

DK 621.317.38:621.316.172:64.021

## Leistungs- und Strombedarf von voll- und allelektrisch versorgten Wohnungen

Von L. Rouvel, München\*)

*In zwei Siedlungen, wovon eine vollelektrisch und die andere allelektrisch versorgt wird, erfolgten Messungen des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfs über ein Jahr. Es werden die Einflußgrößen wie Tageszeit, Wochentag und Außentemperatur quantitativ analysiert. Die Ergebnisse lassen sich für die Dimensionierung und die optimale Betriebsweise der Versorgungsnetze heranziehen. Außerdem geben sie Hinweise für die Tarifgestaltung.*

### Einleitung

Für die Dimensionierung und den wirtschaftlichen Betrieb von Verteilungsnetzen und auch die Tarifgestaltung ist die Kenntnis des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfs und der auf ihn wirkenden Einflußgrößen erforderlich.

Deshalb wurde der viertelstündliche Leistungsbedarf einer voll- und einer allelektrisch versorgten Wohnsiedlung über je ein Jahr gemessen und die Ergebnisse nach den Methoden der mathematischen Statistik analysiert. Im einzelnen wurde untersucht:

- Abhängigkeit der elektrischen Leistungsspitze während der Hochtarifzeit am Morgen, Mittag und Abend von der Außentemperatur und den Wochentagen,
- Abhängigkeit der elektrischen Leistungsspitze während der Niedertarifzeit in der Nacht und am Nachmittag von der Außentemperatur und den Wochentagen,
- Abhängigkeit des Stromverbrauchs in der HT-Zeit, der Nachheizzeit und der Nachtzeit von der Außentemperatur und den Wochentagen.

Die Aufteilung in Hochtarif- und Niedertarifzeiten wurden für die voll- und allelektrisch versorgte Siedlung gleich gewählt, um vergleichbare Aussagen zu erhalten.

\* Dipl.-Ing. Lothar Rouvel, Institut für Energiewirtschaft und Kraftwerktechnik der Technischen Universität München. Die Untersuchungen wurden dank einer großzügigen finanziellen Unterstützung der Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG, Essen, ermöglicht.

Hieraus läßt sich dann sowohl der Leistungs- wie auch der Energiebedarf für die Heizung eliminieren.

### Beschreibung der untersuchten Objekte

#### Vollelektrisch versorgte Siedlung

Als vollelektrisch versorgte Siedlung wurden 21 Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 164 Wohnungseinheiten (WoE) ausgewählt. Die durchschnittliche Wohnfläche beträgt 71,2 m<sup>2</sup>/WoE. Sie schwankt für die einzelnen Wohnungen zwischen 37 und 88 m<sup>2</sup>/WoE. Die grundpreispflichtigen Räume differieren zwischen 2 und 5 Räumen je WoE mit einem Mittelwert von 4,0 Räumen/WoE. Die elektrische Warmwasserbereitung in Küche und Bad erfolgt über Durchlauferhitzer mit je 18 kW Anschlußwert. In den Küchen sind teilweise auch noch Kochendwassergeräte installiert. Die Bewohner der Häuser stammen aus den verschiedensten Bevölkerungskreisen mit entsprechend unterschiedlichen Lebensgewohnheiten.

#### Allelektrisch versorgte Siedlung

Für die allelektrisch versorgten Haushalte wurde ein Mehrfamilienhaus mit etwa gleichem maximalem Leistungsbedarf wie die vollelektrisch versorgte Siedlung ausgewählt. Es hat 18 WoE mit einer mittleren Wohnfläche von 62,5 m<sup>2</sup>/WoE, wobei die Einzelflächen zwischen 35,1 und 84,4 m<sup>2</sup>/WoE schwanken.

Der Mittelwert der grundgebührenpflichtigen Räume mit 3,8 Räume/WoE und die Aufteilung in 2 bis 5 Räume je WoE ist etwa gleich dem Wert der vollelektrischen Siedlung, wogegen die Wohnflächen je WoE rd. 12,5% geringer sind. Der rechnerische Wärmebedarf nach DIN 4701 beträgt im Mittel 5 770 kcal/h · WoE, das sind 92,3 kcal/h · m<sup>2</sup>.

Für die Heizung sind Speicherheizgeräte mit einer Leistung von insgesamt 212,4 kW (= 11,9 kW/WoE) und zusätzlich Direktheizgeräte mit insgesamt 63,0 kW (= 3,5 kW/WoE) installiert.

Für die Warmwasserbereitung stehen ebenfalls Durchlauferhitzer mit 18 kW-Anschlußwert zur Verfügung.

**Tarifzeiten**

Für die allelektrisch versorgte Siedlung gelten folgende Tarifzeiten:

- Hochtarif (HT): 6.00 bis 13.00 Uhr  
15.00 bis 21.00 Uhr
- Niedertarif (NT): 21.00 bis 6.00 Uhr  
13.00 bis 15.00 Uhr

Um einen Vergleich mit der vollelektrisch versorgten Siedlung zu erhalten, sind hierfür dieselben Tarifzeiten zugrunde gelegt.

**Statistische Auswertungen**

Da aus Zeitreihen für die Leistungsspitze und den täglichen Stromverbrauch teilweise erhebliche Unterschiede für die einzelnen Wochentage festzustellen sind, wird nach mathematisch statistischen Methoden getrennt für die folgenden Wochentage ausgewertet:

- a) 1. Tag (Sonntag)
- b) 2. Tag (Montag)
- c) 3. bis 5. Tag (Dienstag bis Donnerstag)
- d) 6. Tag (Freitag)
- e) 7. Tag (Samstag)
- f) 1. bis 7. Tag

Die Wochentage Dienstag bis Donnerstag sind zusammengefaßt, da eine entsprechende Überprüfung für sie keine signifikanten Unterschiede auswies.

Außerdem wird noch nach folgenden Meßzeiträumen unterschieden:

**Leistungsbedarf**

Zur Bestimmung des maximalen Leistungsbedarfs zu den verschiedenen Tageszeiten wird der Tag in fünf Zeitbereiche aufgeteilt, in denen Leistungsspitzen zu erwarten sind.

In der Hochtarifzeit treten Leistungsspitzen in folgenden Zeiträumen auf:

- a) am Morgen zwischen 7.00 und 11.00 Uhr,
- b) am Mittag zwischen 11.00 und 13.00 Uhr,
- c) am Abend zwischen 18.00 und 21.00 Uhr.

Die Niedertarifzeit wird in zwei Zeitabschnitte geteilt:

- a) NT-Zeit nachts zwischen 21.00 und 6.00 Uhr,
- b) Nachheizzeit nachmittags zwischen 13.00 und 15.00 Uhr.

Die Leistungsmaxima während der NT-Zeit nachts traten bei der vollelektrisch versorgten Siedlung in der Zeit zwischen 21.00 und 23.00 Uhr auf. Dagegen liegt dieser Zeitraum bei der allelektrisch versorgten Siedlung später, nämlich zwischen 0.00 und 6.00 Uhr. Nur in den Hochsommermonaten trat die Spitze auch vor 24.00 Uhr auf.

**Energiebedarf**

Der tägliche Energiebedarf wird getrennt ermittelt für:

- a) HT-Zeit (6.00—13.00, 15.00—21.00 Uhr),

**Tafel 1. Leistungsspitze und täglicher Stromverbrauch je WoE für die vollelektrisch versorgte Siedlung (164 WoE).**

			Tagesnummer					
			1	2	3 bis 5	6	7	1 bis 7
Leistungsspitze	Hochtarif	morgens $\bar{P}_{max}^*)$ kW/WoE	1,20	0,76	0,68	0,65	0,86	0,73
		$\hat{P}_{max}^{**})$ kW/WoE	1,56	0,98	0,88	0,88	1,13	1,21
		mittags $\bar{P}_{max}$ kW/WoE	1,29	0,77	0,71	0,68	0,92	0,82
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	1,70	1,06	0,96	0,91	1,29	1,32
		abends $\bar{P}_{max}$ kW/WoE	0,71	0,89	0,91	1,39	1,45	1,03
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	1,05	1,21	1,23	1,87	1,93	1,65
Niedertarif	nachts	$\bar{P}_{max}$ kW/WoE	0,48	0,51	0,55	0,88	0,69	0,60
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	0,69	0,73	0,76	1,29	0,94	0,96
	nachm.	$\bar{P}_{max}$ kW/WoE	0,67	0,61	0,58	0,59	0,88	0,62
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	0,97	0,87	0,75	0,83	1,24	0,96
Täglicher Stromverbrauch	HT	$\bar{A}^{***})$ kWh/WoE	6,97	7,46	7,09	8,93	9,86	7,77
		$\hat{A}^{****})$ kWh/WoE	9,28	9,33	8,75	12,46	12,83	10,86
	NT-nachts	$\bar{A}$ kWh/WoE	1,20	1,21	1,26	1,56	1,54	1,33
		$\hat{A}$ kWh/WoE	1,60	1,48	1,58	1,99	1,97	1,78
	NT-nachm.	$\bar{A}$ kWh/WoE	0,96	0,90	0,79	0,89	1,23	0,91
		$\hat{A}$ kWh/WoE	1,50	1,34	1,09	1,28	1,78	1,41
	NT-gesamt	$\bar{A}$ kWh/WoE	2,16	2,11	2,05	2,45	2,77	2,23
		$\hat{A}$ kWh/WoE	3,01	2,73	2,51	3,12	3,63	3,04
	Gesamt	$\bar{A}$ kWh/WoE	9,13	9,58	9,14	11,38	12,63	10,01
		$\hat{A}$ kWh/WoE	12,11	12,00	11,06	15,37	16,29	13,76

\*)  $\bar{P}_{max}$  Mittelwert der täglichen Leistungsspitzen  
 \*\*)  $\hat{P}_{max}$  Maximalwert der täglichen Leistungsspitzen

\*\*\*)  $\bar{A}$  Mittelwert des täglichen Stromverbrauchs  
 \*\*\*\*)  $\hat{A}$  Maximalwert des täglichen Stromverbrauchs

- b) NT-Zeit nachts (21.00—6.00 Uhr),
- c) NT-Zeit nachmittags (13.00—15.00 Uhr),
- d) NT-Zeit gesamt,
- e) gesamter Tag (HT + NT).

Entsprechend der Lage der Höchstlast während der NT-Zeit nachts, vor oder nach 24.00 Uhr, wurde der gesamte Energieverbrauch dieser NT-Zeit nachts dem Tag vor bzw. nach 24.00 Uhr zugeteilt. So tritt die Leistungsspitze (NT nachts) bei der vollelektrischen Siedlung am Abend zwischen 21.00 Uhr und 23.00 Uhr auf. Der Energieverbrauch für z. B. den 1. Tag zwischen 21.00 und 24.00 Uhr und dem 2. Tag zwischen 0.00 und 6.00 Uhr wird deshalb dem 1. Tag angerechnet.

Dagegen zählt dieser Energieverbrauch von 21.00 bis 6.00 Uhr bei der allelektrischen Siedlung zum 2. Tag, da das Leistungsmaximum am 2. Tag zwischen 0.00 und 6.00 Uhr auftritt.

Um einen besseren Vergleich zwischen den beiden Siedlungen zu erhalten, werden alle Ergebnisse auf eine Wohnungseinheit bezogen.

**Mittel- und Maximalwerte der Leistungsspitzen und des täglichen Stromverbrauchs**

Die täglichen Einzelwerte für die Leistungsspitzen und den Stromverbrauch in den verschiedenen Meßzeiträumen wurden einer Stichprobenanalyse unterzogen. Hieraus lassen sich die Mittelwerte sowie die statistisch zu erwartenden Maximalwerte für eine vorgegebene statistische Sicherheit ermitteln. Die Ergebnisse dieser Stichprobenanalyse

sind für die vollelektrisch versorgte Siedlung in **Tafel 1** und für die allelektrisch versorgte Siedlung in **Tafel 2** angegeben.

Die angegebenen Maximalwerte entsprechen der oberen Grenze des Erwartungsbereiches der Einzelwerte für eine statistische Sicherheit von 95%. Dies bedeutet, daß 97,5% der Einzelwerte unterhalb der angegebenen Maximalwerte und nur 2,5% darüber zu erwarten sind. Voraussetzung hierfür ist jedoch, daß die Einzelwerte einer statistischen Verteilung entsprechend der Gauss'schen Normalverteilung unterliegen. Diese Voraussetzung ist weitgehend gegeben.

Aus **Tafel 1** und **2** erkennt man dieselben charakteristischen Unterschiede an den einzelnen Wochentagen in beiden Siedlungen, wodurch auf ähnliche Lebensgewohnheiten geschlossen werden kann.

**Leistungsbedarf**

Der Leistungsbedarf ist morgens zwischen 7.00 und 13.00 Uhr am Sonntag etwa 75%, am Samstag etwa 30% und am Montag etwa 10 bis 20% (Waschmaschinen) höher als an den restlichen Wochentagen.

Für die Leistungsspitze am Mittag zwischen 11.00 und 13.00 Uhr ergeben sich fast dieselben Verhältnisse. Am Abend zwischen 18.00 und 21.00 Uhr ergibt sich eine Veränderung für die einzelnen Wochentage. Hier sind die Maxima am Freitag und Samstag etwa gleich und liegen rd. 40 bis 50% über den anderen Werktagen. Sehr niedrig ist dagegen der Leistungsbedarf am Sonntagabend.

Der Gleichzeitigkeitsfaktor während der Hochtarifzeit ist für die allelektrisch versorgte Siedlung aufgrund der geringeren Wohnungseinheiten (18 WoE) gegenüber der vollelektrisch versorgten Siedlung mit 164 WoE erwartungs-

**Tafel 2. Leistungsspitze und täglicher Stromverbrauch je WoE für die allelektrisch versorgte Siedlung (18 WoE).**

		Tagesnummer						
		1	2	3 bis 5	6	7	1 bis 7	
Leistungsspitze	Hochtarif	morgens $\bar{P}_{max}^*)$ kW/WoE	1,34	0,97	0,78	0,89	1,01	0,94
		$\hat{P}_{max}^{**})$ kW/WoE	2,39	1,71	1,30	1,60	1,79	1,72
		mittags $\bar{P}_{max}$ kW/WoE	1,55	1,01	0,83	0,83	1,05	0,98
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	2,49	1,72	1,34	1,40	1,82	1,80
		abends $\bar{P}_{max}$ kW/WoE	0,80	0,91	1,28	1,83	1,68	1,30
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	1,61	1,46	2,32	3,09	3,02	2,52
	Niedertarif	nachts $\bar{P}_{max}$ kW/WoE	5,04	4,71	4,77	4,70	5,06	4,83
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	11,33	10,81	10,35	10,39	10,85	10,53
		nachm. $\bar{P}_{max}$ kW/WoE	3,02	2,30	2,44	2,55	3,35	2,65
		$\hat{P}_{max}$ kW/WoE	7,77	6,12	6,53	7,10	8,45	6,99
Täglicher Stromverbrauch	HT	$\bar{A}^{***})$ kWh/WoE	7,52	6,96	6,85	8,37	8,85	7,46
		$\hat{A}^{****})$ kWh/WoE	11,45	10,37	10,06	13,09	13,01	11,41
	NT-nachts	$\bar{A}$ kWh/WoE	26,33	24,54	24,73	24,23	27,81	25,30
		$\hat{A}$ kWh/WoE	66,22	60,92	60,52	60,99	67,92	61,90
	NT-nachm.	$\bar{A}$ kWh/WoE	4,27	3,46	3,56	4,39	4,44	3,90
		$\hat{A}$ kWh/WoE	13,55	10,97	11,67	12,48	14,06	12,19
	NT-gesamt	$\bar{A}$ kWh/WoE	30,60	28,00	28,29	28,62	32,25	29,20
		$\hat{A}$ kWh/WoE	76,67	69,13	69,41	71,69	78,71	71,38
	Gesamt	$\bar{A}$ kWh/WoE	38,11	34,96	35,15	36,99	41,10	36,66
		$\hat{A}$ kWh/WoE	87,22	77,46	78,52	83,71	90,50	81,44

\*)  $\bar{P}_{max}$  Mittelwert der täglichen Leistungsspitzen  
 \*\*)  $\hat{P}_{max}$  Maximalwert der täglichen Leistungsspitzen

\*\*\*)  $\bar{A}$  Mittelwert des täglichen Stromverbrauchs  
 \*\*\*\*)  $\hat{A}$  Maximalwert des täglichen Stromverbrauchs

gemäß größer. Er liegt für die mittleren Leistungsspitzen rd. 20 bis 25% und für die Maximalwerte bis 60% höher. Der Extremwert für die vollelektrisch versorgte Siedlung tritt am Samstagabend auf und beträgt nach der Stichprobenanalyse 1,93 kW/WoE. Gemessen wurden innerhalb des Untersuchungszeitraumes maximal 1,95 kW/WoE.

Zum Vergleich sind bei der allelektrisch versorgten Siedlung aufgrund der geringeren Anzahl der Wohnungseinheiten während der HT-Zeit einschließlich der Direktheizung maximal 3,09 kW/WoE zu erwarten.

Die Ergebnisse über den Leistungsbedarf während der Niedertarifzeit sind nicht ohne weiteres zu vergleichen, da hierbei in einem Fall die Heizung mit eingeschlossen ist.

Bei der vollelektrisch versorgten Siedlung ergeben sich qualitativ für den Leistungsbedarf nachts ähnliche Verhältnisse wie für die Abendspitze. Dagegen tritt bei der allelektrisch versorgten Siedlung eine Verschiebung um einen Tag auf, da z. B. ein höherer Wärmebedarf am Freitagabend durch die Ladezeitverschiebung zum Ende der Niedertarifzeit erst am Samstag wirksam wird. Zudem sind durch die Heizung die Unterschiede zwischen den einzelnen Wochentagen nicht mehr so groß. Als Maximalwert errechnet sich ein Leistungsbedarf von 11,3 kW/WoE bei einer installierten Leistung für die Speicherheizung von 11,9 kW/WoE (Gleichzeitigkeitsfaktor 95%).

Gemessen wurden im Untersuchungszeitraum max. 10,2 kW/WoE. Das entspricht einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 86%.

Der Leistungsbedarf zwischen 13.00 und 15.00 Uhr (NT nachmittags) zeigt für die vollelektrisch versorgte Siedlung erwartungsgemäß dieselbe Tendenz wie die Mittagsspitze, jedoch auf einem geringeren Niveau.

In der allelektrisch versorgten Siedlung sind während der NT-Zeit nachmittags die Unterschiede zwischen den einzelnen Wochentagen wesentlich stärker ausgeprägt als für die Niedertarifzeit nachts. Das deutet darauf hin, daß sich die individuellen Ansprüche an das Raumklima hauptsächlich auf die Nachladezeit am Nachmittag auswirken.

Der maximale Leistungsbedarf in der NT-Zeit nachmittags ist wesentlich geringer als nachts. Ein Gleichzeitigkeitsfaktor für die Heizung läßt sich jedoch nur schwer angeben, da der Grundbedarf für den Haushalt nicht eliminiert werden kann. Geht man davon aus, daß der Leistungsbedarf für den Haushalt aufgrund der geringeren Anzahl der WoE im Mittel wieder etwa 25% höher liegt als in der vollelektrisch versorgten Siedlung, so beträgt der Gleichzeitigkeitsfaktor für die Heizung während der Nachladezeit maximal 58%.

**Stromverbrauch**

Der tägliche Stromverbrauch während der Hochtarifzeit ist am Freitag und Samstag entsprechend dem höheren Leistungsbedarf ebenfalls in beiden Siedlungen größer als an den übrigen Wochentagen. Unterschiede zeigen sich jedoch beim Stromverbrauch am Sonntag. Während er in der vollelektrisch versorgten Siedlung etwa gleich den übrigen Werktagen ist, liegt er in der allelektrisch versorgten Siedlung darüber. Das läßt auf einen höheren Direktheizstromverbrauch an diesem Tag schließen. Genauere Angaben lassen sich jedoch über den Stromverbrauch für die Direktheizung nicht machen, da der mittlere Verbrauch während der Hochtarifzeit in der allelektrisch versorgten Siedlung 4% niedriger liegt als in der vollelektrisch versorgten Siedlung. Wie jedoch noch gezeigt wird, ist der Einfluß der Außentemperatur auf den HT-Stromverbrauch bei den allelektrisch versorgten Wohnungen etwa doppelt so groß wie bei den vollelektrisch versorgten. Daraus läßt sich unter Vorbehalt schließen, daß die untersuchten allelektrisch versorgten Haushalte einen geringeren Haushaltstromverbrauch in der HT-Zeit haben als die vollelektrisch versorgten, durch die Direktheizung jedoch wieder auf annähernd denselben HT-Stromverbrauch kommen.

Der tägliche Stromverbrauch während der NT-Zeit differiert durch die Heizung erheblich zwischen den beiden Siedlungen. Auch ist der Unterschied zwischen mittlerem und maximalem Verbrauch bei der allelektrisch versorgten Siedlung aufgrund des Außentemperatureinflusses erheblich stärker als bei der vollelektrisch versorgten Siedlung.

Näherungsweise kann man annehmen, daß der allgemeine Haushaltstromverbrauch in beiden Siedlungen während der NT-Zeit gleich ist. Hieraus folgt, daß etwa 11% des Heizstromverbrauchs auf die Nachladezeit entfallen und 89% auf die NT-Zeit nachts, während die verfügbaren Zeiten sich im Verhältnis von 18% und 82% aufteilen.

Der Belastungsfaktor bei der vollelektrisch versorgten Siedlung beträgt für die Niedertarifzeit nachts 11,5% und für die NT-Zeit nachmittags rd. 37%. Hierbei ist der Belastungsfaktor definiert als jährlicher Stromverbrauch während einer Tarifzeit (z. B. NT-Zeit nachts) bezogen auf die höchste Leistung in diesem Zeitraum und auf die verfügbare Zeit.

Durch die Speicherheizung verdoppelt sich bei der allelektrisch versorgten Siedlung der Belastungsfaktor gegenüber dem der vollelektrisch versorgten Siedlung während der NT-Zeit nachts auf 25% und verringert sich während der nachmittäglichen Nachladezeit auf etwa 23%. Er ist demnach in beiden NT-Zeiten etwa gleich.

Der gesamte Stromverbrauch erhöht sich durch die Heizung um den Faktor 3,7 von 3 650 kWh/WoE auf 13 380 kWh/WoE. Die Benutzungsdauer der in Anspruch genommenen Höchstlast sinkt jedoch von 1 893 h/a beim vollelektrisch versorgten Haushalt auf 1 181 h/a beim allelektrisch versorgten Haushalt. Bezieht man die Benutzungsdauer bei der allelektrisch versorgten Siedlung jedoch auf die Maximalleistung während der HT-Zeit, wobei unter der Voraussetzung gleicher Anzahl von Wohnungen für beide Siedlungen der maximale Leistungsbedarf gleich angesetzt werden kann, so errechnet sich eine Benutzungsdauer von 6933 h/a.

Aus der Gegenüberstellung der Stromverbrauchswerte lassen sich zur Festlegung und Beurteilung von Stromtarifen für allelektrisch versorgte Haushalte folgende Ergebnisse gewinnen:

- a) Der Direktheizstromverbrauch ist gering und läßt sich quantitativ nicht angeben;
- b) der allgemeine Haushaltstromverbrauch während der NT-Zeit nachts beträgt etwa 485 kWh/WoE · a;
- c) der allgemeine Haushaltstromverbrauch während der Nachheizzeit nachmittags beträgt rd. 330 kWh/WoE · a.

Hieraus läßt sich die angemessene Grundpreiserhöhung errechnen, wenn bei allelektrischer Versorgung der Haushaltstromverbrauch während der NT-Zeit gemeinsam mit dem Heizstromverbrauch gemessen wird.

**Leistungsbedarf und Stromverbrauch in Abhängigkeit von der Außentemperatur**

Um den Einfluß der Außentemperatur auf den Leistungsbedarf zu ermitteln, wird folgender Ansatz gewählt:

$$P_{max} = P_0 \left( 1 - \frac{p_1}{100} \phi \right) \dots \dots \dots (1)$$

- mit  $P_{max}$  Leistungsspitze im Meßzeitraum in kW/WoE,
- $P_0$  Leistungsspitze bei einer Außentemperatur  $\phi = 0^\circ\text{C}$  in kW/WoE,
- $p_1$  Regressionskoeffizient für die Außentemperatur in %/°C.
- $p_1$  gibt an, um wieviel Prozent sich die Leistungsspitze je °C verändert, bezogen auf den Leistungsbedarf  $P_0$  bei 0 °C.
- $\phi$  Tagesmitteltemperatur in °C.

Entsprechend gilt für den täglichen Stromverbrauch:

$$A = A_0 \left( 1 - \frac{a_1}{100} \phi \right) \dots \dots \dots (2),$$

- mit  $A$  täglicher Stromverbrauch im Meßzeitraum in kW/WoE · d,
- $A_0$  täglicher Stromverbrauch bei einer Außentemperatur  $\phi = 0^\circ\text{C}$ ,
- $a_1$  Regressionskoeffizient für die Außentemperatur in %/°C.  
 $a_1$  gibt an, um wieviel Prozent sich der tägliche Stromverbrauch je °C verändert, bezogen auf den Stromverbrauch  $A_0$  bei 0 °C.
- $\phi$  Tagesmitteltemperatur in °C.

Die Ergebnisse der Regressionsrechnungen sind in **Tafel 3** für die vollelektrisch versorgte Siedlung und in **Tafel 4** für die allelektrisch versorgte Siedlung zusammengestellt. Zur Beurteilung der einzelnen Gleichungen ist noch das Bestimmtheitsmaß  $B$  in % enthalten. Das Bestimmtheitsmaß gibt an, zu wieviel Prozent eine Veränderung des Leistungsbedarfs  $P_{\max}$  bzw. des täglichen Stromverbrauchs  $A$  durch eine Veränderung der Außentemperatur  $\phi$  erklärt ist. Für  $B = 0\%$  besteht also überhaupt kein Zusammenhang zwischen den beiden Größen, und für  $B = 100\%$  ist ein funktionaler Zusammenhang vorhanden.

Es sei darauf hingewiesen, daß für den allgemeinen Stromverbrauch die Außentemperatur vielfach nicht die

direkte Einflußgröße ist, sondern daß z. B. die Dunkelstunden oder die Kaltwassertemperatur die primären Variablen sind. Da es jedoch zwischen diesen Größen und der Außentemperatur einen statistischen Zusammenhang gibt, wird die Außentemperatur als Hilfsgröße eingeführt, da sie leicht meßbar ist.

Wie aus **Tafel 3** und **4** ersichtlich, ist der Zusammenhang zwischen dem Leistungsbedarf bzw. dem Stromverbrauch und der Außentemperatur nicht sehr straff, mit Ausnahme der Werte, bei denen die Heizung enthalten ist. Insbesondere bei der Betrachtung aller Tage (Tagesnummer 1 bis 7) ist das Bestimmtheitsmaß sehr gering, da die Unterschiede zwischen den einzelnen Wochentagen nicht von der Außentemperatur, sondern von den Lebensgewohnheiten der Bewohner verursacht sind. Trotz dieser Einschränkungen läßt sich angeben, daß der Leistungs- und Strombedarf bei der vollelektrisch versorgten Siedlung während aller Meßzeiträume einen von der Außentemperatur abhängigen Anteil haben, der etwa 1 bis 1,5% je °C des Wertes für 0 °C beträgt. Für die allelektrisch versorgte Siedlung liegen in der Hochtarifzeit diese Werte etwas höher (bis 2% je °C), wahrscheinlich bedingt durch den Einfluß der Direktheizung. Dagegen ergeben sich während der Niedertarifzeit und auch für den Stromverbrauch des ganzen Tages wesentlich größere Abhängigkeiten in der Größenordnung von 5% je °C, wobei gleichzeitig auch das Bestimmtheitsmaß wesentlich besser ist und meist über 80% liegt.

Aus dem Vergleich der Regressionsgleichungen für die allelektrisch und die vollelektrisch versorgten Wohnungen zeigt sich, daß die Heizungen bis etwa +18 °C eingeschaltet sind. Oberhalb dieser Außentemperatur haben die

**Tafel 3. Leistungsspitze und täglicher Stromverbrauch je WoE in Abhängigkeit von der Außentemperatur für die vollelektrisch versorgte Siedlung (164 WoE).**

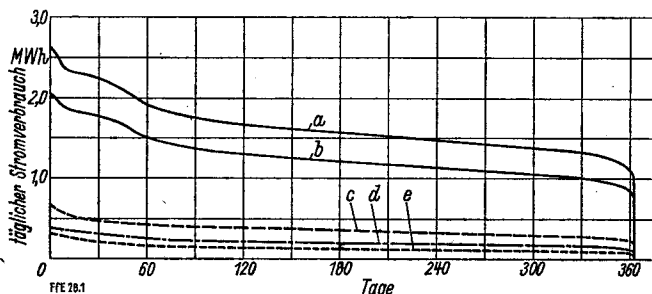
			Tagesnummer						
			1	2	3 bis 5	6	7	1 bis 7	
Leistungsspitze	Hochtarif	morgens	$B$ % $P_0$ kW/WoE $P_1$ %	33,8 1,33 1,09	16,8 0,82 0,77	20,6 0,74 0,90	12,5 0,70 0,80	19,6 0,93 0,90	6,4 0,86 0,92
		mittags	$B$ % $P_0$ kW/WoE $P_1$ %	26,6 1,43 1,02	16,7 0,85 1,01	11,9 0,77 0,83	13,1 0,73 0,81	32,6 1,05 1,38	6,2 0,91 0,99
		abends	$B$ % $P_0$ kW/WoE $P_1$ %	43,3 0,86 1,80	0,0 0,89 0,01	16,8 1,00 0,96	38,6 1,58 1,34	29,7 1,61 1,13	6,9 1,14 1,05
	Niedertarif	nachts	$B$ % $P_0$ kW/WoE $P_1$ %	24,4 0,55 1,28	7,0 0,54 0,77	2,7 0,57 0,43	24,0 1,01 1,39	3,8 0,72 0,47	4,1 0,65 0,81
		nachm.	$B$ % $P_0$ kW/WoE $P_1$ %	44,3 0,79 1,76	41,3 0,72 1,67	25,5 0,61 1,24	34,8 0,68 1,50	42,6 1,03 1,56	19,4 0,72 1,49
		HT	$B$ % $A_0$ kWh/WoE $a_1$ %	13,9 7,52 0,80	32,3 8,17 0,93	37,8 7,78 0,97	43,4 10,42 1,57	37,6 10,98 1,13	17,6 8,64 1,09
Täglicher Stromverbrauch	NT-nachts	$B$ % $A_0$ kWh/WoE $a_1$ %	4,4 1,25 0,47	0,7 1,22 0,13	0,1 1,27 0,05	26,4 1,70 0,92	15,0 1,65 0,69	2,7 1,38 0,39	
	NT-nachm.	$B$ % $A_0$ kWh/WoE $a_1$ %	31,4 1,15 1,81	29,8 1,06 1,62	42,9 0,92 1,58	33,2 1,04 1,54	39,3 1,45 1,62	22,9 1,07 1,63	
	NT-gesamt	$B$ % $A_0$ kWh/WoE $a_1$ %	20,2 2,40 1,11	18,2 2,29 0,82	19,9 2,19 0,69	44,0 2,73 1,16	35,7 3,09 1,12	14,8 2,44 0,93	
	Gesamt	$B$ % $A_0$ kWh/WoE $a_1$ %	17,6 9,92 0,87	31,0 10,45 0,91	40,9 9,97 0,92	48,3 13,16 1,49	40,9 14,07 1,13	18,4 11,08 1,06	

Gleichungen für die Meßzeiträume, in denen der Leistungs- bzw. Strombedarf für die Heizung mit enthalten sind, keine Gültigkeit mehr.

**Dauerlinien**

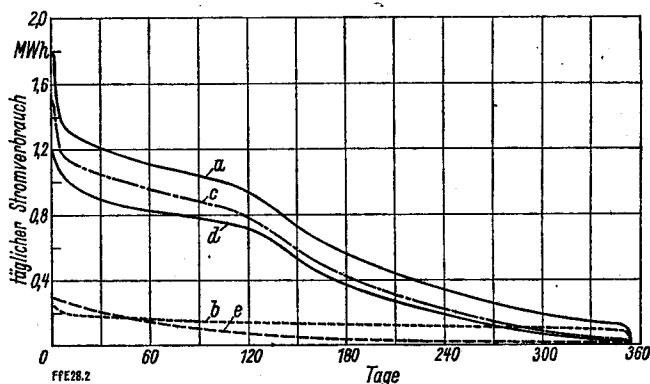
Zur Beurteilung der charakteristischen Struktur von Energieverbrauchern ist es günstig, außer der quantitativen Angabe über den Leistungs- und Strombedarf auch einen optischen Überblick zu erhalten. Hierzu eignet sich besonders die geordnete Dauerlinie, da hieraus erkennbar wird, wie lange bestimmte Leistungen bzw. Stromverbräuche andauern. Deshalb sind in Bild 1 die jährlichen Dauerlinien des täglichen Stromverbrauchs für die vollelektrisch ver-

sorgte und in Bild 2 die Werte für die allelektrisch versorgte Siedlung aufgetragen. Dabei wird noch unterschieden zwischen den einzelnen Tarifzeiten. Die beiden Siedlungen unterscheiden sich deutlich. Während der Verlauf bei der vollelektrisch versorgten Siedlung recht ausgeglichen ist und keine ausgeprägten Spitzen aufweist, hat die Dauerlinie des täglichen Energiebedarfs der allelektrisch versorgten Siedlung insbesondere für die Niedertarifzeiten und damit auch für den Gesamtbedarf deutliche Spitzen, die nur wenige Tage andauern. Außerdem ist noch ein Knick zum Zeitpunkt von etwa 120 Tagen vorhanden. Aus dem



**Bild 1. Dauerlinie des täglichen Stromverbrauchs der vollelektrisch versorgten Siedlung (164 WoE).**

- a 0.00 bis 24.00 Uhr
- b 6.00 bis 13.00 und 15.00 bis 21.00 Uhr (HT)
- c 13.00 bis 15.00 und 21.00 bis 6.00 Uhr (NT)
- d 21.00 bis 6.00 Uhr (NT nachts)
- e 13.00 bis 15.00 Uhr (NT nachmittags)



**Bild 2. Dauerlinie des täglichen Stromverbrauchs der allelektrisch versorgten Siedlung (18 WoE).**

- a 0.00 bis 24.00 Uhr
- b 6.00 bis 13.00 und 15.00 bis 21.00 Uhr (HT)
- c 13.00 bis 15.00 und 21.00 bis 6.00 Uhr (NT)
- d 21.00 bis 6.00 Uhr (NT nachts)
- e 13.00 bis 15.00 Uhr (NT nachmittags)

**Tafel 4. Leistungsspitze und täglicher Stromverbrauch je WoE in Abhängigkeit von der Außentemperatur für die allelektrisch versorgte Siedlung (18 WoE).**

			Tagesnummer							
			1	2	3 bis 5	6	7	1 bis 7		
Leistungsspitze	Hochtarif	morgens	B	%	22,2	0,4	0,9	0,7	1,2	2,9
			$P_0$	kW/WoE	1,65	1,06	0,81	0,92	1,07	1,03
			$p_1$	%	2,17	0,98	0,45	0,44	0,57	0,99
		mittags	B	%	26,6	13,5	10,6	15,3	3,1	8,4
			$P_0$	kW/WoE	1,85	1,17	0,94	0,98	1,13	1,14
			$p_1$	%	1,90	1,60	1,34	1,61	0,84	1,52
	Niedertarif	abends	B	%	14,4	0,0	13,1	14,9	24,5	8,4
			$P_0$	kW/WoE	0,99	0,92	1,54	2,14	2,09	1,53
			$p_1$	%	2,29	0,03	1,85	1,62	2,20	1,73
		nachts	B	%	78,0	83,5	79,8	77,8	79,6	79,5
			$P_0$	kW/WoE	8,50	8,22	8,13	7,89	8,29	8,18
			$p_1$	%	4,76	4,83	4,66	4,51	4,36	4,63
Täglicher Stromverbrauch	HT		B	%	54,1	16,0	39,6	60,7	43,5	35,6
			$A_0$	kWh/WoE	9,30	7,81	8,21	10,64	10,52	9,00
			$a_1$	%	2,31	1,26	1,88	2,48	1,84	1,98
	NT-nachts		B	%	80,7	87,5	86,8	84,4	87,6	85,4
			$A_0$	kWh/WoE	48,45	45,71	46,92	45,41	50,64	47,29
			$a_1$	%	5,51	5,37	5,43	5,31	5,22	5,38
	NT-nachm.		B	%	74,9	69,7	77,0	82,4	82,2	76,6
			$A_0$	kWh/WoE	9,89	8,00	8,95	9,09	10,31	9,18
			$a_1$	%	5,49	5,32	5,64	5,64	6,39	5,54
	NT-gesamt		B	%	80,9	87,0	87,3	84,4	88,4	85,6
			$A_0$	kWh/WoE	56,18	51,90	53,86	53,08	58,53	54,52
			$a_1$	%	5,49	5,34	5,45	5,35	5,23	5,39
Gesamt		B	%	81,5	87,6	87,0	85,7	88,4	85,4	
		$A_0$	kWh/WoE	65,48	59,71	62,07	63,73	69,35	63,52	
		$a_1$	%	5,04	4,81	4,98	4,87	4,72	4,91	

Vergleich mit der Außentemperatur läßt sich ermitteln, daß der Bereich zwischen 0 und 120 Tagen für Außentemperaturen unterhalb +5 °C gilt.

**Zusammenfassung**

Für eine voll- und eine allelektrisch versorgte Siedlung wurde der Leistungs- und Energiebedarf nach den Methoden der mathematischen Statistik analysiert. Hierbei konnten für die verschiedenen Tarifzeiten am Tage charakteristische Unterschiede an den einzelnen Wochentagen ermittelt werden. Der Einfluß der Außentemperatur kann quantitativ angegeben werden. Einen Überblick über den Leistungs- und Strombedarf gibt folgende Zusammenstellung:

**Vollelektrisch versorgte Siedlung (164 WoE).**

Maximum	1,95 kW/WoE das Maximum tritt am Freitag- oder Samstagabend oder am Sonntagmorgen auf.
Stromverbrauch	6 bis 13 Uhr und 15 bis 21 Uhr 2 835 kWh/WoE u. Jahr 13 bis 15 Uhr 330 kWh/WoE u. Jahr 21 bis 6 Uhr 485 kWh/WoE u. Jahr <u>3 650 kWh/WoE u. Jahr</u>
Benutzungsdauer	1 893 h/Jahr

**Allelektrisch versorgte Siedlung (18 WoE).**

Maximum	6 bis 13 Uhr und 15 bis 21 Uhr 3,09 kW/WoE 21 bis 6 Uhr 11,3 kW/WoE 13 bis 15 Uhr 8,5 kW/WoE
Stromverbrauch	6 bis 13 Uhr und 15 bis 21 Uhr 2 760 kWh/WoE u. Jahr 13 bis 15 Uhr 1 410 kWh/WoE u. Jahr 21 bis 6 Uhr 9 210 kWh/WoE u. Jahr <u>13 380 kWh/WoE u. Jahr</u>
Benutzungsdauer	1 181 h/Jahr bezogen auf das NT- Maximum von 11,3 kW/WoE 6 933 h/Jahr bezogen auf das HT- Maximum von 1,95 kW/WoE der vollelektrisch versorgten Siedlung mit vielen Wohnungen.

Aus der Gegenüberstellung der Stromverbrauchswerte lassen sich nach dieser Untersuchung folgende Ergebnisse gewinnen:

- a) Der Direktheizstromverbrauch ist gering und läßt sich quantitativ mit den Methoden der Statistik nicht mehr ermitteln.
- b) Der allgemeine Haushaltstromverbrauch während der NT-Zeit nachts beträgt fast 500 kWh/WoE und Jahr.
- c) Der allgemeine Haushaltstromverbrauch während der Nachheizzeit nachmittags beträgt rd. 330 kWh/WoE und Jahr.

FfE 28

veröffentlicht in der BWK:

Rouvel L., Leistungs- und Strombedarf von voll- und allelektrisch versorgten Wohnungen  
FfE-Berichte Nr.2 in BWK 23 (1971), Nr.2, S.74/80

PROF. DR.-ING. HABIL. LOTHAR ROUVEL  
FACHGEBIET ENERGIETECHNIK UND -VERSORGUNG · THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION

SÄULINGSTRASSE 4  
80686 MÜNCHEN

TEL.: 089-576804 FAX: 089-5706641  
ROUVEL@GEBSIMU.DE WWW.GEBSIMU.DE

