Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 72 (1981)

Heft: 18

Artikel: Energiewirtschaftliche Überlegungen zu den Empfehlungen über die Lieferung von elektrischer Energie für bivalente Raumheizanlagen : Bericht der VSE-Kommission für Energietarife

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905153

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens
des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité

Elektrizitätswirtschaft – Economie électrique

Energiewirtschaftliche Überlegungen zu den Empfehlungen über die Lieferung von elektrischer Energie für bivalente Raumheizanlagen

Bericht der VSE-Kommission für Energietarife

1. Einleitung

Die VSE-Kommission für Energietarife hat im November 1980 einen Bericht betreffend die Lieferung von elektrischer Energie für bivalente Raumheizanlagen veröffentlicht [1]. In diesem Bericht werden im Interesse einer angemessenen Substitution von Erdöl durch elektrische Energie nachstehende Massnahmen empfohlen:

a) Zulassung des Anschlusses von bivalent-alternativen Heizanlagen kleiner und mittlerer Leistung mit gleichen oder günstigeren Baukostenbeiträgen als bei monovalenten Elektroheizungen. Dies gilt insbesondere auch für Wärmepumpenanlagen.
Bei bivalent-alternativen Systemen ist eine Umschaltsteuerung vorzusehen, die so ausgelegt ist, dass während der Freigabezeiten oberhalb der vereinbarten Grenztemperatur eine Rückschaltung auf Brennstoffbetrieb durch den Bezüger nicht möglich ist.

b) Zulassung des Anschlusses von bivalent-parallelen Heizanlagen zu gleichen Bedingungen wie monovalente Elektroheizungen. Bei bivalent-parallelen Systemen ist die Steuerung so auszulegen, dass der gesamte Grundlastbereich durch den Einsatz von elektrischer Energie abgedeckt wird.

c) Belieferung der unter lit. a) und b) hievor genannten Systeme zu gleichen Tarifbedingungen wie für monovalente Elektroheizungen.
Zur Sammlung von Erfahrungswerten und als Grundlage für eine allfällige separate Verrechnung ist der Einbau einer Sondermessung vorzusehen, mit Erfassung der üblichen Tarifzeiten. Auf eine Leistungsmessung kann verzichtet werden.

d) Förderung des Anschlusses von bivalent-alternativen Grossanlagen ohne Liefer- und Bezugspflicht.

Mit Hilfe dieser Empfehlungen soll ein technisch und wirtschaftlich optimales Zusammenwirken der Elektrizität mit anderen Energieträgern in ein und derselben Heizanlage erzielt und ein rationeller Einsatz der elektrizitätswirtschaftlichen Infrastruktur gewährleistet werden.

Im vorerwähnten Bericht der VSE-Kommission [1] wurde bereits auf den nachstehenden Zusatzbericht hingewiesen, in dem die energiewirtschaftlichen Überlegungen eingehend dargelegt werden. Es wird dabei insbesondere über das durch den Betrieb bivalenter Anlagen nutzbare Substitutionspotential, über dessen Integration in die Netzbelastungskurve sowie über die mögliche Verbreitung dieser Elektrizitätsanwendung Aufschluss erteilt.

2. Abschätzung des Substitutionspotentials

2.1 Grundsätzliche Kriterien

Die Gewährleistung einer jederzeit ausreichenden und zuverlässigen Elektrizitätsversorgung erfordert die Bereitstellung der entsprechenden Produktions-, Übertragungs- und Verteilanlagen. Soweit sich mit diesem Potential über die Deckung des allgemeinen Energieverbrauchs in den herkömmlichen Anwendungsbereichen und die Belieferung der vollelektrischen Raumheizung hinaus zusätzliche Elektrizität erzeugen und dem Verbraucher zuführen lässt, ist es sinnvoll, bivalente Wärmeanlagen anzuschliessen. Es handelt sich mithin um eine Massnahme zur Steigerung des Ausnützungsgrades der für die Sicherstellung einer geordneten Versorgung erforderlichen elektrizitätswirtschaftlichen Infrastruktur.

Dabei muss allerdings beachtet werden, dass sich bei einzelnen Werksgruppen recht unterschiedliche Beurteilungskriterien ergeben können, je nach der bereits anderweitig genutzten Verfügbarkeit von Produktion und Verteilung während der Schwachlastzeiten, insbesonders in den Nacht- und

Wochenendstunden. Unter Berücksichtigung dieser von Fall zu Fall sich unterschiedlich auswirkenden Gegebenheiten kann jedoch bezüglich der Abschätzungen des Substitutionspotentials von bivalenten Heizanlagen ganz allgemein folgendes festgehalten werden:

Die grösste Flexibilität weisen *bivalent-alternative Anlagen* auf, die *ohne jegliche Liefer- und Bezugspflicht* angeschlossen werden können. Es handelt sich dabei in der Regel um die Belieferung von Anlagen grosser Leistung mit der direkten Anspeisung aus dem örtlichen oder regionalen Hochspannungsnetz. Dank des Wegfalls jeglicher Lieferpflicht lassen sich auch Produktionsquoten zur Heizölsubstitution verwenden, die nur bedingt – z.B. bei guter Hydraulizität und bei uneingeschränkter Verfügbarkeit der Kernkraftwerke – zur Verfügung stehen. Da es sich definitionsgemäss um ungesicherte Produktionsquoten handelt, ist eine schlüssige Abschätzung des Potentials für solche Substitutionsmöglichkeiten schwierig.

Dagegen ist für *bivalent-alternative Anlagen,* die unter der Voraussetzung einer *bedingten Liefer- und Bezugspflicht* angeschlossen werden, eine Abschätzung möglich, wenn man sie als Ergänzung zu den monovalenten Elektroheizungen versteht. Im Bericht des VSE «Tarifierungs- und Lieferungsgrundsätze für allelektrisch versorgte Haushaltungen» [2] wird auf die Massnahmen hingewiesen, die auch am «kältesten Tag» über 24 Stunden zu einer möglichst ausgeglichenen Netzbelastung führen.

Eine grössere Verbreitung der bivalenten Wärmeerzeugung für Raumheizung und Warmwasserbereitung im Wohnsektor bedingt den Anschluss einer Vielzahl von mittleren und kleineren Anlagen an die örtlichen Verteilnetze. Für diese Abnehmergruppen kommen in erster Linie bivalent-alternative Heizsysteme mit beschränkter Liefer- und Bezugspflicht in Frage.

Wenn sich die weiteren Überlegungen einfachheitshalber ausschliesslich auf bivalent-alternative Anlagen beschränken, heisst das nicht, dass *bivalent-parallele Systeme* unerwünscht wären. Vielmehr muss von Fall zu Fall geprüft werden, ob die am kältesten Tage zu Substitutionszwecken verfügbare Netzkapazität in erster Linie den monovalenten Anlagen vorbehalten bleiben soll oder ob man sie teilweise auch für bivalent-parallele Systeme mit Grundlastbetrieb über die volle Heizperiode freigeben will. Man muss sich dabei lediglich bewusst sein, dass eine Inanspruchnahme von Netzkapazitäten durch bivalent-parallele Systeme die Einsatzmöglichkeit der in elektrizitätswirtschaftlicher Hinsicht sehr willkommenen bivalent-alternativ ausgelegten Anlagen mit voller Einstellung der Belieferung an den kältesten Tagen, insbesondere auch solche mit Wärmepumpen, einschränkt.

Diese allgemeinen Feststellungen bilden die Grundlage für die nachfolgenden Betrachtungen zur Abschätzung des mit dem Einsatz bivalenter Systeme nutzbaren Substitutionspotentials. Dabei stützen sich die Überlegungen auf die netzseitig freien Kapazitäten ohne Berücksichtigung der Verhältnisse auf der Produktionsseite.

2.2 Quantitative Eingrenzung

2.2.1 Annahmen und Voraussetzungen

Die für die Belieferung von bivalenten Heizanlagen verfügbare Verteilkapazität kann nur grob abgeschätzt werden. Die folgenden Überlegungen gehen von der Tatsache aus, dass der Wärmeleistungsbedarf monovalenter Heizanlagen mit steigenden, mittleren Aussentemperaturen abnimmt. Wird angenommen, dass die Netzkapazitäten am kältesten Tag (z.B. – 11 °C) durch den Standardverbrauch und die monovalenten Elektroheizungen bereits voll ausgenützt sind, so würde theoretisch kein Raum mehr für bivalent-parallele Anlagen bestehen. Mit dem Anstieg der Aussentemperaturen würden jedoch sukzessive Netzkapazitäten frei, die dem bivalent-alternativen System zugeordnet werden könnten.

Damit diese freiwerdenden Netzkapazitäten quantitativ ins Gewicht fallen, muss zwischen der Auslegungstemperatur der monovalenten Heizsysteme für den kältesten Tag und der Bivalenz-Grenztemperatur[1]) der alternativen Systeme eine wesentliche Differenz bestehen. Auch kann der gewünschte Einsatz von Wärmepumpen in der bivalent-alternativen Anwendungstechnik in grösserem Ausmass erfolgen, wenn die Bivalenz-Grenztemperaturen nicht allzu tief angesetzt werden. Ein wirtschaftlich sinnvoller Einsatz bivalent-alternativer Anlagen sowie auch der gewünschte Substitutionseffekt ist dagegen oberhalb bestimmter Grenztemperaturen infolge zu kurzer Nutzungsdauer in Frage gestellt. Aufgrund von Erfahrungswerten dürfte sich daher der Anwendungsbereich von bivalent-alternativen Anlagen im schweizerischen Mittelland auf solche im Grenztemperaturbereich von etwa – 3 bis + 3 °C beschränken.

Im Hinblick auf eine möglichst wirksame und wirtschaftliche Substitution wird man die bivalent-alternativen Anlagen zunächst im unteren Bereich der vorgenannten Grenztemperaturen fördern. Nach Ausschöpfung der Netzkapazitäten bzw. der Anschlussmöglichkeiten solcher Anlagen wird man schrittweise auf Anlagen mit höheren Grenztemperaturen übergehen. Damit die weiteren Darlegungen überblickbar bleiben, wird nachstehend das Substitutionspotential für bivalent-alternativ arbeitende Anlagen nur bei folgenden drei Grenztemperaturwerten ermittelt:

Gruppe	Bivalenz-Grenztemperatur
1	– 3 °C
2	0 °C
3	+ 3 °C

2.2.2 Abschätzung des theoretisch nutzbaren Substitutionspotentials

Zur Abschätzung des durch bivalente Heizanlagen theoretisch nutzbaren Substitutionspotentials wird eine analoge Methode verwendet wie im sechsten Zehn-Werke-Bericht [3], wo das durch monovalente Anlagen theoretisch nutzbare Substitutionspotential in bestehenden Übertragungs- und Verteilanlagen abgeschätzt wurde. Das Ausmass der sinnvollen Anwendung bivalent-alternativer Heizsysteme richtet sich nach den Netzkapazitäten, welche nach Deckung des Standardkonsums (Energieverbrauch ohne Raumheizung) sowie des Bedarfes für monovalente Elektroheizungen noch frei sind und soweit für den Anschluss solcher Anlagen keine grösseren Investitionen erforderlich sind. Dieser Freiraum lässt sich aufgrund der nachstehenden Überlegungen bestimmen.

a) In Figur 1 ist die Dauerlinie $Q(t)$ des täglichen Heizenergiebedarfes der monovalenten Elektroheizungen einge-

[1]) Mittlere Tagestemperatur, bei welcher von der einen zur andern Energieform gewechselt wird.

zeichnet. Das theoretische Substitutionspotential, welches den monovalenten Anlagen zuzuordnen ist, entspricht der Fläche

$E_j = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$

wobei

E_j dem Energiebedarf über die gesamte Heizperiode,
E_1 dem Anteil zwischen -11 und -3 °C,
E_2 dem Anteil zwischen -3 und 0 °C,
E_3 dem Anteil zwischen 0 und $+3$ °C,
E_4 dem Anteil über $+3$ °C Aussentemperatur entspricht

b) Gemäss Anhang 9, Abschnitt 2.1.2 des sechsten Zehn-Werke-Berichtes weist der Belastungsverlauf der schweizerischen Allgemeinversorgung – ohne Berücksichtigung der Elektroheizung – am kältesten Tage eine Benützungsdauer der Höchstlast P_{max} (Mittagsspitze) von zirka 18,5 Stunden auf.

Im Rahmen der Netzkapazitäten könnte am kältesten Tage somit für monovalente Heizanlagen noch eine zusätzliche Energiemenge von $Q_{mo} = P_{max} \cdot 5{,}5$ h/Tag verteilt werden. Je Heizperiode ergäbe sich damit ein E_j von $P_{max} \cdot 5{,}5$ h/Tag · 110 Tage oder von $P_{max} \cdot 600$ h. Dabei geht man von der Erfahrung aus, wonach der jährliche Energieverbrauch von monovalenten Raumheizungen in der Schweiz durchschnittlich etwa das 110fache des Heizenergiebedafes des kältesten Tages beträgt.

c) Weiter wird im erwähnten Bericht für das hydrologische Jahr 1989/90 eine Jahreshöchstlast P_{max} von 9460 MW erwartet. Dies entspricht einem theoretischen Potential von 9460 MW · 600 h = 5600 GWh. Die praktischen Ausnutzungsmöglichkeiten werden jedoch nur zu 60%, d.h. mit 3400 GWh angenommen. Dies bedeutet, dass diese Energiemenge der Fläche unter der Dauerkurve $Q(t)$ von Figur 1 gleichgesetzt werden kann.

Ferner wird angenommen, dass die vorerwähnte Energiemenge im Jahre 1990 von insgesamt 230000 monovalenten Anlagen verbraucht werde. Diese Gesamtzahl setzt sich aus den per Ende 1980 ausgewiesenen 86000 Einheiten [4] sowie einer weiteren Durchschnittszunahme von 15000 Anlagen pro Jahr mit einem mittleren jährlichen Bedarf von 15000 kWh je monovalente Einheit zusammen.

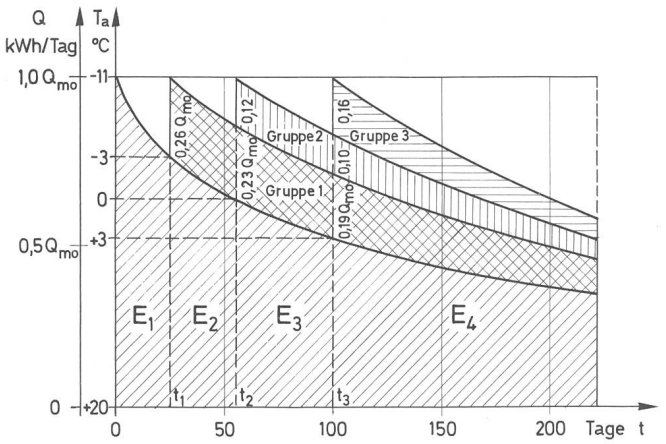

Fig. 1 Dauerkurven des täglichen Heizenergiebedarfs Q

- Substitutionspotential für monovalente Heizanlagen $E_j = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$
- Substitutionspotential der Gruppe 1 (Bivalenz-Grenztemperatur: -3 °C): $0{,}29 \cdot E_j$
- Substitutionspotential der Gruppe 2 (Bivalenz-Grenztemperatur: 0 °C): $0{,}12 \cdot E_j$
- Substitutionspotential der Gruppe 3 (Bivalenz-Grenztemperatur: $+3$ °C): $0{,}13 \cdot E_j$

Freie Netzkapazitäten)* — Tabelle I

Aussentemperatur -3 °C	
Gruppe 1 ($T_{Bi} = -3$ °C)	$Q_{z11} = Q_{z1} = \underline{0{,}26\, Q_{mo}}$
Aussentemperatur ± 0 °C	
Gruppe 1 ($T_{Bi} = -3$ °C)	$Q_{z12} = Q_{z11} \dfrac{20 - T_{Bi2}}{20 - T_{Bi1}} = \underline{0{,}23\, Q_{mo}}$
Gruppe 2 ($T_{Bi} = 0$ °C)	$Q_{z22} = Q_{z2} - Q_{z12} = \underline{0{,}12\, Q_{mo}}$
Aussentemperatur $+3$ °C	
Gruppe 1 ($T_{Bi} = -3$ °C)	$Q_{z13} = Q_{z11} \dfrac{20 - T_{Bi3}}{20 - T_{Bi_1}} = \underline{0{,}19\, Q_{mo}}$
Gruppe 2 ($T_{Bi} = 0$ °C)	$Q_{z23} = Q_{z22} \dfrac{20 - T_{Bi3}}{20 - T_{Bi2}} = \underline{0{,}10\, Q_{mo}}$
Gruppe 3 ($T_{Bi} = +3$ °C)	$Q_{z33} = Q_{z3} - Q_{z13} - Q_{z23} = \underline{0{,}16\, Q_{mo}}$

*) Siehe auch Figur 1

d) Da die Energiemenge Q_{mo} für monovalente Heizanlagen am kältesten Tag zusätzlich zum Standardkonsum verteilt werden kann, ist dies für jeden beliebigen wärmeren Tag erst recht der Fall, d.h., gegenüber dem Q_{mo} bei z.B. -11 °C wird das Potential bei -3 °C durch die monovalenten Anlagen nicht mehr voll genutzt. Im folgenden wird deshalb davon ausgegangen, dass im Rahmen dieser unausgenützten Kapazitäten bivalent-alternative Anlagen angeschlossen werden. Entsprechend der bereits unter 2.2.1 begründeten Annahme werden zwischen -3 und $+3$ °C bivalent-alternative Anlagen gemäss folgender drei Gruppen mit Grenztemperaturwerten von

$T_{Bi1} = -3$ °C, $T_{Bi2} = 0$ °C, $T_{Bi3} = +3$ °C

angeschlossen. Bei voller Ausschöpfung der freien Kapazitäten wird durch die monovalenten und durch die bivalenten Anlagen zusammen jeweils nach Erreichen bzw. Überschreiten der betreffenden Grenztemperaturen somit erneut, wie bei -11 °C, die volle Verteilkapazität in Anspruch genommen.

Aus der Dauerkurve des täglichen Heizenergiebedarfes ergeben sich bei diesen Grenztemperaturen für die monovalenten Anlagen bezüglich des maximalen Wärmeleistungsbedarfes folgende Nutzungswerte $Q' = Q_t/Q_{mo}$:

t	Q'
-11 °C	$1{,}00 \cdot Q_{mo}$
-3 °C	$0{,}74 \cdot Q_{mo}$
0 °C	$0{,}65 \cdot Q_{mo}$
$+3$ °C	$0{,}55 \cdot Q_{mo}$

e) Entsprechend der drei angenommenen Bivalenz-Grenztemperaturen

T_{Bi1}, T_{Bi2} und T_{Bi3}

ergeben sich bezüglich der Nutzungsmöglichkeit die zugeordneten und in Figur 1 eingetragenen Zeitwerte

t_1, t_2 und t_3.

Anzahl Bivalenz-Anlagen pro Einheit monovalenter Elektroheizungen Tabelle II

Grenztemperatur T_{Bi} °C	Täglicher Heizenergiebedarf der monovalenten Anlagen $Q' = \frac{Q(t)}{Q_{mo}}$	Durch bivalente Systeme nutzbares Potential $1 - Q'$	Maximal mögliche bivalente Anschlüsse pro monovalente Einheit bei der Grenztemperatur von			
			Total $\frac{1 - Q'}{Q'}$	T_{Bi1}	T_{Bi2} zusätzlich 0,54–0,35	T_{Bi3} zusätzlich 0,82–0,54
− 11 ($T_{min.}$)	1,0	0,00				
− 3 (T_{Bi1})	0,74	0,26	0,35	0,35		
0 (T_{Bi2})	0,65	0,35	0,54	0,35	0,19	
+ 3 (T_{Bi3})	0,55	0,45	0,82	0,35	0,19	0,28

Anteil von Elektrizität und Brennstoff an der Deckung des jährlichen Heizenergiebedarfes für verschiedene Elektroheizsysteme Tabelle III

Grenztemperatur °C	Heizsysteme	Elektrizität Energiequoten	%	Brennstoff Energiequoten	%
− 11	Monovalent	e_j	100	–	–
− 3	Bivalent-alternativ	$e_j - e_1$	83	e_1	17
0	Bivalent-alternativ	$e_3 + e_4$	67	$e_1 + e_2$	33
+ 3	Bivalent-alternativ	e_4	44	$e_j - e_4$	56

Die sich so gegenüber dem Q_{mo} für bivalent-alternative Anlagen ergebenden freien Kapazitäten Q_z lassen sich damit wie folgt ermitteln:

$$Q_{z1} = Q_{mo} - Q(t_1) = 0{,}26 \cdot Q_{mo}$$
$$Q_{z2} = Q_{mo} - Q(t_2) = 0{,}35 \cdot Q_{mo}$$
$$Q_{z3} = Q_{mo} - Q(t_3) = 0{,}45 \cdot Q_{mo}$$

Die freien Kapazitäten sind den verschiedenen Gruppen der bivalent-alternativen Anlagen gemäss Tabelle I zuzuordnen (20 °C = gewünschte Raumtemperatur).

f) Aus den vorstehenden Überlegungen ergibt sich, dass pro monovalente Elektroheizung eine bestimmte Anzahl bivalent-alternativer Anlagen angeschlossen werden kann. Die Tabelle II gibt hierüber Aufschluss.

Der Anteil des jährlichen Heizenergiebedarfes, der vermittels der bivalent-alternativen Anlagen durch Elektrizität substituiert wird, hängt von der für den Übergang vom Brennstoff- auf den Elektrobetrieb gewählten Grenztemperatur ab. Die aus der Figur 1 planimetrisch abgeleiteten Beziehungen sind in Tabelle III aufgeführt, wobei, wie bereits erwähnt, für den gesamten Jahresbedarf E_j von monovalenten Heizanlagen gilt:

$$E_j = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

Als entsprechende Energiequoten in % werden definiert:

$$e_j = 100 \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{E_j} = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 = 100\,\%$$

Aus der Tabelle IV ist das durch den Einsatz bivalent-alternativer Anlagen aktivierbare Substitutionspotential ersichtlich. Dabei wird vom Bivalenzpotential ausgegangen, welches gemäss Figur 1 54 % des im monovalenten Anwendungsbereich benützten Substitutionspotentials in GWh ausmacht.

Ausgehend von der bereits erwähnten Annahme, dass im Jahre 1990 rund 230000 Wohneinheiten (WE) mit einer monovalenten Elektroheizung ausgestattet sein werden, lassen sich Anzahl und Energieverbrauch der für den bivalent-alternativen Betrieb zu erwartenden Wohnungsheizungen auf der Grundlage der Verhältniszahlen, wie sie in den Tabellen II und III hergeleitet wurden, ermitteln. Sie sind in Tabelle IV zusammengestellt. Bei der Aufteilung des Heizenergiebedarfes in Sommer- und Winteranteil handelt es sich um Schätzungen.

3. Eingliederung der Belieferung bivalent-alternativer Heizanlagen in die Netzbelastung

Im Abschnitt 2 ist – ausgehend von der Dauerkurve des Heizenergiebedarfes monovalenter Heizanlagen – das theoretisch mögliche Substitutionspotential abgeschätzt worden, welches dank Einsatz bivalent-alternativer Heizanlagen zusätzlich nutzbar gemacht werden kann. Es ist anzustreben, einen möglichst hohen Anteil dieses Potentials durch den geeigneten leistungsmässigen Einsatz von bivalenten Anlagen in die jeweils freien Netzkapazitäten zu nutzen. Der tatsächlich erzielbare Nutzungsanteil hängt ab von den besonderen Merkmalen der Belastungscharakteristik der einzelnen Werke sowie vom steuerungstechnischen Aufwand, der von Fall zu Fall zur Verwirklichung dieser Zielsetzung betrieben werden kann.

Im folgenden soll anhand eines praxisorientierten Modellfalles gezeigt werden, dass ein hoher Nutzungsgrad des Substitutionspotentials im Bereich des Möglichen liegt. Wie die Figuren 2...5 zeigen, sollten dabei keine steuerungstechnischen Probleme entstehen, die sich nicht bereits bei der Belieferung monovalenter Anlagen stellen und zu beherrschen sind. Der ausgewählte Modellfall geht von den nachstehenden Annahmen, Voraussetzungen und Überlegungen aus:

a) Die Belastungskurve des Standardkonsums mit durchschnittlichem Industrieanteil wird als Treppenkurve idealisiert dargestellt (Fig. 2). Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Belastungskurve des Standardkonsums von der mittleren Tagestemperatur unabhängig ist.

b) Am kältesten Tage seien die vom Standardkonsum nicht beanspruchten Kapazitäten praktisch vollumfänglich durch monovalente Heizanlagen mit unterschiedlichen Heizsystemen belegt. Die Belegung erfolge gemäss Figur 2

– durch Direktheizungen oder Direktanteile von Gemischtheizungen

Mögliche Verbreitung der bivalent-alternativen Elektroheizungen bei verschiedenen Grenztemperaturen T_{Bi} Tabelle IV

		Gruppe 1 $T_{Bi} = -3$ °C	Gruppe 2 $T_{Bi} = 0$ °C	Gruppe 3 $T_{Bi} = +3$ °C
Anzahl bivalent-alternativer, ohmscher Heizanlagen bzw. Haushaltungen mit elektrischer Raumheizung				
– pro Gruppe		35 % von 230 000 WE = 81 000	19 % von 230 000 WE = 44 000	28 % von 230 000 WE = 65 000
– kumuliert		81 000	125 000	190 000
Durchschnittlicher Heizenergiebedarf pro Anlage in MWh		15	15	15
Jahresenergie in GWh				
– pro Gruppe		1215	660	975
– kumuliert		1215	1875	2850
Anteil Elektrizität an der Deckung des Heizenergiebedarfes				
– Winteranteil	%	65	49	26
– Sommeranteil	% *)	18	18	18
– ganzes Jahr	%	83	67	44
Elektrizitätsverbrauch im Winterhalbjahr				
– pro Gruppe	GWh	790	324	254
– kumuliert	GWh	790	1114	1368
Elektrizitätsverbrauch im Sommerhalbjahr				
– pro Gruppe	GWh	218	119	175
– kumuliert	GWh	218	337	512
Elektrizitätsverbrauch ganzes Jahr				
– pro Gruppe	GWh	1008	443	429
– kumuliert	GWh	1008	1451	1880

*) Gemäss Tabelle 10 des sechsten Zehn-Werke-Berichtes

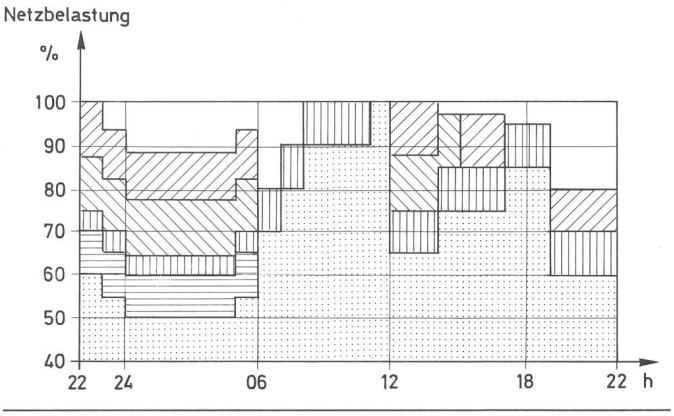

Fig. 2 Netzlast bei einer mittleren Aussentemperatur von −11 °C

Standardkonsum (Energieverbrauch ohne Raumheizung)

Warmwasserbereitung

Raumheizung:

Direktheizanteile

Speicherheizungen mit 8 + 3 Ladestunden

Speicherheizungen mit 8 + 7 Ladestunden

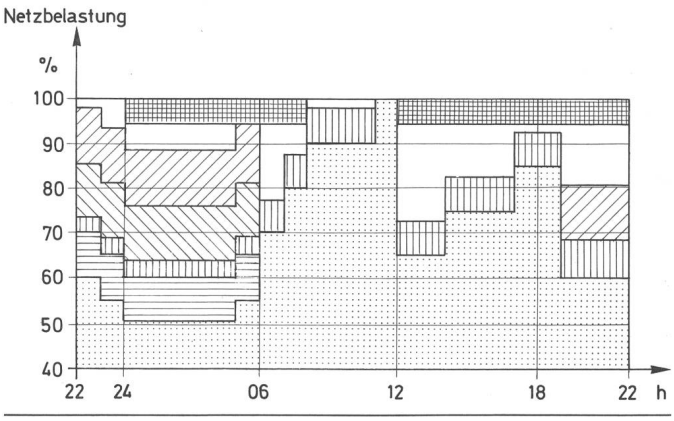

Fig. 3 Netzlast bei einer mittleren Aussentemperatur von −3 °C

Kapazitätsbelegung durch bivalent-alternative Heizanlagen:

Grenztemperatur − 3 °C

Freigabe während 6 Nacht- und 12 Tagesstunden

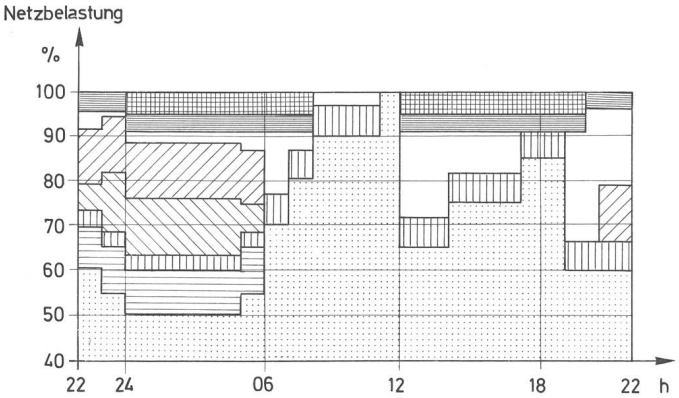

Fig. 4 **Netzlast bei einer mittleren Aussentemperatur von 0 °C**

Standardkonsum (Energieverbrauch ohne Raumheizung)

Warmwasserbereitung

Raumheizung:

Direktheizanteile

Speicherheizungen mit 8 + 3 Ladestunden

Speicherheizungen mit 8 + 7 Ladestunden

Kapazitätsbelegung durch bivalent-alternative Heizanlagen:

Grenztemperatur − 3 °C

Grenztemperatur 0 °C

Freigabe während 8 Nacht- und 12 Tagesstunden

– durch Speicherheizungen mit 8 Nacht- und 3 Tages- bzw. 8 Nacht- und 7 Tages-Ladestunden am kältesten Tage, wobei die Heizsysteme je zur Hälfte vorwärts bzw. rückwärts gesteuert seien.

c) Bei steigender Aussentemperatur äussert sich der sinkende Wärmeleistungsbedarf der Heizanlagen in einem entsprechenden Rückgang der Leistungsbezüge der Direktheizungen und der Ladezeiten der Speicherheizungen. Dieser Rückgang kommt in den Figuren 3...5 zum Ausdruck, ebenso sind hierin die mit steigenden Aussentemperaturen wieder neu entstehenden freien Kapazitäten ersichtlich, welche für den Anschluss bivalenter Heizanlagen verfügbar werden.

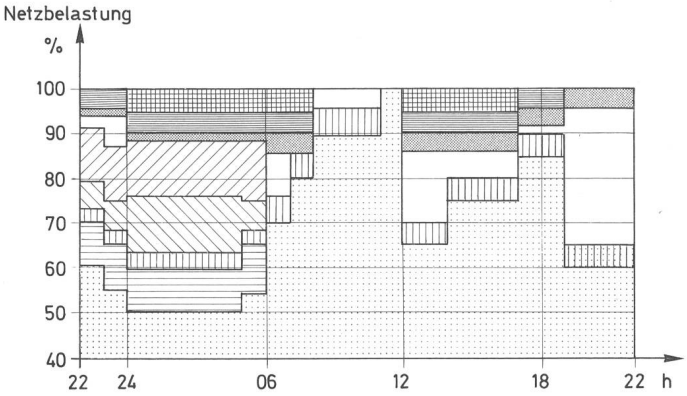

Fig. 5 **Netzlast bei einer mittleren Aussentemperatur von +3 °C**

Kapazitätsbelegung durch bivalent-alternative Heizanlagen:

Grenztemperatur − 3 °C

Grenztemperatur 0 °C

Grenztemperatur + 3 °C

Freigabe während 23 Stunden (Direktheizsysteme)

d) Es wird davon ausgegangen, dass bivalent-alternative Anlagen neu bei Bivalenz-Grenztemperaturen T_{Bi} zwischen − 3 und + 3 °C angeschlossen werden. Den der Netzenergie zugewiesenen Komponenten sind möglichst ausgedehnte Freigabezeiten einzuräumen. Diese Annahme stützt sich auf die Überlegung, dass dem Bivalenzkunden nicht noch namhafte Aufwendungen für die Energiespeicherung aufgebürdet werden sollten, wenn er schon die zur Nutzung zweier verschiedener Energieträger erforderlichen zusätzlichen Anlagekosten zu tragen hat. Im vorliegenden Modellfall wären z. B. die in Tabelle V angeführten Freigabezeiten sinnvoll.

Modellmässige Festlegung von Freigabezeiten Tabelle V

Bivalenz-Grenztemperatur T_{Bi}	Freigabezeiten	
	Nacht	Tag
− 3 °C	24.00–06.00	06.00–08.00 12.00–22.00
0 °C	22.00–06.00	06.00–08.00 12.00–22.00
+ 3 °C	22.00–06.00	06.00–11.00 12.00–22.00

e) Die sich durch den Anschluss der vorstehend beschriebenen bivalenten Heizsysteme ergebende Kapazitätsbelegung geht wiederum aus den Figuren 3...5 hervor. Figur 5 zeigt die Verhältnisse bei einer Aussentemperatur von + 3 °C, ab welcher alle an diesem Netz angeschlossenen Bivalenzanlagen zu beliefern sind. Die sich aus der Kapazitätsbelegung durch bivalente Anlagen ergebende Energiemenge liegt bei 84 % derjenigen der monovalenten Anlagen, wie dies aus der Gegenüberstellung der Figuren 2 und 5 ersichtlich ist.

f) Würde man die Tatsache, dass auch der Standardkonsum mit steigenden Aussentemperaturen absinkt, in die vorliegenden Überlegungen miteinbeziehen, so ergäben sich bei den verschiedenen Bivalenz-Grenztemperaturen zusätzlich noch erheblich grössere Anschlussmöglichkeiten für bivalent-alternative Systeme. Je nach Belastungsverhältnissen könnten sogar vorwiegend Direktheizsysteme angeschlossen werden.

Diese Modellüberlegungen können keinen Anspruch auf eine lückenlose Wiedergabe aller praktischen Verhältnisse erheben. Aber sie zeigen, dass ein namhafter Anteil des vorhandenen Substitutionspotentials durch geeignete Einordnung von bivalenten Anlagen in die jeweils freien Netzkapazitäten genutzt werden kann. Um die vorstehenden, ganz allgemein gültigen Darlegungen auf die Verhältnisse der einzelnen Werke übertragen zu können, ist für jedes eine besondere Planung zu erstellen, die einen möglichst hohen netzseitigen Ausnutzungsgrad der Anlagen mit einem wirtschaftlich vertretbaren steuerungstechnischen Aufwand ermöglicht. Bei dieser Planung sind die bereits installierten monovalenten Heizsysteme (Direkt-, Speicher-, Mischheizungen usw.) gebührend zu berücksichtigen. Für Werke mit einem relativ grossen Anteil monovalent angeschlossener Speicherheizungen sind die Verhältnisse insbesondere dann zu überprüfen, wenn bei tiefen Aussentemperaturen zusätzliche längere Tagesnachladungen der Speicher zugestanden werden.

4. Ausschöpfung des elektrizitätswirtschaftlichen Substitutionspotentials durch bivalent-alternative Raumheizanlagen

4.1 Abnehmerseitige Gesichtspunkte

Die abnehmerseitigen Investitionskosten für bivalente Heizsysteme sind höher als diejenigen für monovalente Anlagen. Der Mehraufwand muss durch Einsparungen bei den Energiekosten kompensiert werden können. Das Ausmass dieser Einsparungen hängt zum einen vom Anteil am jährlichen Heizenergiebedarf ab, der elektrisch gedeckt werden kann, und zum andern von der Preisrelation von z. B. Elektrizität/Heizöl. Da der Deckungsanteil durch Elektrizität um so grösser wird, je tiefer die Bivalenz-Grenztemperatur T_{Bi} gewählt wird, verbessert sich bei stärker ansteigenden Heizölpreisen mit abnehmender T_{Bi} die Relation zwischen den Mehraufwendungen für die Installation von bivalenten Anlagen einerseits und den sich aus der Heizölsubstitution ergebenden Einsparungen an Betriebskosten andererseits. Der sowohl von den Netzbelastungsverhältnissen her als auch unter dem Gesichtspunkt der Konkurrenzfähigkeit vertretbare T_{Bi}-Bereich dürfte für das schweizerische Mittelland zwischen -3 °C und $+3$ °C liegen. Je nach den Netz- und Belastungsverhältnissen sowie der geographischen Lage können sich für verschiedene Werke auch andere Grenztemperaturen als sinnvoll erweisen.

Da sowohl die technische Entwicklung von bivalent-alternativen Heizanlagen als auch insbesondere die Preisrelationen Elektrizität/Heizöl im Fluss sind, hält es schwer, allgemeine und auf längere Zeit gültige Aussagen über die Wettbewerbsverhältnisse der einzelnen Systeme zu machen. Eine allgemeingültige Aussage über die Konkurrenzfähigkeit bivalenter Systeme wird vor allem auch durch die Tatsache erschwert, dass die für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen erforderlichen Unterlagen von Objekt zu Objekt verschieden sind. Bei den Herstellerfirmen besteht ein umfangreiches Datenmaterial, das auf jeweils konkrete Anwendungsbeispiele zugeschnitten ist.

Mögliche Verarbeitung der bivalent-alternativen Raumheizanlagen (Elektrizität/Öl) in Abhängigkeit vom Heizölpreis — Tabelle VI

Entwicklung des Heizölpreises	Im Bereiche der Wirtschaftlichkeit liegende Gruppen			Wirtschaftlich nutzbares Potential	Ausnutzungsgrad des Gesamtpotentials
	Gruppe	Bivalenz Grenztemperatur °C	Anzahl Anlagen kumuliert	GWh	%
Preisrelation 1980	1	− 3	81 000	1008	60
Mässige Verteuerung	2	0	+ 44 000	+ 443	+ 20
	1+2 kum.		= 125 000	= 1451	= 80
Starke Verteuerung	3	+ 3	+ 65 000	+ 429	+ 20
	1+2+3 kum.		= 190 000	= 1880	= 100

Bis 1990 mögliche Heizölsubstitution durch bivalent-alternative Raumheizanlagen kleiner und mittlerer elektrischer Leistung bei verschiedenen Grenztemperaturen T_{Bi} — Tabelle VII

	Gruppe 1 $T_{Bi} = -3$ °C	Gruppe 2 $T_{Bi} = 0$ °C	Gruppe 3 $T_{Bi} = +3$ °C	Total
Angenommene Wirkungsgrade in % für monovalente Ölheizungen	70	70	70	
Angenommene Jahres-Arbeitsziffer für				
– Widerstandsheizungen	0,95	0,95	0,95	
– Wärmepumpenheizungen mit elektrischem Kompressorantrieb	2,3	2,5	2,7	
1. Ausrüstung mit ausschliesslichen Widerstandsheizungen				
Ersetzbare Heizölmengen 1990: in 1000 t	118	52	50	220
in % von 8 Mio t*)	1,5	0,7	0,6	2,8
2. Ausrüstung je zur Hälfte mit Widerstands- und Wärmepumpenheizungen				
Ersetzbare Heizölmengen 1990: in 1000 t	201	94	96	391
in % von 8 Mio t*)	2,5	1,2	1,2	4,9
3. Ausrüstung zu 30% mit Widerstands- und zu 70% mit Wärmepumpenheizungen				
Ersetzbare Heizölmenge 1990: in 1000 t	235	111	115	461
in % von 8 Mio t*)	2,9	1,4	1,5	5,8

*) Ungefährer derzeitiger Jahresverbrauch von Heizöl in der Schweiz.

Für die bivalent-alternativen Heizsysteme zeichnet sich darnach im allgemeinen die Erkenntnis ab, dass sie in den Bereich der Wirtschaftlichkeit gelangen, wenn die Bivalenz-Grenztemperatur vorderhand nicht wesentlich über $-3\,^0C$ angehoben werden muss und sobald der Heizölpreis 70 Rp. pro kg überschreitet. Ein Preisvergleich zwischen bivalenten Anlagen mit Widerstands- und Wärmepumpenheizungen wird zurzeit noch in den meisten Fällen zugunsten der Widerstandsheizungen ausfallen. Mit gegenüber der Elektrizität weiterhin steigenden Ölpreisen einerseits und im Zuge des technischen Fortschrittes andererseits dürften aber die Wärmepumpensysteme allmählich in einen zunehmenden Kostenvorteil hineinwachsen.

4.2 Energiewirtschaftliche Gesichtspunkte

Aufgrund der voranstehenden Erwägungen und den in der Tabelle IV enthaltenen Angaben lässt sich die mögliche Verbreitung bivalent-alternativer Raumheizanlagen sowie das durch den Betrieb solcher Anlagen gegenüber dem Ölbedarf erreichbare Substitutionspotential abschätzen. Tabelle VI erteilt hierüber Aufschluss.

Der Ausnützungsgrad des vorhandenen Gesamtpotentials von 1880 GWh wird stark von der Wirtschaftlichkeit der bivalent-alternativen Anlagen, d.h. vor allem von der weiteren Entwicklung der Energiepreise, abhängig sein.

Ohne weitere starke Erhöhung des Heizölpreises dürften im Laufe der achtziger Jahre vorerst die rund 80000 bivalent-alternativen Heizungen im Grenztemperaturbereich von $-3\,^0C$ zur Ausführung gelangen. Mit der fortschreitenden Verteuerung der elektrischen Energie stärker ins Gewicht fallenden Heizölpreisschüben dürfte die schrittweise Ausnützung des Potentials für die zusätzlichen 110000, in den höheren Bivalenz-Grenztemperaturbereichen arbeitenden Anlagen folgen.

Tabelle VII zeigt, dass durch Einsatz bivalent-alternativer Heizanlagen – namentlich bei starker Förderung der Wärmepumpensysteme – beachtliche Heizölmengen durch Elektrizität substituierbar sind. Gemessen am derzeitigen Heizölverbrauch der Schweiz von rund 8 Mio t/a erscheint aus heutiger Sicht im Laufe der achtziger Jahre – je nach der Entwicklung der Preisrelation Elektrizität/Heizöl sowie der preislichen und technischen Verbesserungen bei den Wärmepumpenanlagen mit bivalent-alternativen Heizsystemen – eine Substitution von 2...6 % des heutigen Heizölbedarfes erreichbar, was noch im Rahmen der Netzkapazitäten liegen würde, die gemäss dem sechsten Zehn-Werke-Bericht [3] für die Substitution von Heizöl durch Elektrizität im Jahre 1990 verfügbar ist.

Literatur

[1] Lieferung von elektrischer Energie für bivalente Raumheizanlagen. VSE-Empfehlungen, Bull. SEV/VSE 22/1980.

[2] Tarifierungs- und Lieferungsgrundsätze für allelektrisch versorgte Haushaltungen. VSE-Empfehlungen, Bull. SEV/VSE 22/1980.

[3] Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz 1979–1990. 6. Zehn-Werke-Bericht, VSE, Juni 1979.

[4] VSE-Statistik 1980 über Elektro-Haushaltgeräte. Bull. SEV/VSE 72(1981)12, S. 645.