

KfK 3791  
September 1984

# **Elektroräumwärme — Möglicher Einsatzbereich und zugehörige Netzausbaukosten**

**P.-M. Fischer**  
**Abteilung für Angewandte Systemanalyse**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Abteilung für Angewandte Systemanalyse

KfK 3791

ELEKTORAUWÄRME -  
MÖGLICHER EINSATZBEREICH UND ZUGEHÖRIGE NETZAUSBAUKOSTEN

P.-M. Fischer

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Elektroräumwärme - möglicher Einsatzbereich und zugehörige Netzausbaukosten

Die Elektroräumwärme im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher (HuK) wird bevorzugt in ländlichen Regionen sowie in Vorstädten mit ländlichem Charakter eingesetzt werden. Das Potential der bis zum Jahre 2000 mit Elektroräumwärme zu versorgenden Wohnungen sowie Art und Anzahl der zum Einsatz gelangenden Elektroheizsysteme werden untersucht. Die Leistungsfähigkeit des bestehenden elektrischen Verteilungsnetzes im Hinblick auf eine regionale Massierung des Elektroräumwärmeeinsatzes wird dargestellt. Eine Abschätzung der Kosten, die bei einer Anpassung des bestehenden Netzes an eine erhöhte Leistungsanforderung, hervorgerufen durch die Elektroheizung, möglicherweise anfallen, wird vorgenommen; als Basis hierfür dienen u.a. Studien über Netzertüchtigungen, wie sie für gegebene Ortsteile in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt wurden.

### Summary

#### Electric Heating--Possible Uses and Costs of Associated Grid Expansion

Electric heating for households and commercial establishments is chiefly used in rural areas and in suburbs that have a rural character. The potential of electric heating for households up to the year 2000 was examined as was the number and kind of electric heating systems that have proven themselves in use. The grid capacity with regard to a regional concentration of electric heating systems is presented. A cost estimate was made for making the existing grid capable of meeting the higher demands that electric heating systems would create; studies of grid capacity adjustments in particular sections of cities in the FRG served as the basis for the calculations.

Inhaltsverzeichnis:

	<u>Seite</u>
1. Einführung .....	1
2. Lastverhalten der öffentlichen Versorgung im Hinblick auf die Elektrowärmedarbietung .....	2
2.1 Aktueller Einführungsstand der Elektrowärmenutzung .....	2
2.2 Künftige Entwicklung .....	8
3. Ländliche Regionen als Schwerpunkte der Elektrowärme- nutzung? .....	11
3.1 Struktur der Raumwärmedeckung .....	11
3.1.1 Heizenergiearten und Gemeindegröße .....	12
3.1.2 Heizsystem und Haustyp .....	14
3.2 Substitutionspotential der Elektrowärme im ländlichen Bereich .....	14
4. Vorgesehene Raumheizungssysteme und ihre Netzbeeinflussung ...	17
4.1 Nachtspeicherheizung .....	18
4.2 Pendelspeicherheizung .....	19
4.3 Bivalente Wärmepumpe .....	20
4.4 Elektrische Direktheizung .....	20

	<u>Seite</u>
5. Stromübertragung und Verteilung .....	22
5.1 Das Übertragungsnetz .....	22
5.2 Das Verteilungsnetz .....	24
6. Leistungsfähigkeit des bestehenden Verteilungsnetzes in Hinblick auf eine regionale Massierung des Elektro-Wärme- einsatzes .....	28
7. Technik und Kosten des Netzausbaus .....	31
7.1 Kosten bei Ertüchtigung des Verteilungsnetzes .....	33
7.2 Neubau von Verteilungsnetzen .....	42
8. Zusammenfassung .....	44
Anlage .....	46
Literatur .....	53

## 1. Einführung

Der überwiegende Anteil des zur Raumwärmeerzeugung eingesetzten Heizöls wird im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher (HuK) verbraucht. Eine Verdrängung des Öls aus dem HuK-Wärmemarkt durch elektrischen Strom scheint unter anderem deswegen angezeigt, weil in vielen Fällen eine Substitution von Öl durch andere Energieträger als Strom nicht sinnvoll ist.

Die massierte Verwendung der elektrischen Energie für die Raumwärmeerzeugung kann z.B. auf der Verstromung von Kohle insbesondere der Steinkohle beruhen. Dies ist eine von mehreren Arbeitshypothesen in der Studie "Steinkohle - Technikfolgenabschätzung ihres verstärkten Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland", die in der Abteilung für Angewandte Systemanalyse des Kernforschungszentrums Karlsruhe erstellt wurde /Coenen 1984/. Danach sollen bis zum Jahre 2000 jährlich zusätzlich 18 Mio Tonnen Steinkohle zur Erzeugung elektrischer Raumwärme im HuK-Bereich verstromt werden, was der Substitution von 13,2 Mio Tonnen Rohöl entsprechen würde.

Unter diesen skizzierten Rahmenbedingungen sind folgende Grundfragen zu behandeln:

- In welchen Regionen sollten die elektrischen Raumheizungssysteme sinnvollerweise zum Einsatz gelangen und welches Substitutionspotential würde dort zur Verfügung stehen?
- Welche zusätzliche Anforderungen werden an das elektrische Netz insbesondere an das Verteilungsnetz gestellt?
- In welchem Umfang sind bestehende Netze zu ertüchtigen und welche Kosten sind mit der Netzertüchtigung verbunden?

## 2. Lastverhalten der öffentlichen Versorgung im Hinblick auf die Elektrowärmedarbietung

In den 60er und 70er Jahren bemühten sich die Energieversorgungsunternehmen (EVU), über attraktive Spezialtarife die privaten Haushalte zur Installation von Nachtstromspeicherheizungen zu ermuntern. Das Motiv der EVU lag darin, die in der Vergangenheit bestehenden tiefen Nachtlasttäler einzuebnen, um dadurch eine bessere Auslastung ihrer Produktions- und Verteilungseinrichtungen zu erreichen. Die Entscheidung der privaten Haushalte für den Einsatz von Elektrowärme in Neubauten respektive den Ersatz von herkömmlichen fossil gefeuerten Heizsystemen dürfte zumindest bis 1973 nicht sosehr durch die Brennstoffpreise als vielmehr durch den höheren Bedienungskomfort der Elektrowärme beeinflusst worden sein. Erst nach 1973 wurden die Entscheidungen für die Elektrowärme von der Preisentwicklung des Heizöls und durch Erwägungen zur Versorgungssicherheit geprägt.

### 2.1 Aktueller Einführungsstand der Elektrowärmenutzung

Auffallend ist, daß sich die elektrische Raumwärmeversorgung bis heute fast ausschließlich auf die Nachtstromspeicherheizung abstützt; die Wärmepumpe spielt mit rund 30 000 in Betrieb befindlichen Anlagen (Stand: 31.12.1980) mit einem geschätzten Gesamtanschlußwert von 90 MW noch keine für die Elektrizitätsversorgung bedeutsame Rolle /Kirn 1981/. Dagegen waren Ende 1980 in rund 2 Millionen Wohnungen Nachtstromspeicherheizungen installiert, für die ein Gesamtanschlußwert von 28 000 bis 30 000 MW angegeben wird /Gilson et al. 1979; Klätte 1982; VDEW/.

Die Anzahl der mit elektrischer Direktheizung ausgestatteten Wohnungen kann mit ca. 650 Tausend abgeschätzt werden. Diese Abschätzung ergibt sich aus der Differenz der mit Nachtspeicherheizung sowie Wärmepumpen versehenen Wohnungen und der Gesamtzahl der mit Stromwärme versorgten Wohnungen von 2,7 Mio (siehe auch Tab. 3.1). Zu den Angaben über direkt beheizten Wohnungen ist zu vermerken, daß auch diese Wohnungen berücksichtigt sind, die zwar nicht ausschließlich aber überwiegend mit Strom-Direktheizung betrieben werden. Die Dunkelziffer der

mit Direktheizgeräten ausgestatteten Wohnungen ist laut A. Karel (1983) relativ hoch: 50 % der Haushalte haben mindestens ein Direktheizgerät. Die Haushaltskundenbefragung der VDEW ergab ferner, daß von 14 % der befragten Haushalte 7 % regelmäßig und 12 % gelegentlich im Winter ihre elektrische Zusatzheizung einsetzen; in der Übergangszeit schalten 15 % und im Sommer gelegentlich 6 % ihre Geräte ein. Die elektrische Arbeit durch diese unkontrollierten elektrischen Direktheizgeräte in den Wohnungen beläuft sich auf ca. 4 TWh, das ist etwa der vierte Teil des Jahresverbrauchs durch die Speicherheizsysteme.

Die Einführungsquoten in allen elektrischen Raumheizungssystemen sind seit einigen Jahren rückläufig.

Der jährliche Zuwachs der Speicherheizung ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Danach ist gegen Ende der sechziger Anfang der siebziger Jahre ein steiler Anstieg der jährlich neu installierten Heizleistung zu registrieren. Das Maximum wird 1971 mit einem Zuwachs von 3700 MW erreicht und danach fällt der Zuwachs stetig auf ca. 1300 MW pro Jahr ab.

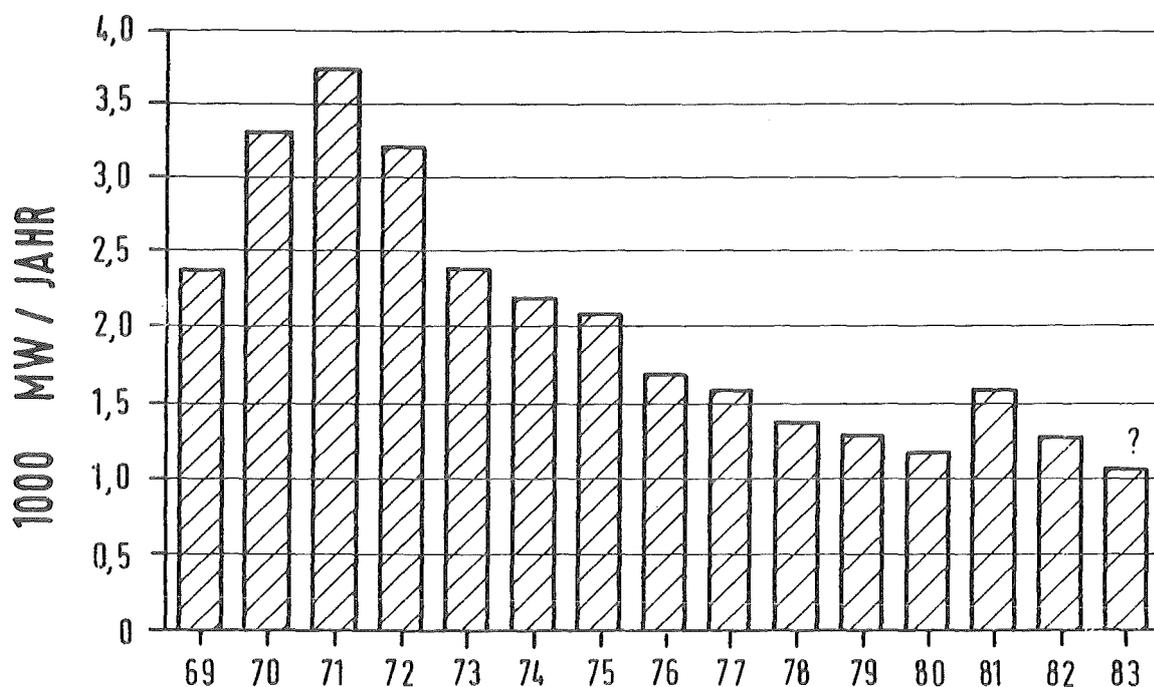


Abb. 2.1: Jährlicher Zuwachs der Speicherheizung in Deutschland  
Quelle: /Karel 1983/

Die relative Aufteilung der Elektro-Speicherheizung nach der Art der Anlagen dargelegt in Tabelle 2.1 macht offenkundig, daß vorwiegend Einzelheizgeräte eingesetzt werden, welche wiederum die fossil gefeuerten Einzelöfen ersetzen.

Tabelle 2.1: Relativer Anteil der Elektro-Speicherheizung nach Art der Anlage  
Quelle: Nach /Karel 1983/

Art der Anlage	Relativer Anteil [%]
Zentralspeicher	1
Fußbodenspeicher	3
Speichergeräte	96

Die Auflistung nach Kundengruppen, offengelegt in Abbildung 2.2 macht deutlich, daß 91 % der Speicherheizung in Haushalt und öffentlichen Gebäuden eingesetzt werden.

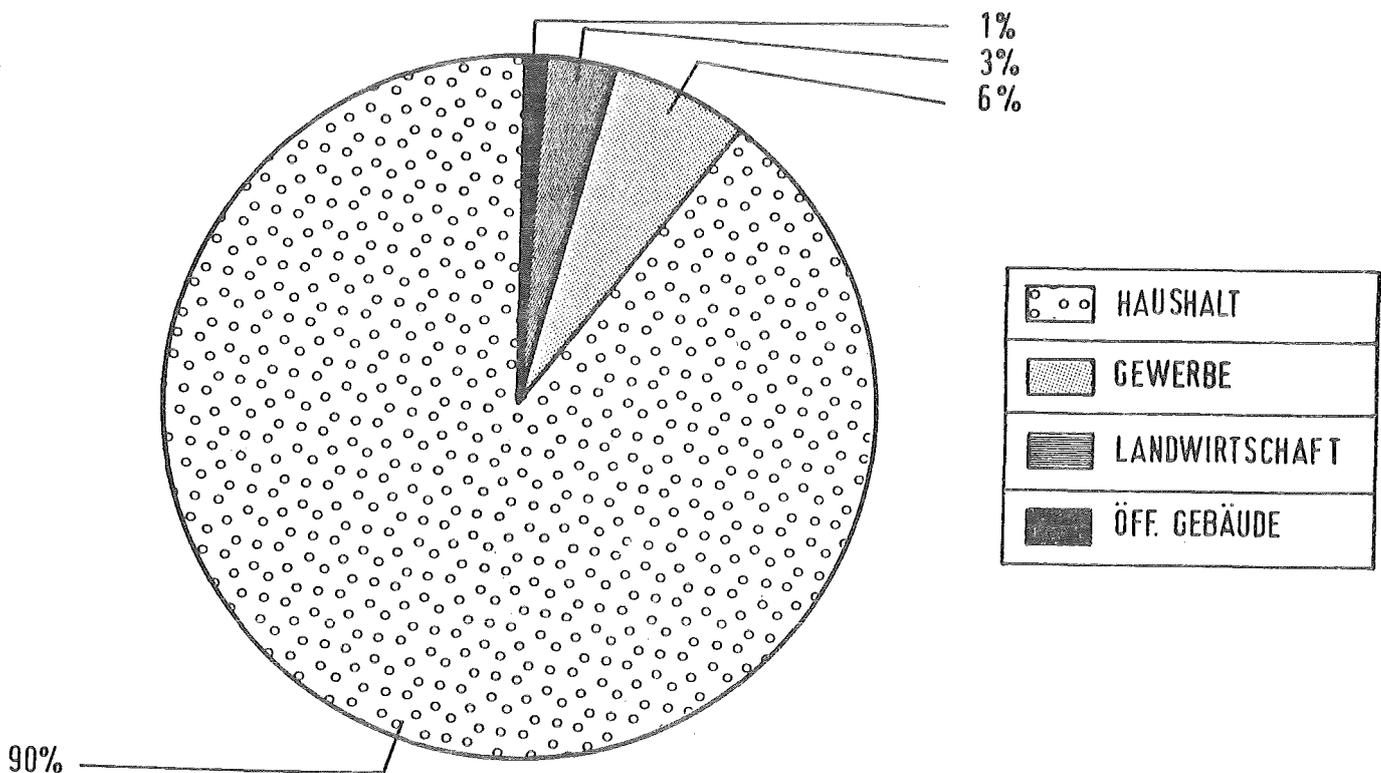


Abb. 2.2: Aufschlüsselung der Elektro-Speicherheizung nach Kundengruppen  
Quelle: / Karel 1983/

Im Jahre 1981 wurden im Haushalt an Speichergeräten 75 % in Altbauten und 25 % in Neubauten installiert /Karel 1983/.

Entgegen den hochgesteckten Zielen hat die Wärmepumpenheizung verglichen mit der Speicherheizung nur in sehr bescheidenem Maße bisher in den Elektrowärmemarkt eindringen können. Im Jahre 1980 waren rund 30 Tausend Wärmepumpen in Betrieb, wovon allein 27 000 Anlagen im gleichen Jahr verkauft wurden. Die Verkaufszahlen gingen in den folgenden Jahren stetig auf 8000 Einheiten (1983) zurück (siehe auch Abbildung 2.3) /Karel 1983/.

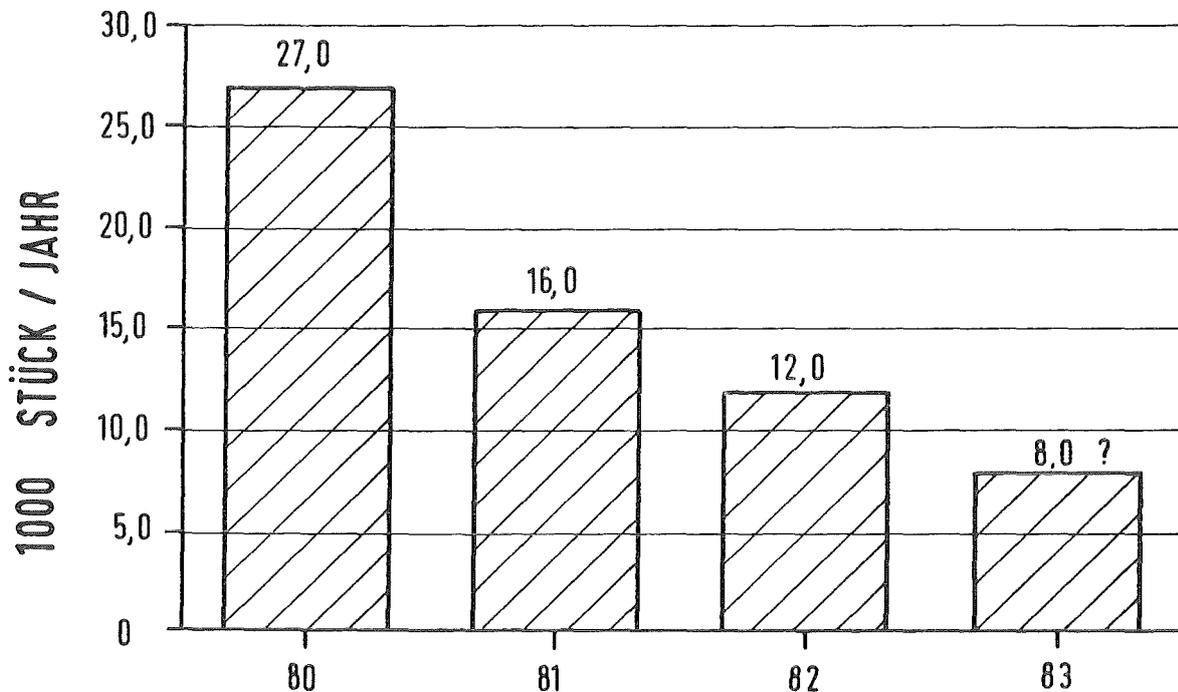


Abb. 2.3: Anzahl der verkauften Elektro-Heizungswärmepumpen in der Bundesrepublik Deutschland  
Quelle: /Karel 1983/

Die Gründe für den Rückgang der elektrisch erzeugten Wärme sind für die Speicherheizung und die Wärmepumpenheizung unterschiedlich zu bewerten. Bei der Speicherheizung ist die Tatsache, daß die Nachttäler bei vielen EVU's eingeebnet sind und Neuinstallationen nicht mehr genehmigt werden können. Wenn bei bestehenden freien Erzeugungskapazitäten in einem Versorgungsgebiet Speicherheizungen massiert eingesetzt wurden, so waren

in den betreffenden Netzteilen Erweiterungsinvestitionen notwendig geworden.

Die zögernde Nachfrage nach Wärmepumpen ist nicht durch versorgerseitige Engpässe zu erklären - hierfür sind bei den meisten EVU genügend Anschlußpotentiale vorhanden - sondern durch die im Vergleich mit Öl- und Speicherheizungen relativ hohen erforderlichen Investitionen. Weiterhin hat die relative Ruhe auf dem Heizölmarkt und die aufgrund der allgemeinen wirtschaftlichen Rezession verminderte Investitionstätigkeit der privaten Haushalte zum Rückgang der ohnehin schwachen Nachfrage nach "teueren" elektrischen Wärmepumpen geführt.

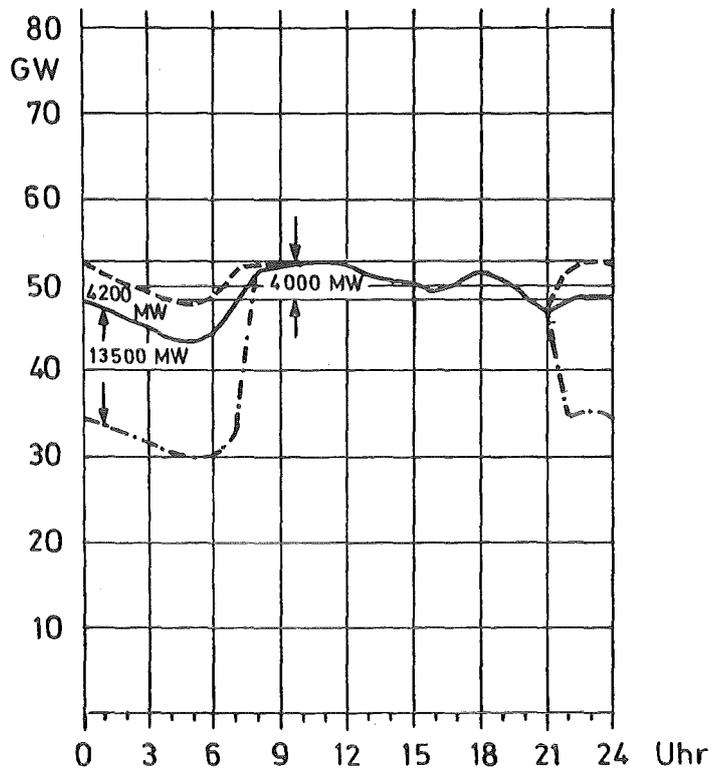
Im Zusammenhang mit der Ende 1980 installierten Leistung an Nachtstromspeicherheizungen sind in Hinblick auf zukünftige Erweiterungsmöglichkeiten folgende Fragen zu stellen:

- Welche Kraftwerksleistung wurde durch die Ende 1980 installierten Elektrospeicherheizungen in Anspruch genommen?
- Wie wird der Lastgang der öffentlichen Versorgung durch die Speicherheizungen beeinflusst?
- Wieviel zusätzliche Speicherheizleistung könnte unter den derzeitigen Bedingungen noch zusätzlich genehmigt werden?

Aufgrund individuell unterschiedlicher Raumwärmeansprüche und guter Regelmöglichkeiten seitens der Betreiber von Speicherheizungen sowie der Steuerungsmöglichkeiten seitens der EVU ergeben sich verhältnismäßig niedrige Gleichzeitigkeitsfaktoren.

So wurde am kältesten Tag (Tagesmitteltemperatur  $-10^{\circ}$  C) durch Messung an verschiedenen Netzen ein mittlerer Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,55 ermittelt. (Unter Gleichzeitigkeitsfaktor wird das Verhältnis des Höchstlastanteiles der Heizung zur insgesamt installierten Leistung der Heizung verstanden). Bei Annahme mittlerer Netzverluste von 6 % ergibt sich, daß die o.g. insgesamt angeschlossenen Speicherheizungen eine Kraftwerksleistung von rund 17 700 MW in Anspruch genommen hätten /VDEW/. Durch eine derartige Last wird das Nachttal weitgehend eingeebnet, gegen Tagesende (zwischen 22.30 - 24.00 Uhr) werden sogar die Tagesspitzenwerte wieder erreicht, zu deren Deckung Spitzenlastkraftwerke eingesetzt

werden müssen (siehe auch Abbildung 2.4).



- Lastverlauf am 16.01.1980 bei  $T_m = - 2^{\circ} C$
- · - · - · Lastverlauf ohne Speicherheizung
- Lastverlauf einschließlich Speicherheizung bei  $T_m = - 10^{\circ} C$

Abb. 2.4: Auf eine mittlere Tagesaußentemperatur von  $- 10^{\circ} C$  umgerechnetes Tagesbelastungsdiagramm der öffentlichen Stromversorgung vom 16.01.1980  
Quelle: /VDEW/

Diese Zahlen repräsentieren die durchschnittliche Situation in der Bundesrepublik. Sie zeigen, daß die Verhältnisse zwischen Höchstlast und dem Lastverlauf einen zusätzlichen Einsatz von Speicherheizungen generell nicht mehr zulassen, wobei regional jedoch günstigere Verhältnisse herrschen mögen.

## 2.2 Künftige Entwicklung

Die künftigen Entwicklungsmöglichkeiten der Speicherheizungen werden seitens der EVU unter dem Blickwinkel eines allgemeinen Anstiegs der Nachfrage nach elektrischer Energie gesehen. In dem Maße, wie sich durch das Anwachsen der Kraftwerks- und Bezugsleistung neue Nachttäler ergeben, wird auch die Möglichkeit gesehen, weitere Leistung für Speicherheizungen bereitzustellen.

Nach einer Prognose der RWE (Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk AG) sollte die Leistung der öffentlichen Stromversorgung von 71 600 MW (1980) bis 1995 auf 111 000 MW ansteigen; der Anteil der in diesen Zahlen enthaltenen Steinkohlekraftwerke beträgt 21 500 MW (1980) und 33 000 MW (1995) /Klätte 1982/.

Die "Vorschau 1982 der Deutschen Verbundgesellschaft (DVG)" erwartet eine Zunahme der Höchstlast um 2 000 MW pro Jahr /VDEW/. Dies ergäbe bis zum Jahre 2000 ein Ansteigen der Jahreshöchstlast auf 91 100 MW. Die sich damit wieder ergebenden Schwachlasttäler erlauben die Installation weiterer Speicherheizleistung (siehe auch Abbildung 2.5).

Tabelle 2.2 zeigt die Entwicklung der installierten Speicherheizleistung und damit der mit Nachtspeicherheizung versorgten Wohneinheiten sowie die daraus resultierende Kraftwerkslast. Bei sinkender mittlerer Anschlußleistung der Nachtstromspeicherheizungen (NSH) je Wohneinheit (WE) von etwa 16 kW im Jahre 1980 auf ca. 14 kW/WE im Jahre 2000 ergibt dies ein Gesamtpotential von ca. 3,7 Mio Wohneinheiten, die im Jahre 2000 mit Elektrospeicherheizungen ausgerüstet werden könnten.



Tabelle 2.2: Entwicklung der installierten Speicherheizleistung und der resultierenden Kraftwerkslasten

Jahr	max. Anschl.-leistung	Anzahl <sup>1)</sup> WE m. NSH	max. Kraftw. <sup>2)</sup> Last
1980	30 300 MW	1,89 Mio	17 700 MW
1985	32 500 MW	2,03 Mio	18 950 MW
1990	38 500 MW	2,57 Mio	22 450 MW
2000	51 300 MW	3,66 Mio	29 900 MW

1) Durchschnittl. Anschlußwerte je Wohneinheit: 1980 - 85: 16 kW;  
2000: 14 kW.

2) Gleichzeitigkeitsfaktor: 0,55; Tagesmitteltemp.: - 10<sup>0</sup> C;  
Netzverluste: 6 %

Hinsichtlich des Einsatzes von Wärmepumpen im Zeitraum bis zum Jahre 2000 haben Untersuchungen ergeben, daß unter den oben skizzierten Leistungs- und Lastverhältnissen zusätzlich 4,2 Mio Wohnungen mit bivalenten Wärmepumpen und 0,2 Mio Wohnungen mit monovalenten Wärmepumpen ausgestattet werden könnten, ohne daß zusätzliche Kraftwerke über die Planwerte hinaus gebaut werden müßten /Klätte 1982; IZE 1980/. Bedingung hierfür wäre jedoch, daß es gelänge, den Betrieb der genannten knapp 4,5 Mio Wärmepumpenanlagen mit einem Gesamtanschlußwert von 13 600 MW durch entsprechende verbraucher- oder versorgerseitige Steuerungsmaßnahmen weitgehend leistungsunwirksam zu fahren /IZE 1980/.

### 3. Ländliche Regionen als Schwerpunkte der Elektrowärmenutzung?

Um abschätzen zu können, welchen Einfluß die intensive Nutzung von Elektrowärme im Haushaltsbereich auf die Verteilungsnetze hat, muß gefragt werden, ob die für möglich gehaltene Anzahl von elektrisch beheizten Wohneinheiten sich gleichmäßig über das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland verteilen wird, oder ob es aufgrund heute bereits erkennbarer Tendenzen zu regionalen Konzentrationen kommen wird.

Die Behandlung dieser Frage ist deshalb bedeutsam, weil sowohl die Struktur als auch die Kosten des Verteilungssystems u.a. von der Besiedlungsdichte und der regionalen Lastdichte beeinflußt werden.

#### 3.1 Struktur der Raumwärmedeckung

Erste Aufschlüsse über das Ölsubstitutionspotential ergeben sich aus der Anzahl der Wohnungen, die z.Zt. überwiegend mit Öl beheizt werden.

Tabelle 3.1: Wärmeversorgung der Wohnungen nach Energieträgern  
Quelle: Nach /VDEW/

Wärmeversorgung	Anzahl der Wohnungen	
	Mio	%
durch:		
Öl	12,0	49
Gas	5,2	21
Kohle	2,9	12
Strom	2,7	11
Fernwärme	1,5	6
Sonstiges	0,2	1
Gesamt	24,5	100

Eine Erhebung des statistischen Bundesamtes von 1978 und eine Kundenbefragung der VDEW (1981) (Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke) ergab, daß von den insgesamt in der Bundesrepublik Deutschland vorhandenen rund 24,5 Mio Wohnungen allein 12 Mio (rund 49 %) mit Öl beheizt wurden (siehe auch Tabelle 3.1) /VDEW; Fischer Weltalmanach 1981; WiSta 1980/. Hier liegt das Schwergewicht des Elektrowärmeeinsatzes. Daneben kommen für eine künftige Umstellung auf Elektrowärme wahrscheinlich noch ein Teil jener 2,9 Mio Wohnungen infrage, die mit Kohle beheizt werden. In der Regel handelt es sich hierbei um Wohnungen in älteren Häusern, die im Zuge von Modernisierungs- oder Abbruch-Neubaumaßnahmen auf andere Heizenergien umgestellt werden.

### 3.1.1 Heizenergiearten und Gemeindegröße

Um ermitteln zu können, wie sich das Einsatzpotential in Abhängigkeit von der Siedlungsdichte verhält, wurde die Gesamtsumme der oben angegebenen Wohnungen nach ihrer Aufteilung auf drei unterschiedliche Gemeindegrößen untersucht.

Gewählt wurden hierfür

- Gemeinden bis 20 000 Einwohnern, die als ländliche Region angesehen werden können,
- Gemeinden von 20 000 bis 100 000 Einwohnern, die als Mittelstadt- und Großstadtrandzonenraum bezeichnet werden und
- Großstadtregionen mit über 100 000 Einwohnern /VDEW/.

Davon ausgehend, daß etwa 8,7 Mio Wohnungen in Gemeinden mit bis zu 20 000 Einwohnern zu suchen sind und daß davon 63 % mit Öl beheizt werden, ergibt sich, daß rund 5,5 Mio von insgesamt 12 Mio Ölbeheizten Wohnungen in ländlichen Regionen zu finden sind. Zusätzlich zu diesem Ölsubstitutionspotential sind noch knapp 1 Mio kohlebeheizte Wohnungen hinzu zu rechnen, die im Ersatz- oder Modernisierungsfall ebenfalls für Elektrowärme infrage kommen.

Für die Beurteilung der zukünftigen Entwicklung sind wichtig die deutlich negative Korrelation zwischen Ölheizung und Gemeindegröße und der

genauso deutlich positive Zusammenhang zwischen den leitungsgebundenen Wärmeenergieträgern und der Gemeindegröße (siehe Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2: Relative Raumwärmedeckung nach Energieträgern und Gemeindegröße  
Quelle: /VDEW/

Wärmeversorgung durch:	Gemeindegröße	bis 20 000 Einwohner	20 000 bis 100 000 Einwohner	über 100 000 Einwohner
		%	%	%
Öl		63	43	36
Gas		10	29	30
Kohle		11	11	13
Strom		12	12	10
Fernwärme		1	5	11
Sonstiges		3	0	0
Gesamt		100	100	100

Aus diesen Zusammenhängen kann der Schluß gezogen werden, daß Heizöl schwerpunktmäßig in ländlichen Gebieten durch Strom substituiert werden dürfte. Die "konkurrierenden" leitungsgebundenen Alternativen Gas und Fernwärme werden sich vornehmlich in Gebieten mit höherer Wärmelastdichte, also in Gemeinden mit Einwohnerzahlen über 20 000 Einwohnern, weiter ausdehnen.

### 3.1.2 Heizsystem und Haustyp

Die Struktur der zukünftigen elektrischen Raumwärmeversorgung nach Widerstandsheizungen und Wärmepumpenheizungen hat wegen der unterschiedlichen Charakteristika der beiden Systeme Auswirkungen auf die im Netz auftretende Last und damit auf die erforderliche Auslegung der Verteilungsnetze. Welches Elektroheizsystem letztthin zum Einsatz gelangen wird, wird von dem Haustyp und dem jeweils verwendeten Ölheizungssystem abhängen.

Qualitativ kann gesagt werden, daß bei haushaltswirtschaftlicher Gleichwertigkeit von Widerstandsspeicherheizung und Wärmepumpenheizung, die Wärmepumpe bevorzugt anstelle von Ölzentralheizungen in Ein-/Zweifamilienhäusern eingesetzt werden dürfte, während die Nachtspeicherheizung in Form der Blockheizung die Ölzentralheizungen in Mehrfamilienhäusern ersetzen könnte. Sofern das zu substituierende häusliche Heizsystem aus Öleinzelfeuerungen besteht, dürfte vornehmlich ein Ersatz durch Einbau von Speicherheizungen in Form von Einzelgeräten in beiden Haustypen infrage kommen.

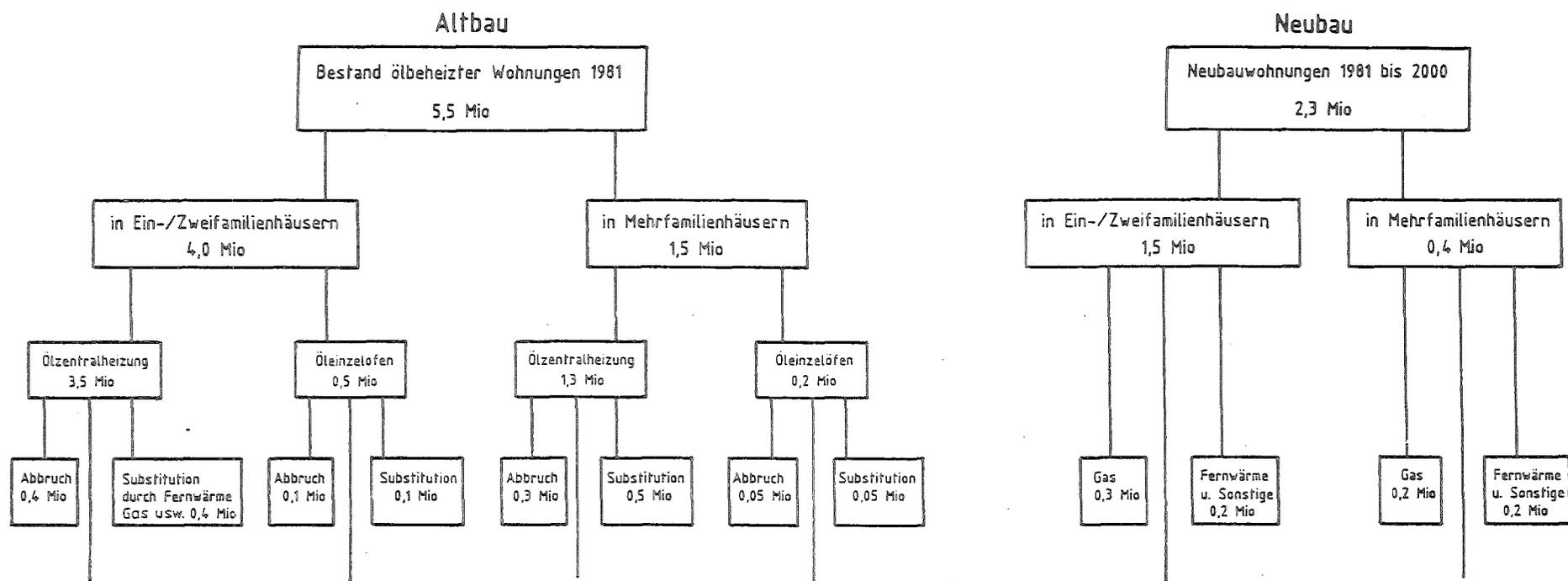
### 3.2 Substitutionspotential der Elektrowärme im ländlichen Bereich

Zur quantitativen Abschätzung des Einsatzpotentials infrage kommender Elektroheizsysteme wird unter Zuhilfenahme der vorher gemachten Ausführungen die derzeitige Ölheizungsstruktur des ländlichen Raumes und deren voraussichtliche Entwicklung bis zum Jahre 2000 herangezogen.

Der ländliche Raum weist, wie bereits vorher ausgeführt, 1981 einen Gesamtbestand von knapp 5,5 Mio ölbeheizten Wohnungen aus. Die Auswertung statistischer Unterlagen ergibt, daß davon 4 Millionen Wohnungen in Ein-/Zweifamilienhäusern und 1,5 Millionen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern zu suchen sind. Von den Ein-/Zweifamilienhäusern haben 3,5 Mio Ölzentralheizungen und 0,5 Mio Öleinzelfeuerungen. Von den Mehrfamilienhäusern verfügen 1,3 Mio Häuser über Zentralheizungen und 0,2 Mio über Öleinzelfeuerungen.

Es wird erwartet, daß von diesem Gesamtsubstitutionspotential durch Abbruch von 0,9 Millionen Wohnungen und durch Einsatz anderer Substitutionsenergien in rund 1 Mio Wohnungen das maximale Einsatzpotential der Elektrowärme in Altbauten auf rd. 3,6 Mio ölbeheizte Wohnungen reduziert wird. Andererseits wird bis zum Jahre 2000 mit 2,3 Mio Neubauwohnungen gerechnet, von denen 1,5 Mio auf Ein-/Zweifamilienhäuser und 0,8 Mio auf Mehrfamilienhäuser entfallen. Gas, Fernwärme und sonstige Wärmeträger werden voraussichtlich in insgesamt 0,9 Mio Wohnungen eingesetzt werden, so daß ein Potential von 1,4 Mio Wohnungen elektrisch beheizt werden könnten. Von diesen 1,4 Mio Neubauwohnungen werden 1 Mio in Ein-/Zweifamilienhäusern, 0,4 Mio in Mehrfamilienhäusern zu finden sein. Bei allen Neubauhaustypen werden zentrale Heizungsanlagen vorgesehen.

In Abbildung 3.1 ist das Substitutionspotential nochmals dargestellt. Das maximale Ölsubstitutionspotential für Elektrowärme im ländlichen Raum bis zum Jahre 2000 läßt sich mit rund 5 Mio Wohnungen angeben.



Gesamtpotential für Elektroheizung ca. 5 Mio Wohnungen

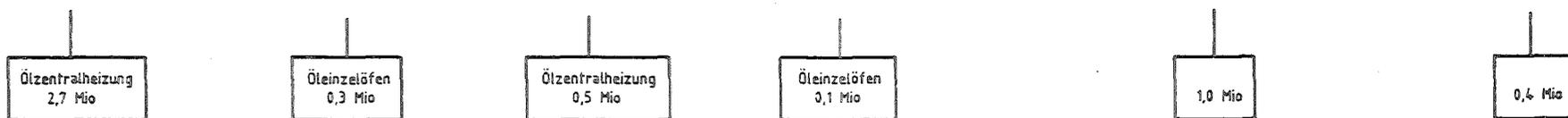


Abb.3.1: Substitutionspotential Elektroheizung im ländlichen Raum für die Zeitspanne bis zum Jahr 2000  
Quelle: /VDEW/

Eine nach rein elektrizitätswirtschaftlichen Gesichtspunkten angelegte Studie der EVU /IZE 1980/ weist bei insgesamt 8 Mio elektrisch beheizten Wohnungen im Jahre 2000 ein Verhältnis Wärmepumpe zu Widerstandsheizungen von 55 zu 45 aus. Bezogen auf den ländlichen Raum wäre bei ca. 5 Mio elektrisch beheizten Wohnungen mit 2,75 Mio Wärmepumpen und 2,25 Mio Widerstandsheizungen zu rechnen.

Letztlich jedoch wird das Verhältnis von Wärmepumpen zu Widerstandsheizungen sowohl von elektrizitätswirtschaftlichen Gesichtspunkten, insbesondere in Abhängigkeit von den lokalen und regionalen Versorgungsmöglichkeiten, als auch von wirtschaftlichen Erwägungen der privaten Haushalte geprägt werden. Der Autor ist der persönlichen Auffassung, daß die privaten Haushalte bevorzugt Widerstandsheizungen einsetzen werden, sofern das zuständige Versorgungsunternehmen dem zustimmt.

Aus diesem Grund wurden die nachfolgenden Untersuchungen zur elektroheizungsbedingten Netzertüchtigung gerade auch im Hinblick auf die bei einer Präferenz für Widerstandsheizungen zu erwartende höhere Heiznetzlast vorgenommen.

#### 4. Vorgesehene Raumheizungssysteme und ihre Netzbeeinflussung

Von wesentlicher Bedeutung für die Auslegung von elektrischen Versorgungsnetzen für die Deckung als Raumwärmebedarfs sind die Anschlußwerte und der zeitliche Verlauf der Leistungsanforderung einer gegebenen Anzahl von elektrischen Raumheizsystemen, die innerhalb eines bestimmten Versorgungsbereichs installiert sind.

Zur Deckung des Raumwärmebedarfs kann die elektrische Energie durch Einsatz unterschiedlicher Heizsysteme wie

- Nachtspeicherheizung,

- Pendelspeicherheizung,
- bivalente Wärmepumpenheizung,
- elektrische Direktheizung

herangezogen werden.

Alle erwähnten Heizsysteme haben bei gleichem Wärmebedarf unterschiedliche elektrische Anschlußwerte (installierte Leistungen). Gemeinsam ist allen Systemen, daß bei einer Vielzahl von elektrischen Heizsystemen die an das Netz gestellte Leistungsanforderung immer kleiner ist als die Summe der Anschlußleistungen innerhalb eines Versorgungsbereiches. Hier wirken sich die unterschiedliche Nutzung von Häusern und Wohnungen, unterschiedlicher individueller Wärmebedarf u.ä. Faktoren aus.

Da es vornehmliche Aufgabe dieser Arbeit ist, die zu erwartende Schwankungsbreite der auftretenden Netzlasten und die daraus resultierenden Verstärkungs-Erfordernisse des elektrischen Netzes aufzuzeigen, werden die unterschiedlichen Kenndaten der o.g. Heizsysteme zwar gleichwertig erläutert, in der nachfolgenden Auswertung jedoch nur insoweit herangezogen, wie dies zur Beschreibung der Schwankungsbreite der zu erwartenden Netzkosten notwendig wird.

#### 4.1 Nachtspeicherheizung

Die Nachtspeicherheizung ist eine elektrische Widerstandsheizung, die einen Wärmespeicher auflädt. Die Kapazität des Speichers muß so groß bemessen sein, daß die zwischen den Aufladezyklen abgegebene Wärmemenge den Wärmebedarf der zu beheizenden Wohnung abzudecken vermag. In der Regel wird die Aufladung bevorzugt in den Schwachlastzeiten zwischen 21<sup>00</sup> und 7<sup>00</sup> Uhr über Schaltuhren oder über sogenannte Tonfrequenz-Rundsteuerungsanlagen durch das EVU (Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen) freigegeben. Um einen möglichst ausgeglichenen Lastgang zu erreichen erfolgt die Freigabe nach Gruppen innerhalb des fraglichen Versorgungsgebietes. Abnehmerseitig wird die effektive Nutzung, die Ladedauer, innerhalb der Freigabezeit durch die jeweiligen Witterungsverhältnisse, die vorhandene Restwärme, den individuellen Wärmebedarf u.ä. bestimmt.

Die Anschlußwerte pro Wohneinheit werden derzeit mit 14 - 20 kW angegeben /VDEW/. Für die Zukunft wird mit geringeren Anschlußwerten gerechnet. So wird angenommen, daß um 1990 der durchschnittliche Anschlußwert bei 15 kW liegen wird und bis zum Jahre 2000 weiter auf 14 kW pro Wohnung absinken wird. Aufgrund der externen Freigabesteuerung und der unterschiedlichen Leistungsanforderung durch die Einzelgerätsteuerung wird für die Ermittlung der effektiven Netzlast mit Gleichzeitigkeitsfaktoren von 65 - 75 % im Niederspannungsverteilungsnetz gerechnet. In den übergeordneten Spannungsebenen sinkt dieser Wert kontinuierlich bis auf etwa 50 % beim 110 kV-Netz ab.

#### 4.2 Pendelspeicherheizung

Die Pendelspeicherheizung ist im Prinzip ebenfalls eine elektrische Widerstandsheizung, die jedoch, verglichen mit der oben abgehandelten Nachtstromspeicherheizung, über ein wesentlich geringeres Wärmespeichervermögen verfügt. Daher müssen die Ladezeiten in kürzeren Intervallen gestaffelt werden. Freigabe und Sperrung erfolgen durch das EVU im Pendelrhythmus von 4 Stunden Ladezeit und 2 Stunden Sperrzeit gleichmäßig über den 24 Stunden-Tag verteilt. Dazu wird die Gesamtmasse der in einem Versorgungsbereich (Transformatorbereich) zu versorgenden Heizstromabnehmer in drei harmonisch untereinander durchmischte Gruppen aufgeteilt, von denen jeweils zwei Gruppen eine 4-stündige Ladezeit erhalten, während die dritte Gruppe eine 2-stündigen Sperrzeit unterliegt. Freigabe- und Sperrzeiten werden durch das EVU mittels Tonfrequenz-Rundsteuerung geschaltet. Während die Anschlußleistung pro Wohnung mit maximal 15 kW ähnlich hoch wie bei der Nachtstromspeicherheizung sein kann, werden bei der elektrischen Fernheizung dank der Pendelcharakteristik auch am kältesten Tag nur Gleichzeitigkeitsfaktoren von maximal 66 % erreicht, so daß die Heiznetzlast dann und damit bei rund 10 kW/WE liegt. Bei der vorherrschenden Tagesmitteltemperatur von + 4° C während der Heizperiode sinkt der Gleichzeitigkeitsfaktor auf 33 % die Heiznetzlast auf rund 5 kW/WE. Der Vorteil dieses Heizsystems ist also die relativ gut steuerbare und damit gleichförmige Kapazitätsauslastung der vom EVU einzusetzenden Betriebsmittel, was letztlich zu wirtschaftlich günstigen Belieferungstarifen für den Abnehmer führen sollte /Cwienk 1978/.

#### 4.3 Bivalente Wärmepumpe

Die Wärmepumpe entzieht einem Umgebungsmedium "Luft oder Wasser" Wärmeenergie und hebt diese Energie auf eine höhere Temperaturebene zu meist um  $60^{\circ}$  C. Mit sinkender Außentemperatur geht der Umwandlungswirkungsgrad bei gleichbleibender Leistungsanforderung zurück, bei Absinken der Außenlufttemperatur unter den Bivalenzpunkt,  $+ 3^{\circ}$  C bis  $- 4^{\circ}$  C schalten sich bivalent alternativ arbeitende Wärmepumpen ab. Die Wärmeversorgung wird dann durch das alternative System z.B. eine Ölheizung übernommen.

Festzuhalten ist, daß die elektrische Energie bei der Wärmepumpenheizung nur Hilfsenergie zum Antrieb des Aggregats ist. Daher liegen die Anschlußwerte von bivalenten Wärmepumpen mit ca. 3 kW je Wohnung beträchtlich unter den Werten der auf dem Prinzip der Widerstandheizungen beruhenden Heizsysteme. Andererseits haben Wärmepumpen einen hohen Gleichzeitigkeitsfaktor. Er liegt bei mindestens 100 gleichen Anlagen des Wärmepumpentyps Luft-Wasser im jeweiligen Versorgungsbereich zwischen 80 und 90 % /Arbeitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/. Nachteilig ist auch, daß der Einsatz von Tonfrequenz-Rundsteuerungsanlagen wegen des praktisch fehlenden Speichervermögens der Wärmepumpenheizungen nur bedingt möglich ist.

In jüngerer Zeit wird versucht, diese negativen Effekte der Wärmepumpen auf die Netzlast durch technische Maßnahmen zu mildern: Begrenzung der Anlaufhäufigkeit pro Stunde, Verzögerung des Anlaufs nach Freigabe durch die Rundsteuerung /Lichtenberg 1981/.

#### 4.4 Elektrische Direktheizung

Der Einsatz der elektrischen Direktheizung kann dann z.B. in Betracht gezogen werden, wenn der Einsatz der Elektro-Speicherheizung nicht mehr sinnvoll ist, weil keine freien Schwachlastkapazitäten mehr bestehen, und wenn der Einbau von Wärmepumpen auf Schwierigkeiten stößt.

Die Direktheizung weist eine ähnliche hohe Netzhöchstlast pro Wohneinheit wie die Pendelspeicherheizung auf; sie liegt in Wohnblocks laut ausführlichen Untersuchungen in der Größenordnung von 3 kW bis 5 kW pro WE bei tiefster Außentemperatur /Karel et al. 1982/. K. Krüger berichtet von Norwegen für Einfamilienhäusern eine installierte Direktheizleistung von 8 kW bis 12 kW. Für ein solcherart allelektrisch versorgtes 120 m<sup>2</sup> Einfamilienhaus wurde ein realer Netzlastanteil von 8 kW gemessen /Krüger 1982/.

Durch eine entsprechende Tarifgestaltung kann der Kunde zur gleichmäßigen Leistungsanspruchnahme angehalten werden, so daß der Lastverlauf der elektrischen Direktheizung von z.B. 200 Wohneinheiten über 24 Stunden sehr gleichmäßig sein kann. Dies ist notwendig, um Lastspitzen zu vermeiden, die ansonsten eine erheblich kostenintensive Verstärkung des elektrischen Verteilungsnetzes bedingen würden.

Der Gleichzeitigkeitsfaktor liegt zwischen 0,45 und 0,55 /Arbeitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/. Die Jahresvollbenutzungstunden betragen nach A. Karel im Durchschnitt ca. 1200 Stunden, von dem gleichen Autor wird für eine Wohnsiedlung insgesamt die mittlere Jahresnutzungsdauer des Lastanteils der Direktheizung zum Zeitpunkt der Werkshöchstlast mit durchschnittlich 4000 Stunden angegeben /Karel et al. 1982/.

Die elektrische Direktheizung wird seit Jahren in den nordischen Ländern besonders in Norwegen mit Erfolg praktiziert; so sind z.B. in Oslo ca. 60 % aller Wohnungen mit elektrischer Direktheizung ausgestattet /Karel et al. 1982/.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

1. Die Nachtstromspeicherheizung kann sinnvoll nur dann eingesetzt werden, wenn sowohl im Netz als auch kraftwerksseitig zu bestimmten Zeiten freie Leistung vorhanden ist. Dies wird in der Regel nachts, unter Umständen kurzfristig auch tagsüber, der Fall sein. Eine Tonfrequenz-Rundsteuerung ist erforderlich.
2. Die Pendelspeicherheizung als Teilspeicherheizung stellt in der Regel geringere Ansprüche an die Netzleistung, sie verlangt jedoch spezielle zusätzliche Kraftwerksleistung. Eine verfeinerte Tonfrequenz-Rundsteuerung wird notwendig.

3. Die Wärmepumpenheizung stellt bei gegebenem Wärmebedarf vergleichsweise geringste Anforderungen an die Netzkapazität. Es ist eine geringere zusätzliche Kraftwerkskapazität als bei den Systemen unter 2. und 4. notwendig. Dadurch, daß sie mit Erreichen des Bivalenzpunktes abschaltet, bietet die bivalente Wärmepumpe eine gute Kompensation zur steigenden Leistungsanforderung der Widerstandsheizungen bei sinkenden Außentemperaturen.
4. Die Direktheizung ist, was die Heiznetzlast angeht, die günstigste Widerstandsheizung. Sie erfordert jedoch spezielle Kraftwerksleistung proportional zur Anzahl solcher Heizungen.

Von den hier beschriebenen Möglichkeiten der elektrischen Raumheizung verursacht die Nachtstromspeicherheizung mit 9 bis 15 kW die höchste, die bivalente Wärmepumpe mit 2,4 bis 2,7 kW die niedrigste spezifische Heiznetzlast. Es erscheint daher gerechtfertigt zur Beschreibung der Schwankungsbreite zukünftig erforderlich werdender Netzertüchtigungsmaßnahmen nur noch diese beiden Raumheizsysteme heranzuziehen.

## 5. Stromübertragung und Verteilung

Für die Übertragung der elektrischen Energie vom Kraftwerk zum Verbraucher sind mehrere Spannungsebenen notwendig, wobei die unterschiedlichen Übertragungsmittel Kabel und Freileitung eingesetzt werden.

Grundsätzlich sind zwei Netzsysteme zu unterscheiden: Das Verbund-/Übertragungsnetz und das Verteilungsnetz.

### 5.1 Das Übertragungsnetz

Das Übertragungsnetz erfüllt Übertragungs- und Verbundaufgaben; zum einen soll es die erzeugte elektrische Energie vom Kraftwerk zum Verbraucher über mehr oder weniger große Entfernungen fortleiten; zum anderen soll es als Verbundnetz z.B. die Unterschiede in den Belastungen einzelner Regionen ausgleichen.

Dem Übertragungsnetz zuzurechnen sind das Hochspannungsnetz, gegebenenfalls das regionale Hochspannungsnetz, die Umspannwerke und Umspannstationen.

Das Hochspannungsnetz ist, um seine Funktion als Verbundnetz zu erfüllen, als Maschennetz aufgebaut; auch vermag diese Netzform die geforderte hohe Zuverlässigkeit zu erbringen. Seine Aufgaben sind großräumiger Transport in die Lastschwerpunkte der Verbrauchergebiete, Verknüpfung der Erzeugungsanlagen sowie Reserveaufgaben bei Kraftwerksausfällen. Die Nennspannungen dieses Hochspannungsnetzes sind 380 kV und 220 kV; es ist ein Freileitungsnetz. Für die Verstromungsstrategie ist das 380 kV-Netz als höchste Spannungsebene ausreichend. Der gegenwärtige Ausbau des Hochspannungsnetzes und dessen Einrichtungen für eine potentielle Leistungserhöhung rühren aus Zeiten hoher Stromverbrauchserwartungen und damit eines expansiven Kraftwerkszubaues her. Daher bedarf es auch im Falle der Verstromungsstrategie im allgemeinen keiner zusätzlichen Ertüchtigung des Hochspannungsnetzes /Nitsch et al. 1981, S. 176/.

Das regionale Hochspannungsnetz, Nennspannung 110 kV, soll hier dem Übertragungsnetz zugerechnet werden. Auch in dieser Netzebene dominiert die Freileitung, obwohl in Ballungsgebieten der Verkabelungsgrad wächst. Hier beläuft sich der Verkabelungsgrad auf ca. 30 % /Nitsch et al. 1981, S. 101/. Bei massiertem Einsatz der Elektrizität zur Raumwärmeerzeugung verschiebt sich jedoch der Aufgabenbereich dieser Netzebene von reinem Transport zu Verteilungsaufgaben. Eine regionale Ertüchtigung und Erweiterung des 110 kV-Netzes kann bei erhöhtem Ausbau der Elektroraumwärme notwendig werden.

Die Umspannwerke dienen dazu, vom Verbundnetz (380 kV und 220 kV) in das regionale Hochspannungsnetz einzuspeisen. Gängige Leistungsgrößen sind 220 MVA für 220/110 kV und 300 MVA für 380/110 kV Transformatoren. Aus Gründen der Reservehaltung muß ein Umspannwerk mit mindestens zwei Transformatoren ausgerüstet sein, um bei Ausfall eines Transformators die Versorgung voll aufrecht erhalten zu können. In diesem Fallbeispiel darf der Einzeltransformator nur zu 50 % ausgelastet sein /Nitsch et al. 1981, S. 115/.

In den Umspannstationen erfolgt die Einspeisung aus dem regionalen Hochspannungsnetz in das Mittelspannungsnetz. Diese Abspannanlagen können nach ihrer Funktion als Bestandteil der Verteilungsebene angesehen wer-

den. Zum Einsatz gelangen Transformatoren 110/20 kV bzw. 110/10 kV mit Nennleistungen von 12,5 MVA bis 80 MVA. Auch in den Umspannstationen ist, wie bei den Umspannwerken, in der Regel ein Reservetransformator vorhanden. Auf diesen kann dann verzichtet werden, wenn die Reserve wie z.B. in den Innenstadtbereichen durch das Mittelspannungsnetz erbracht wird.

Sind Umspannwerk und Umspannstation ausgelastet, so müssen diese bei notwendig werdender Leistungsanforderung z.B. bei elektrischer Raumheizung im HuK-Bereich ausgebaut werden.

## 5.2 Das Verteilungsnetz

Die Netze, die nach ihrer Auslegung und Gestaltung in erster Linie durch den Leistungsbedarf der Verbraucher geprägt sind, sollen als Verteilungsnetze bezeichnet werden. Dazu zählen das Mittelspannungsnetz, das Niederspannungsnetz und die Ortsnetzstationen (auch Netzstationen genannt).

Das Mittelspannungsnetz dient dazu, die elektrische Energie von der Umspannstation zu den Netzstationen zu leiten. In den ländlichen Gebieten ist es überwiegend als Freileitung mit 20 kV ausgeführt, während in den städtischen Regionen die Verkabelung mit Nennspannungen von meist 10 kV neuerdings mit 20 kV überwiegt; jedoch nimmt der Verkabelungsgrad in allen Gebietstypen zu. Die gängigen Netzformen sind das einseitig und mehrseitig gespeiste Maschennetz sowie die zweiseitig eingespeiste Ringleitung mit einer offenen Trennstelle. Bei massiertem Einsatz von Elektroraumwärme übernimmt das Mittelspannungsnetz die sonst dem Niederspannungsnetz zugeordnete Verteilungsfunktion der elektrischen Energie. Auch in den ländlichen Regionen erfolgt die dabei notwendig werdende Erweiterung mittels Kabel.

Über das Niederspannungsnetz sind u.a. die einzelnen Wohneinheiten (bzw. Häuser) an die Ortsnetzstationen angeschlossen. Die Nennspannung liegt fast ausschließlich bei 380 V, doch werden regional auch noch 220 V angetroffen. In den ländlichen Gebieten überwiegt das Freilei-

tungsnetz, in den städtischen Regionen kommt praktisch nur die Verkabelungstechnik vor. Die vorherrschende Netzform ist das Maschennetz. Muß infolge des Einsatzes der Elektrowärmeheizung das Netz verstärkt werden, so erfolgt der Anschluß der Wohnhäuser an den Ortsnetztransformator strahlenförmig. Damit verschiebt sich die Funktion des Niederspannungsnetzes: Aus dem geschlossenen Niederspannungsnetz wird ein zum Zulieferanten herabgeschrumpftes Anschlußnetz mit kurzen Strahlen (Strahlennetz). Die durch Einführung der Elektroheizung bedingte Leistungserweiterung (Ertüchtigung) des Niederspannungsnetzes, ist willkommener Anlaß, auch in ländlichen Regionen zur Verkabelung überzugehen.

In den Netzstationen ist abgesehen von Ballungsgebieten nur ein Transformator untergebracht. Hier erfolgt die Einspeisung von den Mittelspannungsnetzen in die Niederspannungsnetze (20 kV/380 V bzw. 10 kV/380 V). Die Leistungsskala der Netzstationstransformatoren reicht von 100 kVA bis 1600 kVA, jedoch werden am meisten die Leistungsgrößen 400 kVA und 630 kVA eingesetzt. Transformatoren dieser Leistungsgröße werden entweder in Fertigstationen, d.h. in Stahlblech- oder Betonfertigteilmgehäusen oder in Gebäuden untergrachten Stationen (eigenes Gebäude oder eingebaut z.B. in Kellern oder Garagen) aufgestellt /Nitsch et al. 1981, S. 123/. Kennzeichnend für die erweiterte Versorgung von Wohngebieten mit elektrischer Raumwärme ist der teilweise erhebliche Zuwachs an Transformatorkapazität.

Zum Abschluß seien mit Tabelle 5.1 eine Aufstellung der 1981 in der Bundesrepublik Deutschland insgesamt in den verschiedenen Spannungsebenen installierten Freileitungen und Kabel, sowie mit Tabelle 5.2 die seit 1975 getätigten Investitionen gegeben.

Tabelle 5.1: Freileitungen und Kabel in km nach Spannungsgruppen,  
Stand 1981  
Quelle: /VDEW 1982/

Spannungs- art Leitungsart	Höchst und Hochspannung	Mittelspannung	Niederspannung
Freileitungen	71 955	165 102	253 575
Kabel	3 067 <sup>1)</sup>	177 697	394 824

1) Davon allein 2 027 km im 110 kV-Bereich

Tabelle 5.2: Entwicklung der Investitionen der Fortleitungs- und Verteilungsanlagen nach Spannungsstufen, 1975 bis 1981

Quelle: /Kroll 1982/

Investitionen Spannungsstufen	1975		1976		1977		1978		1979		1980		1981	
	10 <sup>6</sup> DM	%												
Niederspannung	1530	33,8	1440	33,2	1540	39,4	1460	34,3	1670	37,9	1890	40,0	1790	39,0
Mittelspannung	1140	25,2	1110	25,6	1100	28,1	1180	27,7	1340	30,4	1410	29,9	1400	30,5
Hochspannung	910	20,0	760	17,5	580	14,8	670	15,7	750	17,0	580	12,3	610	13,3
Höchstspannung	950	21,0	1030	23,7	690	17,7	950	22,3	650	14,7	840	17,8	790	17,2
I n s g e s a m t	4530	100	4340	100	3910	100	4260	100	4410	100	4720	100	4590	100

6. Leistungsfähigkeit des bestehenden Verteilungsnetzes in Hinblick auf eine regionale Massierung des Elektro-Wärmeeinsatzes

Um zu einer Beurteilung der Leistungsfähigkeit des elektrischen Verteilungsnetzes als Basis für den massierten Elektro-Wärmeeinsatz zu kommen, ist es zunächst erforderlich, die gegenwärtigen Möglichkeiten des Verteilungsnetzes, im besonderen des Niederspannungsnetzes und der zugehörigen Ortsnetzstationen, darzustellen.

Zugrunde gelegt sei die Vollelektrifizierung. Diese besagt, daß für die Nutzung und den Betrieb aller Einrichtungen und Geräte in einer Wohnung außer der Beheizung nur elektrische Energie verwendet wird. Wird eine ausschließlich elektrische Beheizung mit einbezogen, so spricht man von allelektrischer Versorgung.

Die Richtwerte für die Anschlußleistungen einer vollelektrisch versorgten Wohneinheit sind in Tabelle 6.1 wiedergegeben.

Tabelle 6.1: Anschlußwerte elektrischer Geräte einer vollelektrisch versorgten Wohnung  
Quelle: /Krüger 1977/

Licht u. Kleingeräte	4 kW
Herd	10 kW
Waschmaschine	3 kW
Geschirrspüler	4 kW
Speicher/Boiler	bis 6 kW
<hr/>	
installierte Leistung	bis 27 kW

Die Möglichkeit der Warmwasserversorgung mittels eines elektrischen Durchlauferhitzers (elektr. Anschlußleistung bis ca. 24 kW) wird in den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen.

Nach Messungen der EVU's liegt die mittlere spezifische Netzlast im Falle der vollelektrischen Versorgung bei 1,5 kW je Wohneinheit (WE). Die elektrische Vorhalteleistung beträgt zur Zeit im Mittel ca. 3 kW pro WE; diese Angabe besagt, daß unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsfaktors eine WE das elektrische Niederspannungsnetz mit max. 3 kW belasten darf /Krüger 1977/.

An einen Netzstationentransformator (20 kV/380 V) mit einer Nennleistung von 630 kVA sind bei vollelektrischer Versorgung ca. 180 bis 200 Wohneinheiten angeschlossen, so daß auch von hier aus gesehen unter Berücksichtigung der Übertragungs-Verlustleistung ca. 3 kW pro WE zur Verfügung stehen.

Wird die Elektro-Nachtspeicherheizung zur Raumwärmeerzeugung im HuK (Haushalte und Kleinverbraucher)-Bereich herangezogen, so können bei einem durchschnittlichen Heizlastanteil von ca. 8 kW pro Wohnung (14 kW/WE Anschlußwert) im ländlichen Raum (Gemeinden bis etwa 20 000 Einwohner) zwischen 10 % bis 20 % aller angeschlossenen Wohnungen mit dieser Heizungsart ausgerüstet werden, ohne daß im allgemeinen im Niederspannungs- und im Mittelspannungsnetz wesentliche Investitionen erforderlich werden. Diese Aussage verliert jedoch ihre Gültigkeit, sofern örtliche Massierungen auftreten oder eine Ausweitung über den genannten Anteil hinaus angestrebt wird /VDEW/.

Bei ausschließlichem Einsatz der bivalenten Wärmepumpe zur Raumwärmerversorgung mit einer installierten Leistung von durchschnittlich 3 kW pro Wohneinheit und einem Netzlastanteil nur von der Heizung herrührend von 2,6 kW/WE (Gleichzeitigkeitsfaktor 0,85) lassen sich die angegebenen Prozentzahlen der mit Wärme versorgten Wohnungen auf ca. 20 bis 40 % erhöhen, ohne eine Netzertüchtigung durchführen zu müssen; für den Fall der örtlichen Massierung von Wärmepumpen gilt das diesbezüglich bei der Elektrospeicherheizung Gesagte.

Mit 2 Mio Wohneinheiten sind in der Bundesrepublik Deutschland rd. 8 % des gesamten Wohnungsbestandes mit Nachtstromspeicherheizung ausgestattet.

In den ländlichen Regionen wird dieser Durchschnittswert deutlich überschritten, so daß hier das elektrische Netz weitgehend ausgelastet ist und daher eine weiterreichende Versorgung mit elektrischer Raumwärme im allgemeinen eine Verstärkung des elektrischen Verteilungsnetzes bedingt.

Wird die elektrische Vorhalteleistung von z.B. 3 kW/WE überschritten, - dies entspricht dem massierten Einsatz der Elektrospeicherheizung bzw. der elektr. Wärmepumpe - so müssen in der Regel die elektrische Netze verstärkt werden.

Dabei sind grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden

- Die zusätzlich installierte elektrische Raumheizung hat keine Auswirkungen auf das Übertragungsnetz (110 kV regionales Hochspannungsnetz, 110 kV Umspannstation, 220 kV und 380 kV Netz)
- Die Spitzenlast im Übertragungsbereich erhöht sich z.B. um den gesamten zusätzlichen Leistungsbedarf für die elektr. Raumheizung.

In beiden Fällen muß jedoch das Verteilungsnetz verstärkt werden. Zunächst kann die Leistungserhöhung in den Niederspannungsnetzen durch das Einfügen zusätzlicher Netzstationen erreicht werden. Durch dieses Einfügen schrumpft das Niederspannungsnetz zu kurzen Strahlen zusammen, zu einem reinen Anschlußnetz, das nur noch dem Anschluß der einzelnen Häuser dient. Die eigentliche elektrische Verteilung geht nun auf das Mittelspannungsnetz und gegebenenfalls auf das regionale Hochspannungsnetz über. Wird die Belastungsgrenze der Mittelspannungskabel erreicht, so muß entweder eine weitere Kabelverlegung vorgenommen werden oder die Dichte der Abspannanlagen (110/20 kV) vergrößert werden.

Einen Ausnahmefall dürfte der völlig neue Ausbau von Netzen darstellen. Jedoch wird in der ländlichen Region, auch bei Streusiedlungen, eine notwendig werdende Netzertüchtigung zum Anlaß genommen werden, den Freileitungsbau - besonders im Niederspannungsbereich - durch die Verkabelung zu ersetzen.

## 7. Technik und Kosten des Netzausbaus

Ursprünglich war die elektrische Speicherheizung so konzipiert, daß nach Möglichkeit keine Festkosten für das elektrische Netz und auch für das Kraftwerk anfielen. Bei einer allelektrischen Versorgung gilt dies zumindest für das Verteilungsnetz nicht mehr. Die Lastanteile je Wohneinheit steigen z.B. auf das 5 bis 6 fache der sonst üblichen Last, wenn die Bereitstellung der Raumwärme über Nachtspeicher erfolgt; bei Einsatz der elektrischen bivalenten Wärmepumpe bzw. der Direktheizung ist der Lastanstieg entsprechend geringer. Im Falle der allelektrisch versorgten Wohnsiedlung erhält das Netz eine Lastdichte, wie sie von Wohnsiedlungen bisher nicht bekannt war. So entspricht z.B. der Anschlußwert eines elektrisch beheizten Mehrfamilienhauses dem eines ganzen Straßenzuges ohne elektrische Heizung. Die Folge ist eine Funktionsverschiebung in den verschiedenen Netzebenen durch die Entwicklung neuer Netzformen, um bei steigender Leistungsfähigkeit eine Degression der spezifischen Leitungskosten zu erreichen: Das Niederspannungsnetz schrumpft zu reinen Anschlußleitungen von den Ortsnetztransformatoren (Ortsnetzstationen) zu den einzelnen Häusern bzw. Wohneinheiten zusammen. Die eigentlichen Verteilungsaufgaben werden jetzt vom Mittel- und regionalen Hochspannungsnetz übernommen /VDEW 1970/.

Ein Charakteristikum des Netzes für allelektrische Versorgung ist die wesentlich höhere Anzahl von Ortsnetztransformatoren, für die aus technischen und wirtschaftlichen Gründen keine Reserven mehr vorgesehen werden. Der Ausfall eines Transformators entspricht nun dem Ausfall eines Niederspannungskabels bzw. einer Niederspannungs-Freileitungsstrecke im bisher üblichen Netz. Für ein schnelles Auswechseln des Transformators muß selbstverständlich gesorgt werden; der Zeitaufwand liegt in der gleichen Größenordnung wie bei einer bisherigen Niederspannungskabelreparatur. Dies wird durch eine weitgehende Standardisierung der Transformatorentypen erreicht. Auch die Netzstationen selbst, begeh- oder nicht begehbar, werden in Quasi-Serienproduktion hergestellt /Harz et al. 1982/.

Im Mittelspannungsbereich 20 kV bzw. 10 kV werden Freileitungen zumeist durch Kabelführungen ersetzt. Dies gilt auch für Erweiterungen und Neu-

bau, nicht zuletzt deswegen, weil für Überspannungs- und Mastentschädigungen hohe Kosten entstanden /Blechsmidt et al. 1980/.

Im Niederspannungsnetz erfolgt der Netzneubau auch in ländlichen Streu- gebieten in der Regel als Erdkabeltechnik zu beiden Straßenseiten. Bei einer Netzertüchtigung wird der Ersatz der Freileitung durch Erdkabel angestrebt.

Im regionalen Hochspannungsnetz (110 kV) wird im ländlichen Raum die Freileitung dominieren; im städtischen Bereich wird im Rahmen der Netz- ertüchtigung oder des Netzneubaus die Verkabelung vorgezogen /Nitsch et al. 1981, S. 101 bis 103/.

In Abbildung 7.1 ist eine Kostengegenüberstellung gegliedert nach den Spannungsebenen 110 kV, 10 kV (20 kV), 0,4 kV für ein Netz von 2 kW je Wohneinheit und 12 kW je Wohneinheit vorgenommen /Niehage 1969/. Die sechsfache Netzlast erfordert demnach einen Mehraufwand von 70 %.

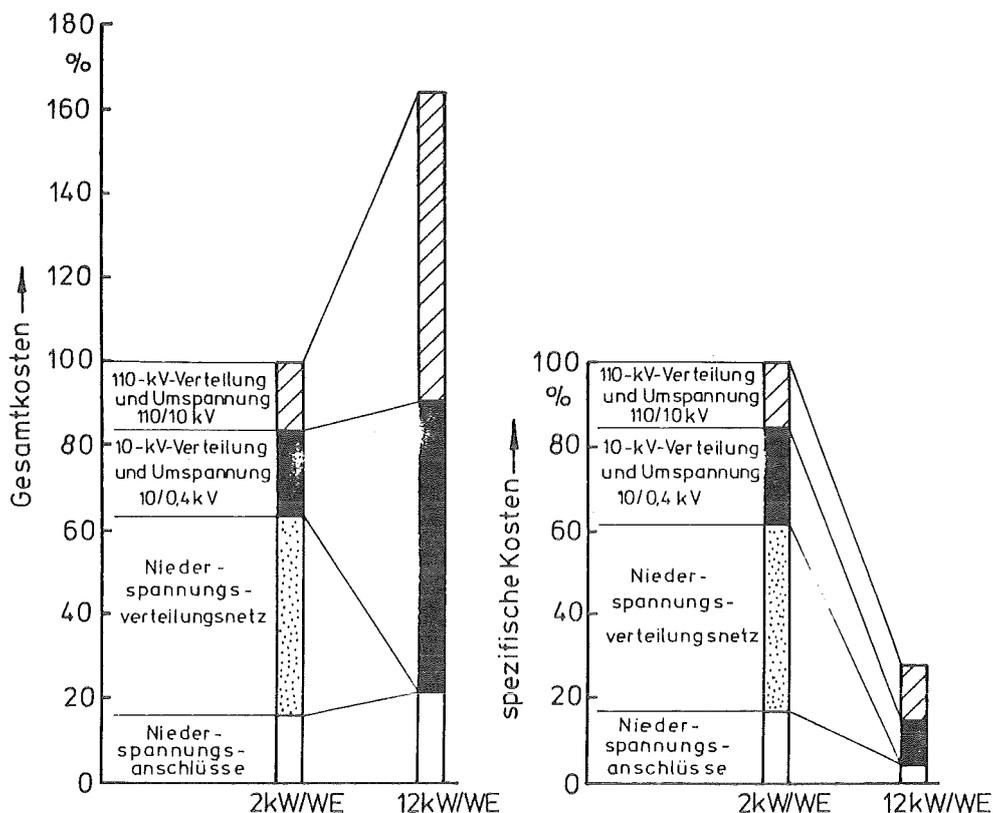


Abb. 7.1: Netzkostenvergleich einer Wohnsiedlung mit projektierten Leistungen von 2 kW/WE und 12 kW/WE  
Quelle: /Niehage 1969/

Das Schwergewicht der Anlagekosten verschiebt sich in Richtung Trafostation und Mittelspannungsnetz sowie dem regionalen Hochspannungsnetz (Letzterer Posten ist eher beim Netzneubau als beim Netzausbau von Belang). Die Kosten für das Niederspannungsverteilungsnetz sind praktisch zu vernachlässigen und die Kosten für Niederspannungsanschlüsse vergrößern sich nur unwesentlich. Dies bedeutet, daß die Mehrkosten für das elektrische Verteilungsnetz von der Siedlungsdichte weitgehend unabhängig sein müssen, eine Schlußfolgerung, die auch durch die praktischen Untersuchungen von Moditz bestätigt wurden /Moditz 1975, S. 120/.

Auch Moditz /Moditz 1975, S. 122/ gibt durchschnittlich etwa 100 % Mehrkosten bei allelektrischer Versorgung gegenüber der vollelektrischen Versorgung an; der Unterschied gegenüber den Angaben von Niehage /Niehage 1969/ ist unter anderem darin begründet, daß dieser im Gegensatz zu Moditz von äußerst vereinfachten Ortsnetzstationen und Umspannungsstationen ausgeht, und Moditz nur das Mittelspannungsnetz, Ortsnetzstationen und Niederspannungsnetz betrachtet.

### 7.1 Kosten bei Ertüchtigung des Verteilungsnetzes

In der Regel ist das elektrische Netz der Forderung nach massierter Versorgung von ganzen Wohnsiedlungen mit Elektro-Wärme nicht gewachsen. Um dieser Anforderung zu genügen, ist es notwendig das Netz leistungsmäßig auszubauen. Diese Netzverstärkung wird als Netzertüchtigung bezeichnet.

Bei der Ertüchtigung sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- 1) Nur die Ertüchtigung des Mittel- u. Niederspannungsnetzes einschließlich Ortsnetztransformatoren (20 kV/0,4 kV bzw. 10 kV/0,4 kV) ist erforderlich.

Im allgemeinen ist dies der Normalfall, das regionale Hochspannungsnetz (110 kV) und die Umspannstationen (110/20 kV bzw. 110/10 kV) genügen den erweiterten Anforderungen.

- 2) Außer der Mittel- u. Niederspannungsnetzebene muß auch die Leistung des regionalen Hochspannungsnetzes sowie die Kapazität der Umspannwerke erhöht werden.

Dieser Fall kann dann eintreten, wenn die Netze ganzer Siedlungsge-

bierte für die Versorgung der Wohnungen mit Elektro-Wärme ertüchtigt werden müssen. Doch scheint das 380 kV- und 220 kV-Verbundnetz den höheren Lastanforderungen noch gewachsen zu sein /Nitsch et al. 1981, S. 172ff/.

Die nachfolgenden Ausführungen über die Kosten, die bei der Netzertüchtigung anfallen, sollen daher im wesentlichen für den Fall 1. gemacht werden.

a) Speicherheizung

Bei Einsatz der Nachtspeicher- oder Pendelspeicherheizung liegt die Netzlast pro WE (Wohneinheit), nur hervorgerufen durch die Heizung, im Niederspannungsnetz zwischen 8 kW und 10 kW. Um diesen Lastzuwachs abzufangen, ist es zunächst notwendig, die spezifische Leistungsfähigkeit der Ortsnetzstationen zu erhöhen. Die Nennleistung der heute meist eingesetzten Ortsnetztransformatoren liegt bei der Modernisierung von elektrischen Netzen bei 630 kVA; jedoch sind auch noch Transformatoren mit einer Nennleistung von 400 kVA im Einsatz.

Versorgte z.B. im Falle der vollektrischen Versorgung eine Ortsnetzstation, Nennleistung 630 kVA, noch ca. 200 Wohneinheiten, so erniedrigt sich diese Anzahl im Falle der Speicherheizung auf ca. 50 Wohneinheiten. Bei dieser Wohneinheitenzahl liegt nach Meßwerten der EVU's der nichtheizungsgebundene Netzlastanteil (Normalverbrauch) pro Wohneinheit zwischen 1,8 kW und 2,9 kW /Krüger 1977/. Die Gesamtnetzlast beläuft sich somit auf ca. 12 kW/WE bei tiefster Außentemperatur. Die Ortsnetzstation (630 kVA) ist nach Abzug der Übertragungsverlustleistung mit 50 WE à 12 kW ausgelastet, jedoch ist die Überlastbarkeit des Transformators noch nicht ausgenutzt und steht z.B. als Reserve im Winter zur Verfügung.

Im Falle der allelektrischen Versorgung erhöht sich in diesem Netzlastbeispiel die Transformatorleistung der Ortsnetzstationen um das Vierfache gegenüber der vollektrischen Versorgung.

Erklärlicherweise steigt der Anteil der Transformatorkosten gegenüber

der Vollversorgung stark an /Stadtwerke Tübingen 1980/. Beträgt die Aufteilung der Kosten im Falle der elektrischen Vollversorgung

Niederspannungsnetz (Kabel)	38 %
Orts-Netzstationen (Transformatoren)	17 %
Mittelspannungsnetz (Kabel 20 kV)	45 %

so lautet die Aufteilung im Falle der allelektrischen Versorgung

Niederspannungsnetz (Kabel)	28 %
Orts-Netzstationen (Transformatoren)	40 %
Mittelspannungsnetz (Kabel 20 kV)	32 %

Der Kostenanteil der Ortsnetztransformatoren kann jedoch auch wesentlich höher liegen. So untersuchte H. Moditz das Verteilungsnetz von 14 allelektrisch versorgten Siedlungen; der relative Kostenanteil der Trafostationen bewegte sich zwischen 31 % und 71 %. Die durchschnittliche Kostenverteilung belief sich auf 57 % für Trafos, 26 % für Mittelspannungsnetz und 17 % für Niederspannungsnetz. Seine Untersuchungen für Einfamilienhaus-Siedlungen ergaben im Durchschnitt 40 % Trafokosten, 45 % Mittelspannungsnetzkosten und 15 % Niederspannungsnetzkosten /Moditz 1975, S. 121/.

Studien zu Netzertüchtigungen für zwei Ortsteile in Baden-Württemberg ergaben bei 10 kW Heizlastanteil pro WE und bezogen auf die Nennleistung der Transformatorkapazität, um welche die Erweiterung und damit Ertüchtigung der Netze durchgeführt wurde, die in Tabelle 7.1 dargelegte Kostenaufteilung /Krüger 1980 und 1981/. Wie zu erwarten liegt der Hauptkostenanteil bei den Orts-Netzstationen; der Rest verteilt sich paritätisch auf die Mittel- und Niederspannungsnetzertüchtigung.

Tabelle 7.1: Spezifische Netzertüchtigungskosten bezogen auf die Transformennleistung, aufgeschlüsselt nach Netzkomponenten bei Einsatz der Elektrospeicherheizung (Heiznetzlast 10 kW/WE)

Ort \ Netzkomponente	A		B	
	DM/kVA	%	DM/kVA	%
Niederspannungs-Netz (380 V)	~ 58	27	38	21
Orts-Netzstationen (20 kV/380 V)	96	46	100	56
Mittelspannungs-Netz (20 kV)	~ 56	27	42	23

Mit einem Heizlastanteil von 10 kW pro WE errechneten sich in diesen Studien Netzertüchtigungskosten (Preisindex 1980) von 190 DM bzw. 200 DM pro kW Heiznetzlast oder 127 DM bzw. 131 DM pro kW installierter Heizleistung (15 kW). Ausgedrückt je Abnehmer beliefen sich die spezifischen Investitionen auf 1900 DM bzw. 1930 DM pro Wohneinheit (siehe hierzu Tabelle 7.2). In diesen beiden Untersuchungen handelt es sich im Falle des Niederspannungsnetzes überwiegend um ein Freileitungsnetz, das beibehalten und auf 95 mm<sup>2</sup> Al. verstärkt wurde.

Tabelle 7.2: Spezifische Netzertüchtigungskosten bei Einsatz der Elektrospeicherheizung; installierte Heizleistung 15 kW/WE; Heiznetzlast 10 kW/WE (o. MWSt)

Spez. Kosten \ Ort	DM/WE	pro Kilowatt installierter Heizlast (15 kW)	pro Kilowatt Heiznetzlast (10 kW)
		DM/WE · kW	DM/WE · kW
Ort A	1900	127	190
Ort B	1930	131	200

Für die Hausanschlüsse werden im allgemeinen für die elektrische Vollversorgung in Ein- bzw. Zweifamilienhäusern  $35 \text{ mm}^2$  Al. oder  $25 \text{ mm}^2$  Cu verwendet. Diese Querschnitte sind in der Regel auch für allelektrische Versorgung ausreichend, so daß eine Verstärkung des Hausanschlusses entfällt.

Fünf Versorgungsunternehmen haben gemittelte Netzzuwachskosten angegeben, die bei Einführung einer Speicherheizung, bei Durchführung der dazu notwendigen Netzertüchtigung anfallen würden; die Kosten wurden aus dem Wiederbeschaffungswert vorhandener Anlagen ermittelt /Arbeitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/ (siehe auch Anlage Tabelle A, 1 und Tabelle A, 2). Aus diesen Angaben wurde für die Region "Ländliche Gebiete mit Dorfcharakter, städtisches Umfeld" (zweigeschossige Häuser; Lastdichte  $0,5$  bis  $2 \text{ MVA/km}^2$ ; Einwohnerdichte  $700$  bis  $2500 \text{ EW/km}^2$ ; Wohnungsdichte  $250$  bis  $1000 \text{ WE/km}^2$ ) die Investitionen für die einzelnen Versorgungsebenen des Netzes errechnet, die bei einer Erweiterung um eine  $630 \text{ kVA}$ -Trafostation, d.h. einer Erhöhung der Höchstleistung im Niederspannungsnetz um  $630 \text{ kVA}$  getätigt werden müßten (siehe auch Tabelle 7.3). Im Verteilungsnetz würden - bezogen auf die Nennleistung des Trafos ( $630 \text{ kVA}$ ) folgende Kosten anfallen:

Niederspannungsnetz	:	$375 \text{ DM/kVA} = 65 \%$
Orts-Netzstation	:	$110 \text{ DM/kVA} = 19 \%$
Mittelspannungsnetz	:	$91 \text{ DM/kVA} = 16 \%$

Kann man den Annahmen hinsichtlich der Trafokosten noch zustimmen, so sind die Angaben bezüglich des Niederspannungsnetzes und damit die relative Kostenaufschlüsselung auf die einzelnen Komponenten des Verteilungsnetzes unverständlich (siehe auch Anlage Tabelle A, 5) /VDEW 1970, Seite 63ff/. Mit Gesamtkosten von  $576 \text{ DM/kVA}$  und einem Lastanteil von  $10 \text{ kW}$  pro Wohneinheit wären pro Abnehmer ca.  $5800 \text{ DM}$  bei Netzertüchtigung zu entrichten!

Bei massiertem Einsatz der Speicherheizung kann auch der Ausbau des Hochspannungsverteilungsnetzes sowie des Hochspannungstransportnetzes erforderlich werden; es errechnen sich für die Region "Ländliche Gebiete, städtisches Umfeld" aus den Datenangaben der gleichen Gruppe /Ar-

beitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/ für die Einzelkomponenten dieses Teilnetzes die Investitionskosten mit:

Umspannstation (z.B. 110 kV/20 kV):	107 DM/kVA
Regionales Hochspannungsnetz (110 kV):	72 DM/kVA
Hochspannungstransportnetz:	77 DM/kVA

Alle Angaben sind wiederum auf die Leistung des Ortsnetztransformators bezogen. Bei 10 kW/WE Heizlast im Niederspannungsnetz müßte der Abnehmer nach diesen Angaben zusätzlich ca. 2600 DM entrichten. Auch diese Zahlenwerte dürften die Verhältnisse, wie sie in der Realität angetroffen werden, sicherlich übersteigen.

In Tabelle 7.3 ist für diese Region die Schrittabfolge, die zur Ermittlung der Jahreskosten führt, welcher bei einer Erhöhung der Höchstleistung im Niederspannungsnetz um 630 kVA bedingt durch den Einsatz weiterer Speicherheizanlagen zusätzlich anfallen, beispielhaft niedergelegt. Die Gesamtjahreskosten belaufen sich auf ca. 108 DM/kVA, was bei einer Nutzung der Speicherheizanlagen von 2000 Stunden pro Jahr einen Beitrag zur Abdeckung der Investitionen für die Netzertüchtigung von ca. 5,4 Pf/kWh (o. MWSt) erfordert. Erweist sich eine Ertüchtigung der Umspannstation (110 kV/20 kV) sowie des Hochspannungs- Verteilungs- und -Transportnetzes als nicht erforderlich, so reduziert sich diese zusätzliche Aufwendung auf ca. 78 DM/kVA bzw. auf ca. 3,9 Pf/kWh.

Die Ergebnisse für weitere Regionen sind in der Anlage wiedergegeben (Tabelle A, 3 und Tabelle A, 4).

Tab. 7.3: Ermittlung der Jahreskosten bei Erhöhung der Höchstleistung im Niederspannungsnetz um 630 kVA, Versorgungsstruktur II, Ländliche Gebiete mit Dorfcharakter, städtisches Umfeld

Versorgungsnetzebene	Höchstlastanteil	Zunahme der Höchstleistung kVA	Spezifische Netzzuwachskosten DM/kVA	Netzzuwachskosten TDM	Nutzungsdauer Jahren	Annuitätsfaktor	Jahreskosten					
							Kapitaldienst TDM/a	Betriebs- und Instandhaltungskosten %	TDM/a	Netzverluste %	Kosten für Netzverluste TDM/a	Gesamtjahreskosten TDM/a
Niederspannungsnetz 380 V	1	630	375	236,2	30	0,106	25,0	2,5	5,9	} 5	1,5	32,5
Orts-Netzstation 20 kV/380 V	1	630	110	69,3	30	0,106	7,3	2,5	1,7		0,5	9,5
Mittelspannungsnetz 20 kV	0,73	460	125	57,5	30	0,106	6,1	1,5	0,9	} 2	0,1	7,1
Umspannstation 110 kV/20 kV	0,67	422	160	67,2	30	0,106	7,1	1,5	1,0		0,2	8,3
Regionales Hochspannungsnetz 110 kV	0,65	410	110	45,1	30	0,106	4,8	0,7	0,3	} 1,2	0,1	5,2
Hochspannungs-transportnetz	0,64	403	120	48,4	30	0,106	5,1	0,7	0,3		0,1	5,5
G e s a m t				523,7								68,1

Gesamtjahreskosten, alle Versorgungsebenen: 108 DM/kVA; bei 2000 Betriebsstunden pro Jahr: 5,4 Pf/kWh

Gesamtjahreskosten, nur örtliches Verteilungsnetz: 78 DM/kVA; bei 2000 Betriebsstunden pro Jahr: 3,9 Pf/kWh

b) Wärmepumpe

Es wird angenommen, daß die elektrische bivalente Wärmepumpe mit einer Anschlußleistung von 3 kW/WE eingesetzt wird. Bei einem Netzlastanteil (Gleichzeitigkeitsfaktor 0,85) der elektrischen Wärmepumpe von 2,6 kW/WE und einem Lastanteil von 2,5 kW/WE für sonstigen Stromverbrauch ergibt sich in Summa eine Netzlast von 5,1 kW/WE.

Dies bedeutet, daß bei regional konzentriertem Einsatz der Elektrowärmepumpe eine angepaßte Ertüchtigung des elektrischen Verteilungsnetzes vorgenommen werden muß.

Durchgeführte überschlagsmäßige Berechnungen am Beispiel zweier Ortsnetzertüchtigungen führten zu den in Tabelle 7.4 und Tabelle 7.5 festgehaltenen Ergebnissen. In Tabelle 7.4 wurden auch die Kosten angegeben, die dann bei der Ertüchtigung entstehen, wenn die Option zur Speicherheizung offengehalten wird. In beiden Tabellen sind nochmals die Netzertüchtigungskosten für den Fall der Speicherheizung mit aufgenommen.

Tabelle 7.4: Spezifische Netzertüchtigungskosten pro Wohneinheit bei Einsatz der Wärmepumpe bzw. Elektrospeicherheizung (o.MWSt)

Netzertüchtigungsart Ort	Heizung durch Wärmepumpe (2,6 kW/WE Heiznetzlast)	Heizung durch Wärmepumpe; Möglichkeit der Erweiterung zur Elektrospeicherheizung (10 kW/WE Heiznetzlast)	Elektrospeicherheizung (10 kW/WE Heiznetzlast)
Ort A	1300 DM/WE	1450 DM/WE	1900 DM/WE
Ort B	1100 DM/WE	1300 DM/WE	1930 DM/WE

Tabelle 7.5: Mittlere relative Kosten der Netzkomponenten in den Orten A und B

Heizungsart Netzkomponente	Wärmepumpe (2,6 kW/WE Heiznetz- last)	Elektrospeicher (10 kW/WE Heiz- netzlast)
Niederspannungs-Netz (0,4 kV)	35 %	25 %
Mittelspannungs-Netz (20 kV)	35 %	25 %
Netzstationen (20 kV/380 V)	30 %	50 %

Es zeigt sich, wie aus Tabelle 7.4 ersichtlich wird, daß es sinnvoll erscheint, wegen der relativ geringen Mehrkosten von 12 % bzw. 18 %, die Netzertüchtigung für den Wärmepumpenbereich gleich so vorzunehmen, daß z.B. ein späterer zusätzlicher massierter Einsatz der Elektrospeicherheizung möglich wird. Der Netzausbau wird dann derart durchgeführt, daß die Netzstationen nicht voll bestückt werden, jedoch das Mittel- und Niederspannungsnetz gemäß den Anforderungen beim Speicherheizungs- bereich ertüchtigt werden.

Aus den Tabellen wird auch klar, wie sehr gerade die Transformatorkosten auf die Gesamtkosten durchschlagen. Je nach Ausbauart bei der Netzertüchtigung für den massierten Einsatz von elektrischen Wärmepumpen liegt die Ersparnis gegenüber dem Ausbau für allelektrische Versorgung zwischen 600 DM/WE (Ort A) und ca. 800 DM/WE (Ort B), bzw. 450 DM/WE (Ort A) und ca. 600 DM/WE (Ort B); die relative Ersparnis beträgt im Mittel 35 % bzw. 25 %.

In Tabelle 7.6 sind nochmals die spezifischen Kosten der Netzertüchtigung dem Falle des Wärmepumpeneinsatzes dem des Speicherheizungseinsatzes gegenübergestellt.

Tabelle 7.6: Spezifische Netzertüchtigungskosten pro Wohneinheit und Kilowatt installierter Heizleistung bei Wärmepumpen- bzw. Elektrospeichereinsatz (o. MWSt)

Ort \ Spez. Kosten DM/kW·WE	Wärmepumpe (3 kW/WE)	Elektrospeicher (15 kW/WE)
Ort A	430 bis 485	127
Ort B	370 bis 435	131

## 7.2 Neubau von Verteilungsnetzen

Die spezifischen Netzkosten wie sie von der VDEW für Versorgungsgebiete angegeben werden, die ausschließlich mit Speicherheizungsanlagen ausgestattet sind und deren Netze bereits bei der Planung für den Leistungsbedarf der Raumwärme ausgelegt werden, sind in Tabelle 7.7 aufgeführt. Die spezifischen Netzkosten wurden unter Berücksichtigung der Höchstlastanteile ermittelt.

Tabelle 7.7: Spezifische Netzkosten für Speicherheizung in Neubaugebieten mit mittlerer Versorgungsstruktur

Quelle: /Arbeitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/

Netzebene	Mittelwert DM/kVA
Niederspannungsnetz	45
Netzstationen	50
Mittelspannungsnetz	55
S u m m e	150
Streubreite je nach Bebauungsstruktur und Netzkonzeption	105 bis 190

Die Kostenangaben bezüglich der Netzstationen scheinen zu gering angesetzt, da die Trafokosten eher bei 100 DM/kVA als bei 50 DM/kVA anzusetzen sind.

Aus dem Energieversorgungskonzept einer Stadt in Baden-Württemberg, werden für den projektierten Neubau einer Wohnsiedlung die Möglichkeiten der Errichtung des elektrischen Netzes für Pendelspeicherheizung (5,5 kW/WE Heiznetzlast) oder für Nachtspeicherheizung (10 kW/WE Heiznetzlast) untersucht /Stadtwerke Tübingen 1980/. Die Mehrkosten des Verteilungsnetzes (Nieder-, Mittelspannung und Trafokosten) im Falle der Nachtspeicherheizung betragen ca. 43 % gegenüber der Pendelspeicherheizung; dies ist u.a. auf die doppelte Kapazität der Ortsnetztransformatoren (entsprechend der fast doppelt so hohen Heiznetzlast) zurückzuführen.

Aus den Angaben des Energiekonzepts dieser Mittelstadt und eigenen Berechnungen wurden die spezifischen Kosten für den Netzneubau bei Versorgung der projektierten Siedlung mit Raumwärme durch die elektrische bivalente Wärmepumpe ermittelt. Bei einer Heiznetzlast von 2,6 kW/WE betrage die Gesamtnetzlast 5,1 kW pro Wohneinheit. Die spezifischen Kosten pro Wohneinheit sind in Tabelle 7.8 aufgeführt; sie enthalten die Investitionen für Nieder-, Mittelspannungsnetz und Ortsnetzstationen. Auch hier wurde der mögliche Ausbau des Netzes für Speicherheizzwecke berücksichtigt. Die Mehrkosten zur eventuellen späteren Pendelspeicherheizungsnutzung belaufen sich auf ca. 12 %, zur Nachtspeichernutzung auf ca. 23 %.

Tabelle 7.8: Spezifische Kosten für Netzneubau (Nieder-, Mittelspannungsnetz, Ortsnetzstationen) bei Einsatz der elektrischen Wärmepumpe (o. MWSt)

spez. Kosten Netzausbauart	DM/WE	bei 2,6 kW Heiznetzlast DM/kW·WE
Ausbaumöglichkeit zur Pendelspeicherheizung	2 000	770
Ausbaumöglichkeit zur Nachtspeicherheizung	2 200	850
Ausbau nicht vorgesehen	1 800	690

## 8. Zusammenfassung

Die Verdrängung des Erdöls zur Raumwärmeerzeugung im HuK-Bereich wird in den Stadtregionen primär durch die rohrleitungsgebundene Energieträger wie Gas und Fernwärme durchgeführt. In ländlichen Gebieten - und hierzu zählen auch die ländlich strukturierten Stadtteile - wird die Substitution des Erdöls in erster Linie durch elektrische Energie erfolgen. Untersuchungen haben gezeigt, daß von den rund 8,7 Millionen Wohnungen im ländlichen Raum bis zum Jahre 2000 ca. 5 Millionen Wohnungen als Potential für den Einsatz der Elektrizität zur Raumwärmeerzeugung zur Verfügung stehen.

Als mögliche Elektroheizsysteme werden in Betracht gezogen die Nachtstromspeicherheizung, die Teilspeicherheizung besonders in ihrer Ausführungsform als Pendelspeicherheizung, die bivalent-alternative Wärmepumpenheizung und gegebenenfalls die Direktheizung. Aufgrund verschieden hoher Nennleistungen, Gleichzeitigkeitsfaktoren und unterschiedlicher Lastgänge der genannten Systeme ergeben sich differenzierte Einführungsmöglichkeiten.

Werden in erster Linie die Netzertüchtigungskosten als entscheidendes Kriterium für die Auswahl des Elektroheizsystems herangezogen, so wird die Nachtspeicherheizung vornehmlich verwendet, um kraftwerkseitig vorhandene Nachttäler auszufüllen; die Direktheizung, aber auch die Pendelspeicherheizung und die Wärmepumpe werden dann bevorzugt eingesetzt, wenn keine Nachttäler im elektrischen Netz des betrachteten Ortsteiles mehr vorhanden sind.

Ohne Änderungen an den existierenden Verteilungsnetzen (Nieder-, Mittelspannungsnetz und Ortsnetztransformatoren) vornehmen zu müssen sind im Falle der Nachtspeicherheizung (mittlere Anschlußleistung 15 kW pro Wohneinheit) ca. 10 % bis 20 % der Wohneinheiten elektrisch beheizbar. Bei flächenhafter Versorgung des ländlichen Siedlungsraumes ist jedoch bei allen genannten Heizungsarten eine Netzverstärkung (Netzertüchtigung) notwendig. In der Regel genügt es, das Verteilungsnetz auszubauen; bei 15 kW Anschlußleistung (bzw. 10 kW Heiznetzlast) pro Wohneinheit belaufen sich die anfallenden Kosten laut zweier durchgeführter Regionalbeispiele im Freileitungsbau auf ca. 1900 DM (o. MWSt) pro Wohneinheit. Muß jedoch das zugeordnete regionale Hochspannungsnetz (das sind die 110 kV-Leitung sowie die Umspannstation

110 kV/20 kV bzw. 110 kV/10 kV) so wie das Hochspannungstransportnetz ertüchtigt werden, so steigen die Kosten erheblich an (um ca. 40 %).

Aus diesem Grunde wird man bestrebt sein, bei ausgeglichener Ganglinie des jeweils betrachteten regionalen Ortsnetzes, die Netzlast gleichmäßig über den ganzen 24 h-Tag verteilt zu erhöhen und die pro Wohneinheit ausgewiesene Netzlast so klein wie möglich zu halten. Hier bietet sich z.B. die Direktheizung (ca. 3 kW bis 5 kW Heiznetzlastanteil pro Wohnung) an. Lastspitzen, die nicht in ein Tal der Ganglinie des regionalen Netzes fallen, sind zu vermeiden, weil dafür eine zusätzliche und damit kostenintensive Netzertüchtigung notwendig wird.

Bei massiertem Einsatz von elektrischen Heizsystemen wird man darüber hinaus, um die Verteilungsnetze kostenoptimal ausbauen und nutzen zu können, in erheblich stärkerem Maße als bisher lastgeführte Tonfrequenz-Rundsteueranlagen einsetzen müssen. Die Sperr- und Freigabezeiten aller installierter Elektroheizsysteme eines Versorgungsbereiches können mittels dieser Steuereinrichtungen so harmonisiert werden, daß eine gleichmäßig hohe und damit kostengünstige Auslastung aller Betriebsmittel durch das Energieversorgungsunternehmen erreicht wird.

A N L A G E

Tabelle A, 1: Übersicht der betrachteten Versorgungsgebiete mit unterschiedlicher Bebauungsstruktur  
 Quelle: /Arbeitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/

Versorgungsstruktur	Beschreibung	Kurzbezeichnung nach Bau NVO 1)	Mittlere Geschoßzahl	Lastdichte <sup>+) MVA/km<sup>2</sup></sup>	Einwohnerdichte <sup>+) EW/km<sup>2</sup></sup>	Wohnungsdichte <sup>+) WE/km<sup>2</sup></sup>
I	Ländliche Gebiete mit Streusiedlungscharakter	MD, WS	2	bis 0,5	< 700	< 250
II	Ländliche Gebiete mit Dorfcharakter, städtisches Umfeld	MD, WS, MI, WR	2	0,5 bis 2	700 bis 2500	1000 bis 1000
III	Klein- und Mittelstädte, großstädtische Randzonen	WR, WA, WS, MI, GE	2 bis 3	2 bis 5	2500 bis 6000	1000 bis 2500
IV	Innenstädte	WR, WA, MI, MK, GE	4	5 bis 20	} > 6000	} > 2500
V	Kernzonen von Großstädten	MK, MI, WA	6 und mehr	über 20		

1) Erläuterung der Kurzzeichen nach Bau NVO

Wohnbauflächen

- Kleinsiedlungsgebiete WS
- Reines Wohngebiet WR
- Allgemeines Wohngebiet WA

Gemischte Bauflächen

- Dorfgebiet MD
- Mischgebiet MI
- Kerngebiet MK

Gewerbliche Bauflächen

- Gewerbegebiet GE

<sup>+) Bei der Ermittlung der Dichte blieben Flächen, die nicht oder in nur unbedeutendem Umfang mit Strom versorgt werden, wie Seen, Wälder, Heide, landwirtschaftlich genutzte Landstriche ohne Höfe etc. außer Ansatz. Die Angaben für Einwohner- und Wohnungsdichte sind nur zutreffend, sofern es sich um überwiegende Wohnbebauung handelt.</sup>

Tabelle A, 2: Netzkosten und Netzzuwachskosten in den verschiedenen Versorgungsnetzebenen und Versorgungsstrukturen  
 (Die Angaben stellen Mittelwerte dar)  
 Quelle: /Arbeitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/

Versorgungsnetzebene	Nutzungsdauer	Betriebs- und Instandhaltung	Netzverluste	Versorgungsstruktur									
				I		II		III		IV		V	
	Jahre	% vom Wiederbeschaffungswert	%	a <sup>+</sup> )	b <sup>+</sup> )	a	b	a	b	a	b	a	b
Hausanschluß		} 2,5	} 5,0	(individuelle Hausanschlußkosten)									
Niederspannungsnetz	30			1480	420	860	375	700	320	670	290	610	275
Orts-Netzstationen	30	2,5		420	175	170	110	165	110	125	100	125	100
Mittelspannungsnetz	35	1,5	} 2,0	590	250	350	125	320	115	220	105	190	90
Umspannstation	30	1,5		510	245	260	160	195	125	180	115	180	115
Regionales Hochspannungsnetz	35	} 0,7	} 1,2	340	155	180	110	100	55	140	75	130	70
Hochspannungs-Transportnetz	35			a = 215 b = 120									
				+) a = spezifische Netzkosten b = spezifische Netzzuwachskosten									

Legende zu Tabelle A, 2 (Text nach Quelle /Arbeitsgemeinschaft Parameterstudie 1983/)

"Die spezifischen Netzkosten werden ermittelt aus den Wiederbeschaffungswerten der Anlagen und der mittleren Auslastung in den einzelnen Netzebenen.

Die spezifischen Netzzuwachskosten ergeben sich aus der Division der zusätzlichen Investitionen, die erforderlich sind, um die Übertragungsfähigkeit des Netzes zu erhöhen, durch den Zuwachs an Übertragungskapazität.

Die spezifischen Netzkosten bzw. Netzzuwachskosten sind bezogen:

- für das Niederspannungsnetz und für die Orts-Netzstationen auf die Höchstleistung in den Orts-Netzstationen,
- für das Mittelspannungsnetz und für die Umspannstationen auf die Höchstleistung in den Umspannstationen und
- für das Hochspannungsnetz auf die Höchstleistung in der Übertragung.

Zur Ermittlung der Gesamtkosten müssen die Kostenanteile der einzelnen Netzebenen unter Berücksichtigung der Höchstlastanteile summiert werden. Da die Höchstleistung innerhalb einer Versorgungsnetzebene zeitlich meist nicht mit der Höchstleistung des Gesamtnetzes zusammenfällt, stellt sich in den übergeordneten Ebenen eine resultierende Lastganglinie ein, deren Maximum nicht identisch ist mit dem Summenwert der verschiedenen Lastganglinien in den nachgeordneten Ebenen."

Tabelle A, 3: Ermittlung der Jahreskosten bei Erhöhung der Höchstleistung im Niederspannungsnetz um 630 kVA, Versorgungsstruktur I; Ländliche Gebiete mit Streusiedlungscharakter

Versorgungsnetzebene	Höchstlastanteil	Zunahme der Höchstleistung kVA	Spezifische Netzzuwachskosten DM/kVA	Netzzuwachskosten TDM	Nutzungsdauer Jahren	Annuitätsfaktor	Jahreskosten					
							Kapitaldienst TDM/a	Betriebs- und Instandhaltungskosten %	TDM/a	Netzverluste %	Kosten für Netzverluste TDM/a	Gesamtjahreskosten TDM/a
Niederspannungsnetz 380 V	1	630	420	264,6	30	0,106	28,0	2,5	6,6	} 5	1,7	36,4
Orts-Netzstation 20 kV/380 V	1	630	175	110,2	30	0,106	11,7	2,5	2,8		0,7	15,2
Mittelspannungsnetz 20 kV	0,73	460	250	115,0	30	0,106	12,2	1,5	1,7	} 2	0,3	14,2
Umspannstation 110 kV/20 kV	0,67	422	245	103,4	30	0,106	11,0	1,5	1,6		0,2	12,8
Regionales Hochspannungsnetz 110 kV	0,65	410	155	63,6	30	0,106	6,7	0,7	0,4	} 1,2	0,1	7,3
Hochspannungs-transportnetz	0,64	403	120	48,4	30	0,106	5,1	0,7	0,3		0,1	5,5
G e s a m t				705,2								91,4

Gesamtjahreskosten, alle Versorgungsnetzebenen: 145 DM/kVA; bei 2000 Betriebsstunden pro Jahr: 7,2 Pf/kWh  
 Gesamtkosten, nur örtliches Verteilungsnetz: 104 DM/kVA; bei 2000 Betriebsstunden pro Jahr: 5,2 Pf/kWh

Tabelle A, 4: Ermittlung der Jahreskosten bei Erhöhung der Höchstleistung im Niederspannungsnetz um 630 kVA, Versorgungsstruktur III, Klein- und Mittelstädte, großstädtische Randzonen

Versorgungsnetzebene	Höchstlastanteil	Zunahme der Höchstleistung kVA	Spezifische Netzzuwachskosten DM/kVA	Netzzuwachskosten TDM	Nutzungsdauer Jahren	Annuitätsfaktor	Jahreskosten					
							Kapitaldienst TDM/a	Betriebs- und Instandhaltungskosten %	Betriebs- und Instandhaltungskosten TDM/a	Netzverluste %	Kosten für Netzverluste TDM/a	Gesamtjahreskosten TDM/a
Niederspannungsnetz 380 V	1	630	320	201,6	30	0,106	21,4	2,5	5,0	} 5	1,32	27,7
Orts-Netzstation 20 kV/380 V	1	630	110	69,3	30	0,106	7,4	2,5	1,7		0,45	9,5
Mittelspannungsnetz 20 kV	0,73	460	115	52,9	30	0,106	5,6	1,5	0,8	} 2	0,13	6,5
Umspannstation 110 kV/20 kV	0,67	422	125	52,8	30	0,106	5,6	1,5	0,8		0,13	6,5
Regionales Hochspannungsnetz 110 kV	0,65	410	55	22,5	30	0,106	2,4	0,7	0,2	} 1,2	0,03	2,6
Hochspannungs-transportnetz	0,64	403	120	48,4	30	0,106	5,1	0,7	0,3		0,07	5,5
G e s a m t				447,5								58,3

Gesamtjahreskosten, alle Versorgungsnetzebenen: 93 DM/kVA; bei 2000 Betriebsstunden pro Jahr: 4,6 Pf/kWh

Gesamtjahreskosten, nur örtliches Verteilungsnetz: 70 DM/kVA; bei 2000 Betriebsstunden pro Jahr: 3,5 Pf/kWh

Tabelle A, 5: Spezifische Netzzuwachskosten bezogen auf die Nennleistung der erweiterten Orts-Netzstationen-Kapazität, Lastanteil ca. 10 kW/WE, für verschiedene Versorgungsregionen nach Tabelle 7.1, Tabelle 7.3 sowie Tabelle A, 3 und Tabelle A, 4

Spezifische Kosten DM/kVA Netzkom- ponente	Region I	Region II	Region III	Ortsteil A	Ortsteil B
Niederspannungsnetz 380 V	420,--	375,--	320,--	58,--	38,--
Orts-Netzstationen 20 kV/380 V	175,--	110,--	110,--	96,--	100,--
Mittelspannungsnetz 20 kV	183,--	91,--	84,--	56,--	42,--

Literatur:

ARBEITSGEMEINSCHAFT PARAMETERSTUDIE VDEW, BGW, AGFW:

Parameterstudie "Örtliche und Regionale Versorgungskonzepte für Niedertemperaturwärme". S. 331-357, Mai 1983

BLECHSCHMIDT, H.H., SCHREIBER, K.:

Kabel oder Freileitung - Erfahrungen mit einem regionalen 20 kV-Netz, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 79 (1980), Heft 21, S. 786ff

COENEN, R. (Hrsg.):

Steinkohle - Technikfolgenabschätzung ihres verstärkten Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland. Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York, Herbst 1984

CWIENK, G.:

Input-Output-Modelle begründen Korrekturen bisheriger Bewertungsprinzipien in der Energiewirtschaft und neuartige Entwicklungsstrategien in leitungsgebundenen Systemen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 28. Jg. (1978), Heft 1, S. 3ff

Der Fischer Weltalmanach'82, Frankfurt/M. 1981

GILSON, W., KEBBEKUS, J.:

Elektrospeicherheizung im Blick auf die Energiesituation heute und morgen, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 78 (1979), Heft 20, S. 767ff

HARZ, G., STROBL, Th.:

Mittelspannungs-Schaltgeräte und -Anlagen, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 81 (1982), Heft 14, S. 436ff

IZE - Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V.:

Wärme 2000;

Wesentliche Ergebnisse einer Untersuchung der deutschen Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt 1980

KAREL, A. et al.:

Erfahrungen mit der elektrischen Direktheizung. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 2, Februar 1982

Karel, A.:

Elektrische Raumheizung, Erfahrungen - Möglichkeiten - Zukunftsaussichten. Elektrizitätswirtschaft, Jg. 82 (1983), S. 650ff

KIRN, H.:

Substitution von Heizöl durch Elektrizität, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 80 (1981), Heft 17/18, S. 627ff

KLATTE, G.:

Probleme und Perspektiven der Stromerzeugung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 81 (1982), Heft 4, S. 89ff

KROLL, G.:

Die Entwicklung der Investitionen in der öffentlichen Elektrizitätsversorgung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 81 (1982), Heft 23, S. 795ff

KRÜGER, K.:

Kabelnetze für vollelektrisch versorgte Wohngebiete: Projektierungsgrundlagen, Netzstruktur und Betriebsmittel. Elektrizitätswirtschaft, Jg. 76 (1977), Heft 26

KRÜGER, K.:

Netzertüchtigung für den Ortsteil Bühl zum Anschluß elektrischer Raumheizung, Februar 1980 (nicht veröffentlicht)

KRÜGER, K.:

Netzertüchtigung im Ortsnetz Hirschau zum Anschluß der elektrischen Pendelspeicherheizung, Februar 1981 (nicht veröffentlicht)

KRÜGER, K.:

Elektrische Direktheizung in Dänemark und Norwegen - Erkenntnisse einer Studienreise, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 81 (1982), Heft 18, S. 319ff

LICHTENBERG, H.:

Substitutionsmöglichkeiten von Öl durch den elektrischen Strom, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 80 (1981), Heft 7, S. 233ff

MODITZ, H.:

Elektrische Raumheizung, energiewirtschaftliche und technische Grundlagen, Wien 1975

NIEHAGE, G.:

Der Einfluß der allelektrischen Versorgung auf die Gestaltung und Auslegung der Verteilernetze, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 68 (1969), Heft 22, S. 733ff

NITSCH, J., SCHOTT, D.:

Darstellung alternativer Transport- und Verteilungssysteme in Ausbau von Sekundärenergiesystemen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2000. Band III, ASA-ZE/20/80, Köln, Januar 1981

STADTWERKE TÜBINGEN, SWT:

Energieversorgungskonzepte der Universitätsstadt Tübingen, Februar 1980

VDEW:

Einsatzmöglichkeiten der Elektrospeicherheizung im ländlichen Raum. Ausarbeitung des VDEW-ad-hoc-Arbeitskreises (nicht veröffentlicht)

VDEW e.V. (Hrsg.):

Aktivierung und Planung von Netzen für allelektrische Versorgung 1970  
Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH - VDEW,  
Frankfurt/M. 70, Stresemannallee 23

VDEW:

Statistik für das Jahr 1981. Herausgegeben von der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW - e.V., VDEW Verlag, Frankfurt a.M., 1982

WiSta - Wirtschaft und Statistik:

Bestand und Struktur der Gebäude und Wohnungen - Ergebnis der 1 % - Wohnungsstichprobe 1978, Wirtschaft und Statistik 5/80, S. 283ff