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: 66 (1975)

Heft: 7

Artikel: Probleme der Hoch- und Niederspannungsnetze bei einem Überlandwerk

Autor: Strickler, H.R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915275

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: 15.07.2025

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

Probleme der Hoch- und Niederspannungsnetze bei einem Überlandwerk

Von H. R. Strickler

Nach Darlegung des heutigen Zustandes des Netzes legt der Autor im Hinblick auf eine grössere Diversifikation der Energieträger eingehend seine Gedanken zu einer besseren Ausnutzung des bestehenden Netzes dar, wobei auch Massnahmen zur Reduktion der Ausbaukosten behandelt werden.

Après avoir exposé l'état actuel du réseau, l'auteur, envisageant une diversification plus marquée des agents énergétiques, porte ses réflexions vers une meilleure utilisation des réseaux existants, tout en traitant des mesures visant à une réduction des frais d'extension des réseaux.

Zuerst gebe ich Ihnen einen kurzen Überblick über den heutigen Stand des Transport- und Verteilnetzes der Bernischen Kraftwerke AG (BKW). Wie bei den meisten Werken, die die Entwicklung seit Beginn der Elektrizitätswirtschaft, das heisst seit Anfang unseres Jahrhunderts, mitgemacht haben, sind infolge der stets ansteigenden Leistungen immer neue Spannungsebenen hinzugekommen. Relativ wenige derselben konnten durch Normalisierung ausgeschieden werden. So sind heute bei den BKW die Spannungen 380 kV, 220 kV, 150 (132) kV, 50 kV, 16 kV und Niederspannung 380/220 V vorhanden, insgesamt also 5 Hochspannungs- und 1 Niederspannungsebene. Das Nebeneinander von 5 Hochspannungen entspricht nicht der betrieblich und wirtschaftlich optimalen Konzeption. Dieselbe ist aber historisch so gewachsen, und eine Korrektur ist nicht einfach, weil mit hohen Investitionen verbunden, obwohl sie, langfristig gesehen, sich aufdrängt.

Somit bestehen also heute

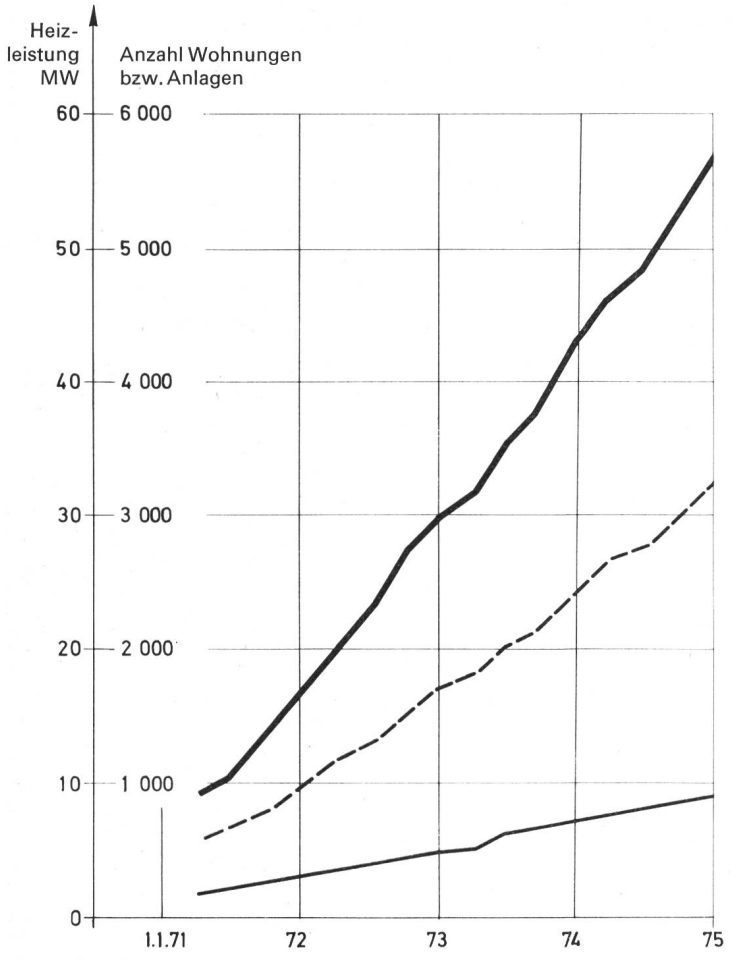

Fig. 1 Anschlussentwicklung elektrischer Heizungen im direkten Versorgungsgebiet der BKW

▬▬ Anschlusswert Speicherheizung (in MW)
– – – Anschlusswert Direktheizung (in MW)
——— Anzahl Wohnungen bzw. Anlagen

– die *380-kV-Ebene* als Teil eines im Ausbau begriffenen schweizerischen und internationalen Verbundnetzes,

– die *220-kV-Ebene,* die ihren Verbundcharakter zum Teil verloren hat und Verteilaufgaben erfüllt,

– die *150-(132-)kV-Ebene,* bestehend aus dem ursprünglichen 150-kV-(Verbund-)Netz und der jetzt im Bau begriffenen 132-kV-Anlage als oberes Verteilnetz,

– die *50-kV-Ebene,* ein sich über den ganzen Kanton erstreckendes Zwischenverteilnetz, zum grössten Teil als Regelleitungen und teilweise aus überalterten Unterstationen bestehend,

– die *16-kV-Ebene,* unteres Verteilnetz, grösstenteils mit Material der Reihe 24 kV ausgerüstet,

– und schliesslich das

380/220-V-Niederspannungsnetz.

Während die 380-kV-Ebene auf Verbundleistung ausgerichtet ist und damit von der Einführung der elektrischen Heizung kaum berührt wird, was auch für 220 kV weitgehend zutrifft, unterliegen die tieferen Spannungen in steigendem Masse den Auswirkungen der Heizung.

Die BKW standen der elektrischen Heizung seit 1968, dem Zeitpunkt der Erstellung der ersten Versuchsheizungen, positiv gegenüber. In dieser Zeitspanne wurde eine Reihe solcher Anlagen erstellt, wie Fig. 1 zeigt.

Mit den im direkten Versorgungsgebiet Anfang 1975 installierten Heizungen lassen sich etwa 0,13 % des schweizerischen Bedarfes an Heizöl substituieren, was umgerechnet auf die schweizerische Bevölkerung, d. h., wenn alle Werke in gleichem Masse mitmachten, etwa 1 % des Heizölbedarfes entspricht.

Da diese Heizungen überall da bewilligt wurden, wo es sich ohne weitgehende Netzverstärkung bewerkstelligen liess, sind die Aufwendungen für Netzverstärkung insgesamt sehr bescheiden geblieben.

Die Speicher waren ursprünglich für kurze Aufladezeit, das heisst reine Nachtaufladung, disponiert. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde die Aufladezeit zusehends verlängert. Die installierte Leistung wird dadurch kleiner, und es können entsprechend mehr Heizungen an ein bestehendes Teilnetz angeschlossen werden. Die Untersuchung der vorhandenen Netze zeigt, dass trotzdem ohne wesentliche Netzverstärkung höchstens 5–10 % der Wohnungen elektrisch beheizt werden können (Sättigungsgrad S = 5–10 %), was etwa 0,3–0,6 % des schweizerischen Erdölbedarfes oder, auf die schweizerische Bevölkerung umgerechnet, 3–6 % des Heizölverbrauchs ergibt. Zur Diskussion steht jedoch eine Substitution in der Grösse von etwa 20 %, die also nicht ohne wesentliche Netzverstärkung zu erreichen ist.

Für das Gebiet des Kantons Bern ist von einer Gesamtenergiekonzeption zu erwarten, dass die Agglomerationen Bern, Biel und Thun der Fernheizung vorbehalten bleiben. Das für die elektrische Heizung verbleibende Gebiet umfasst

eine Bevölkerung von 680000 Einwohnern, die in etwa 238000 Wohnungen leben.

Wenn 20 % des schweizerischen Heizölbedarfes von 8,7 Millionen Tonnen pro Jahr substituiert werden sollen, trifft das auf die oben genannten Einwohner einen Anteil von 188000 Tonnen, was einer elektrischen Heizenergie von $1{,}5 \cdot 10^6$ MWh entspricht.

Da nicht nur der Umfang, sondern auch die Art der elektrischen Heizung am Einfluss auf das Netz massgebend beteiligt ist, muss ich noch einige Bemerkungen zur elektrischen Heizung einflechten. Mit einem Speicherheizsystem, das minimale Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Netzes stellt, d. h., das in den kältesten Tagen 24 Stunden täglich eingeschaltet ist und demnach eine Jahresgebrauchsdauer von 1900 Stunden aufweist, ergibt sich eine Heizleistung von 790 MW, d. h., es können bei einer Aufheizleistung von 6,5 kW pro Wohnung als Mittel aller Wohnungen total 122000 Wohnungseinheiten elektrisch beheizt werden, was zu einem Sättigungsgrad von 51 % führt.

Die erwähnte Bedingung gilt für die Widerstandsspeicherheizung mit – in den kältesten Tagen – 24stündiger Aufladung. Sie benötigt einen Wärmespeicher von etwa 25–30 % des Wärmebedarfes der kältesten Tage.

Ohne Wärmespeicher (Widerstandsdirektheizung) muss gegenüber der Speicherheizung die Energieaufnahme in der Nacht reduziert werden und umgekehrt die Energieaufnahme am Tag mit entsprechend grösserer installierter Leistung (10 kW pro Wohnungseinheit) erhöht werden. Diese grössere Leistung ist verbunden mit der kleineren Jahresgebrauchsdauer von nur 1100 Stunden.

Beide Varianten lassen sich auch mit Wärmepumpen verwirklichen, wobei die Leistungen auf etwa einen Drittel der Werte der Widerstandsheizung fallen (Wärmepumpenspeicherheizung mit 24stündiger Aufladung bzw. Wärmepumpendirektheizung). In Fig. 2 sind die Investitionen für die Netzverstärkung angegeben in Funktion des Sättigungsgrades und für vier verschiedene Varianten.

Für den Sättigungsgrad S = 51 % ergeben sich folgende Netzausbaukosten und zugehörige installierte Leistungen für diese vier in Fig. 2 angegebenen Varianten (siehe Tabelle I).

Tabelle I

Variante	Netzausbaukosten	Installierte Leistung
A	930 Millionen Franken	1220 MW
B	610 Millionen Franken	790 MW
C	520 Millionen Franken	600 MW
D	380 Millionen Franken	530 MW

Diese Investitionen sind nach dem Verursacherprinzip sicher ganz der elektrischen Heizung zuzuschlagen, wenn die übrigen Verbraucher in Zukunft keinen Energiezuwachs aufweisen (Zuwachsrate 0). In diesem Falle würde ja das bestehende Netz für die Versorgung dieser Verbraucher allein genügen. Ist die Zuwachsrate jedoch z. B. 5 % pro Jahr und betrachten wir eine zehnjährige Zeitspanne zur Einführung der elektrischen Heizung als angemessen, so können etwa 25 % dieser Kosten den übrigen Verbrauchern angelastet werden.

Die Zusammenstellung in der Tabelle II zeigt, dass bei einem heutigen Ölpreis von 370 Franken pro Tonne und einem Gestehungspreis der elektrischen Energie von etwa 4,5 Rp. pro kWh ab (Kern-)Kraftwerk die elektrische Heizung durchaus konkurrenzfähig ist gegenüber der Ölheizung, auch wenn in den Preisen der Heizenergie die Investitionen für den Netzausbau berücksichtigt werden.

Die Widerstandsdirektheizung führt zu extrem grossem Leistungsbedarf (1220 MW), zu entsprechend hohen Investitionen für Netzausbau (930 Millionen Franken) und erweist sich auch für den Konsument ungünstiger als die Widerstandsspeicherheizung. Sie wird deshalb im folgenden nicht mehr berücksichtigt.

Aufgrund der bisherigen Darlegungen kann nun die Auswirkung der Einführung der elektrischen Heizung auf das Netz beurteilt werden:

– Die elektrische Heizung im Gebiet des Kantons Bern (ohne Agglomerationen) mit einem Sättigungsgrad von 51 %, entsprechend einer Substitution von 20 % des Heizöls im gesamtschweizerischen Rahmen, führt je nach Heizsystem zu einem Leistungszuwachs gemäss Tabelle III. In allen Fällen handelt es sich um sehr hohe Werte.

– Wenn also die Schweiz innert einer nützlichen Frist von z. B. 10 Jahren weniger vom Erdöl abhängig werden soll, durch Einführung von elektrischen Heizungen, trifft dies die BKW mit einer Steigerung der Leistung für das genannte Gebiet auf das 2,3–3,6fache des heutigen Wertes. Dieser Faktor hängt ab von der Art der Heizung und dem Leistungszuwachs der übrigen Verbraucher. Anders ausgedrückt, das Netz müsste auf etwa die 3fache heute, das heisst seit anfangs des Jahrhunderts, installierte Leistung verstärkt werden. Statt

Ölheizung, Widerstandsheizung und Wärmepumpe; Vergleich zur Ermittlung der Jahreskosten im Jahr 1985 (Preisbasis 1975) Tabelle II

		Ölheizung	Widerstandsheizung		Wärmepumpe	
			direkt	Speicher (24h)	direkt	Speicher (24h)
Erstellungskosten	Fr.	13 000.–	10 000.–	10 000.–	19 000.–	22 000.–
Annuität und Unterhalt	%	13,5	9,5	9,5	10,0	10,0
Annuität und Unterhalt	Fr./Jahr	1 755.–	950.–	950.–	1 900.–	2 200.–
Ölpreis	Fr./t	370.–	–	–	–	–
Energiepreis	Rp./kWh	–	13,2...11,2	10,4...8,9	15,1...12,8	12,4...10,6
Ölbedarf	t/Jahr	1,5	–	–	–	–
Energiebedarf	kWh/Jahr	–	11 000	12 400	3 700	4 100
Energiekosten	Fr./Jahr	550.–	1 440.–...1 230.–	1 290.–...1 100.–	560.–...470.–	510.–...435.–
Jahreskosten	Fr.	2 305.–	2 390.–...2 180.–	2 240.–...2 050.–	2 460.–...2 370.–	2 710.–...2 635.–

einer Zuwachsrate von wie bisher etwa 5 % pro Jahr ergäbe sich für die nächsten 10 Jahre eine solche von 8,7–13,7 % pro Jahr.

– Es ist ganz klar, dass ein solcher Ausbau nach einer grundsätzlichen Überprüfung der Konzeption des Übertragungs- und Verteilnetzes ruft. Da das neu zu Schaffende leistungsmässig das Bestehende um ein Mehrfaches übertrifft, wird es möglich sein, in den Grundsatzfragen weniger auf das historisch Gewachsene als auf eine zukünftige wirtschaftliche und mit einem Minimum an finanziellen Mitteln auskommende Lösung hin zu tendieren. Damit komme ich auf das eingangs erwähnte Problem der Vielzahl an Spannungen im BKW-Netz zurück.

– Die vorerwähnten Zahlen basieren auf einem Netz mit den Spannungsebenen 380 kV, 132 kV, 16 kV und Niederspannung 380/220 V. Der Ausbau des 50-kV-Netzes zur Übertragung der genannten Leistung würde viele Stützpunkte dieses Netzes bedingen, die ihrerseits in einer höheren Spannung angespeist werden müssten. Dazu eignet sich ausser bei Stützpunkten, die in der Nähe der heutigen Gittermastenleitungen liegen, nur das 132-kV-Netz. Diese Spannungsebene ist jedoch noch so flexibel und ihre Verkabelung (bei den in Frage kommenden Leistungen) billiger als in 50 kV, so dass die 50-kV-Ebene umgangen werden kann. Das bedeutet, dass das 50-kV-Netz systematisch – vorläufig bis auf gewisse Randgebiete – abgebaut bzw. auf 132 kV umgebaut wird, wobei durch Wegfall der zusätzlichen Transformierungen hohe Mehrkosten vermieden werden.

Andererseits ist das 132-kV-Netz leistungsfähig genug, um die anfallenden Leistungen direkt aus dem 380-kV-Netz abzunehmen. Der Ausbau des 220-kV-Netzes, das bei den BKW heute noch in relativ kleinem Umfange vorhanden ist, kann damit ebenfalls vermieden und können auch hier grosse Beträge eingespart werden.

Damit nähern sich die BKW aber der oben erwähnten international anerkannten Normreihe der Nennspannungen, die sich durch hohe Wirtschaftlichkeit auszeichnet.

– Das 16-kV-Netz selbst ist entsprechend auszubauen. Seine Konzeption bleibt im wesentlichen erhalten. Ob sich unter den neuen Anforderungen eine Spannungserhöhung auf 20 kV lohnt, müsste noch abgeklärt werden.

– Das Niederspannungsnetz ist ebenfalls stark auszubauen. Eine andere Spannung als Normalspannung 380/220 V zur Speisung der Heizungen, z. B. 1000 V, ist, abgesehen von Spezialfällen, kaum erwünscht.

– Der Netzausbau erfolgte bisher auf der Basis einer jährlichen Zuwachsrate von etwa 5 %. Ohne elektrische Heizung wird eventuell in Zukunft wegen der Normalisierung der Wirtschaftslage mit einer kleineren Zuwachsrate zu rechnen sein, was zeitlich auf eine Streckung des Netzausbaues hinausläuft. Demgegenüber würde die Einführung der Heizung einer starken zeitlichen Raffung gleichkommen. Das Ziel des Ausbaus würde sich viel besser festlegen lassen, und es müsste weniger zu Lösungen gegriffen werden, die momentan etwas kleinere Investitionen zur Folge haben, am Schluss aber ein uneinheitliches, technisch wenig geeignetes und wenig wirtschaftliches Netz hinterlassen.

– Massnahmen zur Vergrösserung der Reichweite von 16-kV-Leitungen und Niederspannungsleitungen, wie etwa Blindlastkompensation oder -überkompensation, können vereinzelt zu hohen Einsparungen führen, etwa wenn damit Unterstationen 132/16 kV bzw. Netzstationen 16000/380/220 V oder zusätzliche Leitungen vermieden werden.

– Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Einführung der elektrischen Heizung die Verwirklichung des 132-kV-Netzes stark fördert, ferner zu einem starken Ausbau des 16-kV-Netzes und des Niederspannungsnetzes führt, ohne deren grundsätzliche Konzeptionen umzugestalten.

– In den Kostenberechnungen sind nur kleine Beträge für Fernsteuerung und Fernüberwachung eingesetzt, in der Meinung, dass hierin im Rahmen des Verteilnetzes (132 kV und tiefere Spannungen) leicht des Guten zuviel getan werde. Störungen sind heute dank verbesserten Apparaten und Materialien ohnehin selten geworden. Schutzeinrichtungen weisen eine hohe Zuverlässigkeit auf, so dass Störungen in ihren Auswirkungen auf ein Minimum begrenzt werden.

– Der Umfang des Ausbaues und der dafür notwendigen Mittel rufen dringend nach einer bedeutend weitergehenden, umfassenden Planung, als sie bis heute eingesetzt war.

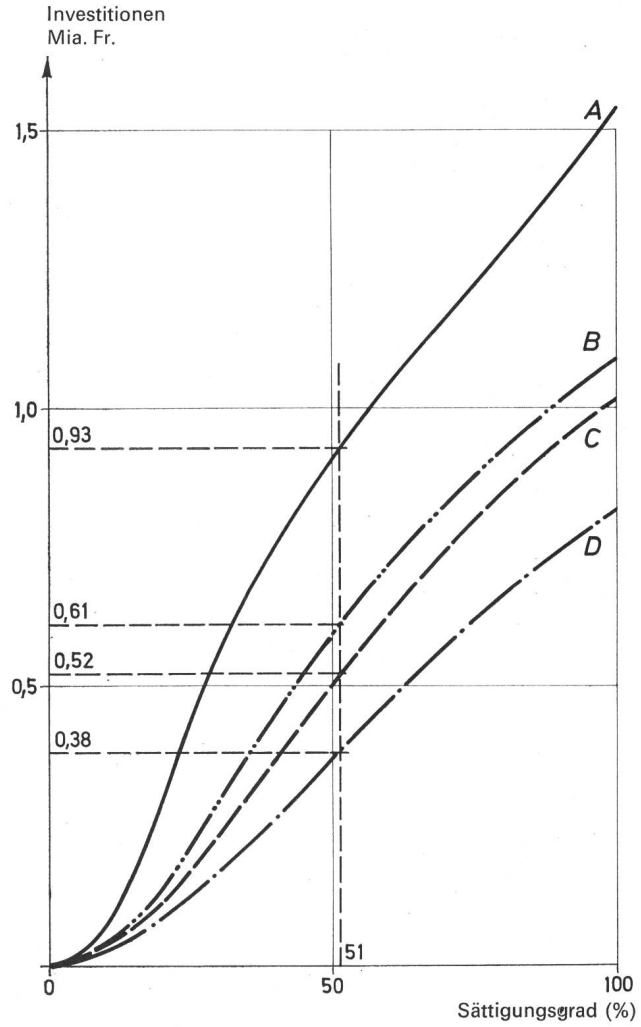

Fig. 2 Investitionen für den Netzausbau infolge Einführung der elektrischen Heizung im Kanton Bern, ohne Agglomerationen

Kurve A: Widerstands-Direktheizung mit 14stündiger täglicher Gebrauchsdauer

Kurve B: Widerstands-Speicherheizung mit 24stündiger Aufladung

Kurve C: 50 % Widerstands-Speicherheizung mit 24stündiger Aufladung + 50 % Wärmepumpe ohne Speicher

Kurve D: 50 % Widerstands-Speicherheizung mit 24stündiger Aufladung + 50 % Wärmepumpe mit Speicher

Die Einführung der elektrischen Heizung und die entstehenden Leistungen Tabelle III

Heizvariante (siehe Tabelle I)	Leistung in MW			Leistung in %			Zuwachsrate in %/Jahr		
	B	C	D	B	C	D	B	C	D
1975 ohne elektrische Heizung	400	400	400	100	100	100	–	–	–
1985 ohne elektrische Heizung, Zuwachsrate übrige Verbraucher 5 %	650	650	650	163	163	163	5,0	5,0	5,0
1985 mit elektrischer Heizung, Zuwachsrate übrige Verbraucher 0 %	1190	1000	930	298	250	230	11,5	9,6	8,7
1985 mit elektrischer Heizung, Zuwachsrate übrige Verbraucher 5 %	1440	1250	1180	360	312	295	13,7	12,0	11,4

Ich möchte noch darauf hinweisen, dass in meinen Ausführungen ein Gestehungspreis von 4,5 Rp. pro kWh für Energie ab Kernkraftwerk eingesetzt wurde als Anteil am Energiepreis beim Konsumenten (Basis 1975), was einer Jahresgebrauchsdauer des Kraftwerkes von 6000 Stunden, ohne Berücksichtigung von Leistungsreserven, entspricht. Die elektrische Heizung weist aber im besten Fall etwa 2000 Stunden Jahresgebrauchsdauer auf, was einem Gestehungspreis von über 13 Rp. pro kWh entsprechen würde, wenn aus dem Kraftwerk ausschliesslich elektrische Heizungen gespeist werden. Es müsste deshalb bei der Einführung der elektrischen Heizung für die Energie aus Kernkraftwerken eine ergänzende Absatzmöglichkeit gefunden werden.

Das Ziel, mit Hilfe von elektrischer Heizung innert der Frist von 10 Jahren den auf die BKW fallenden Anteil an einer Substitution von 20 % des schweizerischen Heizölbedarfs zu erreichen, bedingt einen sehr grossen leistungsmässigen Ausbau des Übertragungs- und Verteilnetzes. Mit einer gut geplanten Netzkonzeption können die wirtschaftlichen und technischen Anforderungen beherrscht werden. Der Netzausbau verursacht entsprechend hohe Investitionen, währenddem sich Diskussionen über Finanzierungsfragen der zukünftigen Bereitstellung von Energie oft allzu sehr auf die Produktion beschränken. Ein Netzausbau im geschilderten Umfang würde unser Personal aufs äusserste beanspruchen. Die Grenze der Realisierbarkeit ist jedoch bei der Installation und dem Anschluss der elektrischen Heizung selbst (je etwa 12000 Wohnungen pro Jahr auf 10 Jahre) sicher überschritten, so dass schlussendlich von dieser Seite aus die im Zeitraum der nächsten 10 Jahre substituierbare Menge an Heizöl begrenzt wird.

Adresse des Autors:
H. R. Strickler, Vizedirektor der Bernischen Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25.

Mittel- und Niederspannungsnetzausbau in Städten unter Berücksichtigung der Elektroheizung

Von R. Wehn

Der stetig ansteigende, überdurchschnittliche Leistungsbedarf – insbesondere der Kunden mit Elektroheizung – zwingt zu neuen Überlegungen bei der Gestaltung der Mittel- und Niederspannungsnetze. Die Mittel- und Niederspannungsnetze ausgeführter Großsiedlungsprojekte mit mehr als 2000 elektrisch beheizten Wohnungen werden beschrieben. Betriebserfahrungen und Belastungskennwerte aus diesen Netzen, Altbaugebieten und ausländischen Netzen werden erläutert, ebenso zukünftige Belastungsentwicklungen und Netzausbau.

La demande de puissance toujours croissante et supérieure à la moyenne – surtout de la part des clients qui usent du chauffage à l'électricité – oblige à reviser la conception des réseaux à moyenne et basse tension. L'auteur décrit les projets exécutés de réseaux à moyenne et basse tension devant desservir des agglomérations comptant plus de 2000 appartements chauffés à l'électricité. Les expériences d'exploitation et les caractéristiques de charge de tels réseaux aussi bien que les régions d'anciennes bâtisses et les réseaux de l'étranger sont évoqués de même que l'évolution future des charges et de l'extension des réseaux.

Als Mitarbeiter eines Elektrizitätsversorgungsunternehmens, in dem schon vor etwa 15 Jahren die Elektrospeicherheizung eingeführt wurde, kann ich Ihnen über unsere über einen längeren Zeitraum gemachten Erfahrungen berichten.

Wir hatten im Ruhrgebiet Anfang der sechziger Jahre das Glück, neue Netze in bisher unerschlossenen Gebieten planen zu können. Satellitenstädte mit jeweils mehreren tausend Wohnungen wurden auf der grünen Wiese geplant und gebaut. Hier konnte man neue Überlegungen anstellen und verwirklichen.

Diese Möglichkeiten werden aber wieder seltener, denn die Satellitenstädte haben nicht in elektrizitätswirtschaftlicher, sondern in soziologischer Beziehung schwierige Probleme aufgeworfen. Es ist deshalb in der Zwischenzeit in vielen Fällen die Erkenntnis gewachsen, dass es unter Umständen besser sein kann, alte, erschlossene Gebiete zu sanieren, auszubauen und zu verdichten, anstatt völlig neue grosse Wohnsiedlungen zu erstellen.

Die Fig. 1 zeigt die Entwicklung der installierten Speicherheizung nach Anlagenzahl und Gesamtleistung, aus der