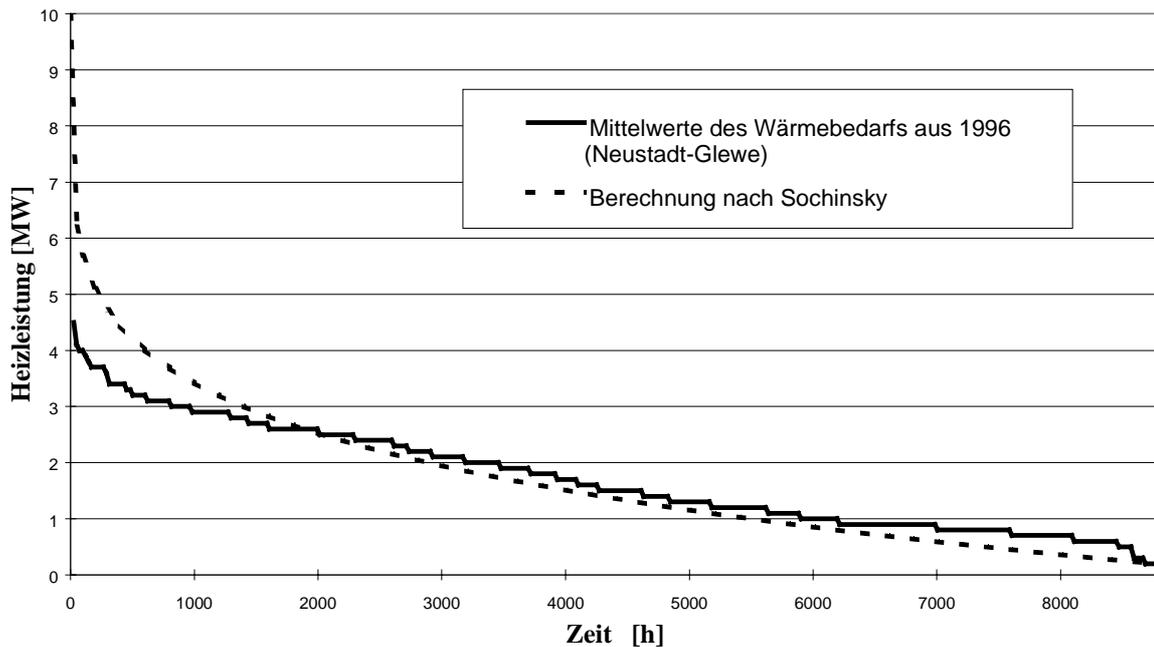
Eine typische geordnete Jahresganglinie für ein Heiznetz mit Wohnbebauung ist in [Schallenberg \(1996\)](#) für das Heiznetz in *Lemgo, Nordrhein-Westfalen* enthalten. Hier ist ebenfalls eine geeignete mathematisch bestimmte Ganglinie nach *Sochinsky* [[Zscherning](#),

1994] enthalten. Die zugehörige Darstellung ist in [Abbildung 4-2](#) wiedergegeben. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung. Daraus wird die Eignung des mathematischen Modells für vergleichende Studien abgeleitet.

[Abbildung 4-3](#) zeigt eine entsprechende Darstellung für die GHZ in Neustadt-Glewe im Jahre 1996. Sie beinhaltet neben den geordneten Meßdaten aus Neustadt-Glewe eine auf gleicher Basis entstandenen mathematisch bestimmte Ganglinie für den Wärmebedarf. Der Bedarf ist zu bestimmten Zeitschritten mit einer Exponentialfunktion berechnet worden.



**Abb. 4-2:** Vergleich der Meßwerte aus dem Heiznetz in Lemgo und den Ergebnissen des mathematischen Modells

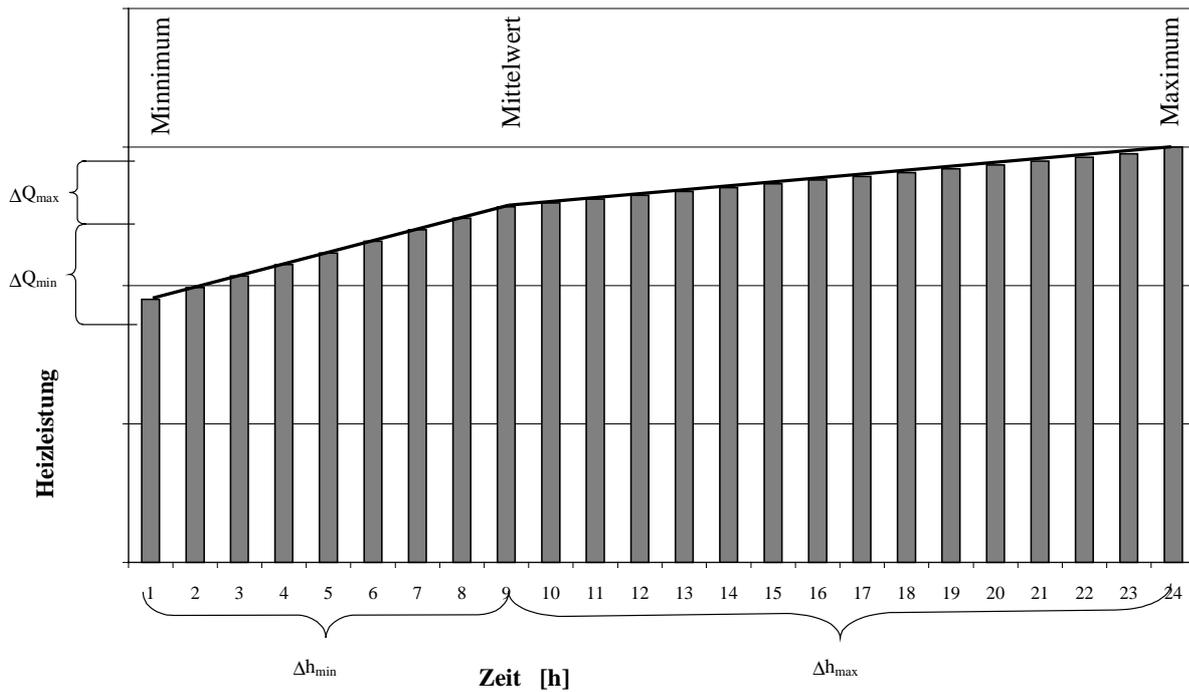


**Abb. 4-3:** Mittelwerte des Wärmebedarfs nach der Größe ihrer Beträge geordnet (geordneter Jahresgang) und berechnete Ganglinie

Im Falle der Auswertung nach [Abbildung 4-3](#) kann keine der [Abbildung 4-2](#) entsprechende, gute Übereinstimmung festgestellt werden. Die Meßdatenfolge zeigt einen nahezu linearen Abfall, was nicht den üblichen Ganglinien in Heiznetzen entspricht. Dieser Sachverhalt ist auf die Mittelung der Werte in Form von Tageswerten zurückzuführen. Hierdurch werden sowohl extreme Minimal- als auch extreme Maximalwerte herausgefiltert.

Eine exakte Rückrechnung auf den tatsächlichen Verlauf der Stundenwerte ist mit der Angabe von den Extremwerten und dem Mittelwert nicht möglich. Daher wurde versucht, eine einfache Aufteilung vorzunehmen, die eine Annäherung darstellt.

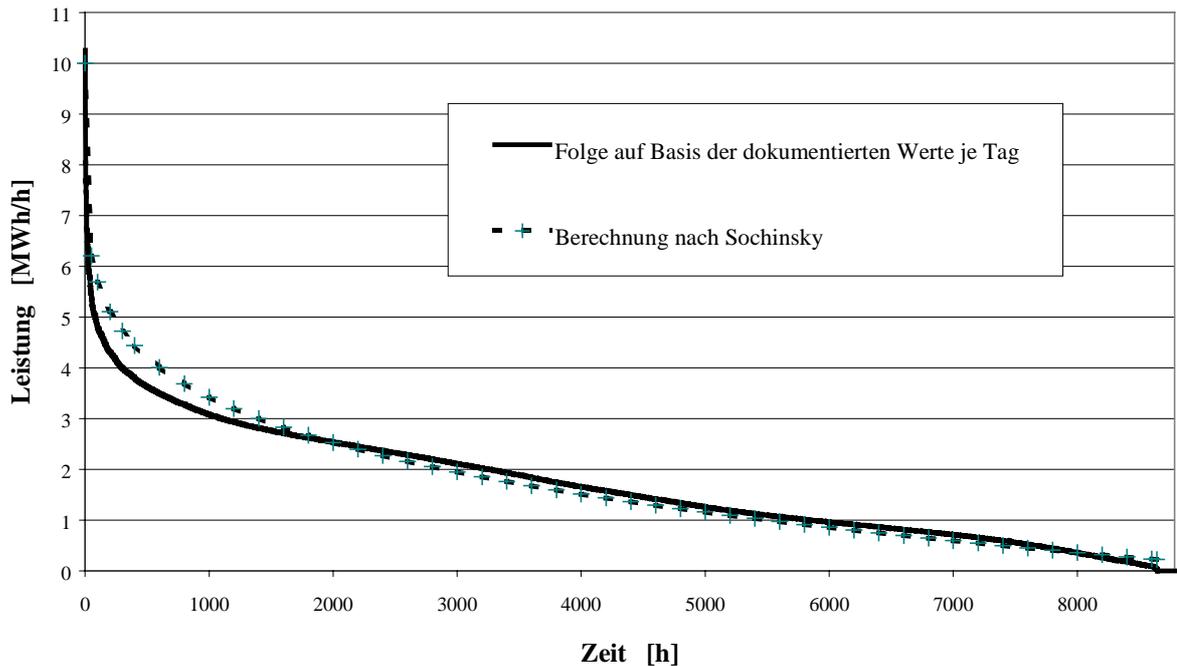
Der Minimalwert wird als Wert für die erste Stunde des Tages übernommen. Der Maximalwert ist derjenige, welcher in der letzten Stunde des Tages vorliegt. Den verbleibenden Stunden müssen nun Werte so zugeordnet werden, daß der Durchschnitt aller 24 Werte wieder dem Mittelwert entspricht. Daher wird über das Verhältnis der Minimal- zu den Mittelwerten und der Mittelwerte zu den Maximalwerten eine Aufteilung der verbleibenden Stunden vorgenommen, die dem umgekehrten Verhältnis entspricht. In jedem der beiden nun entstehenden Felder wird eine äquidistante Aufteilung vorgenommen. Das Ergebnis dieser Zerlegung ist für einen Tag in [Abbildung 4-4](#) wiedergegeben.



**Abb. 4-4:** Aufteilung der Minimal-, Maximal- und Mittelwerte in 24 Werte je Tag

Trägt man die so gewonnenen Werte in der Folge ihrer Beträge auf, erhält man wieder eine geordnete Jahresganglinie. Diese ist in [Abbildung 4-5](#) dargestellt. Hier ist wieder die gleiche Kalkulation wie in [Abbildung 4-3](#) zum Vergleich eingefügt. Eine deutlich verbesserte Übereinstimmung der aufbereiteten Meßdatenfolge mit dem mathematischen Ansatz ist abzuleiten. Dennoch ist auch hier besonders im Bereich des steilen Abfalls der Kurve eine deutliche Abweichung zu verzeichnen. Die Fläche unter der Kurve als Maß für die Wärmemenge wird durch eine geringe Abweichung über lange Zeiten im weiteren Verlauf ausgeglichen.

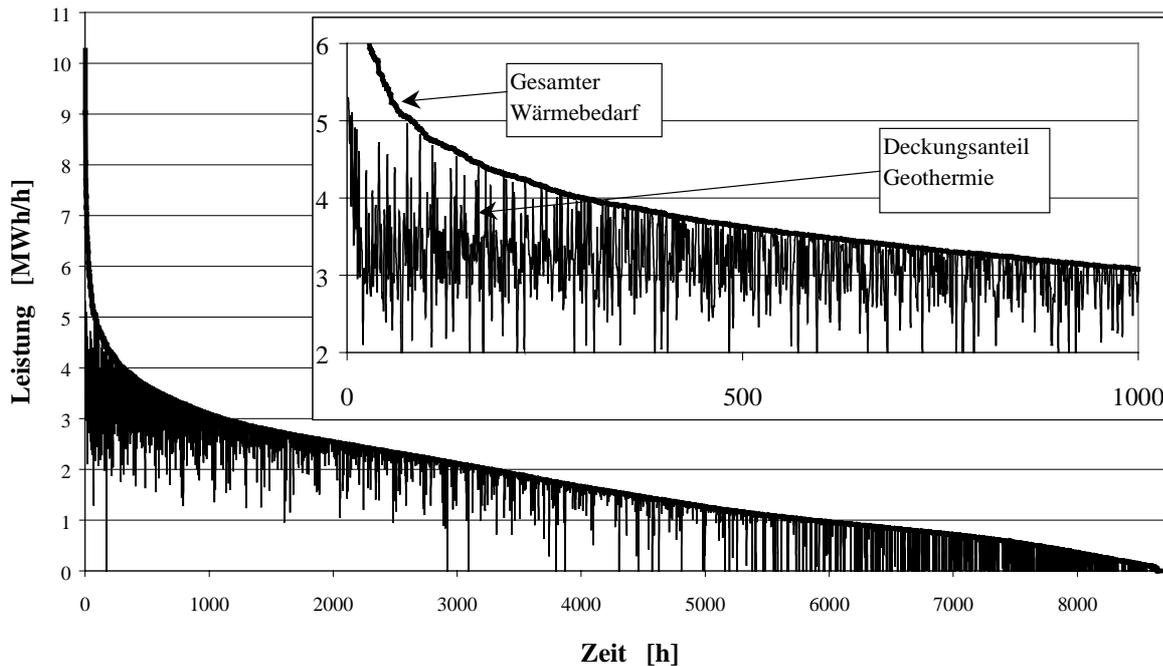
Für eine hinreichend genaue Darstellung einer geordneten Jahresganglinie kann also nur unter deutlichen Qualitätsverlusten auf Stundenwerte des Wärmebedarfes verzichtet werden.



**Abb. 4-5:** Geordnete Jahresganglinie auf Basis von 24 Stundenwerten je Tag im Vergleich zur mathematischen Kalkulation mit den Parametern aus [Abbildung 4-3](#)

Zur detaillierten Betrachtung des Anteils geothermischer Leistung an der Bedarfsdeckung werden alle Einzelwerte dieser Leistung wie vorstehend in „Stundenwerte“ umgerechnet. Beim Ordnen der Werte ist zu beachten, daß der zeitliche Bezug zwischen dem Gesamtbetrag der Wärmeforderung und des geothermischen Deckungsanteils nicht verloren geht. Ordnet man die Werte unter Beachtung dieses zeitlichen Zusammenhangs, so erhält man den Verlauf nach [Abbildung 4-6](#). Auf Grund der Vielzahl der Daten ist keine geeignete Auflösung mehr zu erreichen. Ein weiterer Anlaß für die Unübersichtlichkeit ist, daß durch eine Vielzahl von kleinen Ungenauigkeiten in der Protokollierung und von kurzen Ausfällen des Geothermiekreises dieser „zerklüftete“ Verlauf der Geothermiewerte bei gleichmäßiger Ganglinie der Gesamtbedarfswerte entsteht. Teilweise wird dieser Effekt auf die Tatsache zurückzuführen sein, daß das betrachtete Jahr 1996 das erste Betriebsjahr der GHZ ist. In der Auswertung der Daten folgender Jahre wird sich zeigen, ob der Geothermiekreis verstärkt schwankende Leistungswerte liefert.

Zur Verbesserung der Darstellung ist in [Abbildung 4-6](#) ein Ausschnitt von 0 bis 1000 Stunden und 2 bis 6 MW vergrößert dargestellt. Im weiteren Verlauf des (nach Beträgen geordneten Betriebs-) Jahres wird nahezu der gesamte Bedarf im Fernwärmenetz aus der Geothermie gedeckt. Im vergrößert dargestellten Bereich kann das Zusammenspiel mit dem Spitzenlastkessel gezeigt werden.



**Abb. 4-6:** Geordneter Jahresgang wie in [Abbildung 4-5](#) mit den Daten des Geothermiekreises; Das Diagramm innerhalb der Abbildung vergrößert einen Ausschnitt.

Auf Basis dieses Datensatzes ist ein Abgleich der Ganglinien 1996 in Neustadt-Glewe mit denen, die sich aus den Rechnungen nach [Schallenberg \(1998\)](#) ergeben, nur unzulänglich möglich. Betrachtet man jedoch die summierten Werte für den Verlauf eines Jahres, so stellt man fest, daß sich mit Hilfe des zitierten Modells ein um etwa 7 % erhöhter Anteil geothermischer Energie ergibt. Hiervon sind ca. 3 Prozentpunkte auf den einmonatigen Stillstand zurückzuführen. Die verbleibenden 4 % sind darauf zurückzuführen, daß eine Randbedingung des mathematischen Modells davon ausgeht, daß jede Wärmenachfrage, die geothermisch gedeckt werden kann, auch gedeckt wird. Hierbei wird der Zeitaufwand zur Regelung und Anpassung des Thermalwasserkreises an den neuen Betriebszustand vernachlässigt.

## 5 Schlußfolgerungen

Die Vergleichszahl für den Wärmebedarf, die Gradtagzahl, weist für das Betriebsjahr 1996 eine geringe Abweichung vom durchschnittlichen Wert auf. Das Jahr 1996 ist aus dieser Sicht als Vergleichsjahr geeignet.

Die Betriebsergebnisse zeigen unter Beachtung des Heizöleinsatzes (siehe Bericht *Die geothermische Heizzentrale in Neustadt-Glewe im Betriebsjahr 1996* hier: *Verbrauchsdaten*) eine Deckung des Bedarfes aus geothermischer Energie zu 82,5 %. Der geothermische Deckungsanteil aus Erdgas und geothermischer Energie beträgt 91 %.

Die analytische Berechnung nach Schallenberg (1996) liefert hier einen Wert von 98 %. Fehlerquellen liegen einerseits in der einmonatigen Stillstandszeit (4 %) und andererseits in der Modellvorgabe, welche die Steuerzeiten der Anlage nicht berücksichtigen. Eine dritte Quelle kann in der zeitlichen Detaillierung der Meßdaten liegen: Es zeigt sich, daß Tagesmittelwerte für eine genaue Auswertung nicht ausreichen. Die erforderliche Hochrechnung auf Stundenwerte kann Fehler beinhalten.

Abschließend wird auf Basis der approximierten Werte festgestellt, daß eine deutliche Abweichung des Betriebsergebnisses von den dokumentierten Planungswerten vorliegt.

## 6 Literatur

- Bachmann, I., Geothermie in Norddeutschland: Demonstrationsprojekt Neustadt-Glewe; in: Geothermische Fachtagung, 12.-15.10.1992, Erding bei München, 278-286, (Tagungsband), 1992.
- GEMIS, Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS); Öko-Institut, Institut für angewandte Ökologie e. V. Darmstadt, 1995.
- Geothermische Energie; Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung; Heft 11, Sonderheft Neustadt-Glewe; Mai 1995.
- Hakansson, K., Handbuch der Fernwärmepraxis, Vulkanverlag Essen, Essen, 1986.
- Klimadaten der Deutschen Demokratischen Republik – Ein Handbuch für die Praxis;- Reihe B: Bd. 1 „Lufttemperatur“; Meteorologischer Dienst der Deutschen Demokratischen Republik; Potsdam, 1987.
- Matthews, C.S. und D.G. Russell, Pressure build-up and flow tests in wells – Monographie, Soc. Petr. Eng. J., Dallas, 1967.
- Rockel, W. und R. Werner, Die geologischen Bedingungen für die Thermalwassergewinnung und –verpressung; in: Geothermische Energie; Mitteilungsblatt der Geothermischen Vereinigung; Heft 11, Sonderheft Neustadt-Glewe; Mai 1995.
- Schallenberg, K., [Einfluß der Netztemperaturen in den Abnehmersystemen auf den Wärmegestehungspreis](#), in: Ehrlich, H., K. Erbas und E. Huenges (Hrsg.): Angebotspotential der Erdwärme sowie rechtliche und wirtschaftliche Aspekte der Nutzung hydrothormaler Ressourcen, Geothermie Report 98-1, GeoForschungsZentrum Potsdam, p. 82-95, 1998.
- Schallenberg, K., Systemanalytische Erfassung von Nutzungsanlagen hydrogeothermaler Ressourcen. Beispiel: Einfluß der Temperaturen in den Abnehmersystemen auf den Wärmegestehungspreis, in: Geothermie - Energie der Zukunft, 4. Geothermische Fachtagung, 18.-20.09.1996, Konstanz, 200-207, (Tagungsband), 1996.
- Seibt, A., T. Kellner und P. Hoth, Charakteristik der geothermischen Heizzentralen (GHZ) in Mecklenburg-Vorpommern; in: Hoth, P., A. Seibt, T. Kellner und E. Huenges, (Hrsg.): Geowissenschaftlichen Bewertungsgrundlagen zur Nutzung hydrothormaler Ressourcen in Norddeutschland, Geothermie Report 97-1, GeoForschungsZentrum Potsdam, 1997.
- Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Recknagel, Sprenger und Schramek; Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1995.
- Zschernig, J., Berechnung der optimalen Konfiguration von Wärmeerzeugungsanlagen, Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik, 43. Jg., Heft 4, Leipzig Stuttgart, April 1994.