

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:	81 (1990)
Heft:	4
Artikel:	Lastführung mit TRA bei der BKW
Autor:	Kümmerly, H.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-903081

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: 12.01.2026

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

Lastführung mit TRA bei der BKW

H. Kümmerly

Zur Verminderung der Schwankungen im Belastungsverlauf eignet sich insbesondere die werkseitige Steuerung von Speicherheizungen. Ein entsprechendes Steuerungskonzept unter Einsatz der Tonfrequenzrundsteuerungsanlagen wird beschrieben.

Les variations de la courbe de charge peuvent être réduites grâce, notamment, à la commande centralisée d'appareils de chauffage à accumulation. Un concept de commande de ce genre est décrit ici, compte tenu de l'utilisation des installations de télécommande centralisée à fréquence musicale.

Ausgangslage und Voraussetzungen

Die Bernische Kraftwerke AG (BKW) ist eine bedeutende gemischt-wirtschaftliche Unternehmung im Bereich der Energieversorgung. Sie ist überkantonal tätig und verfügt über Werke und Anlagen, Beteiligungen und Bezugsrechte in der ganzen Schweiz und im Ausland.

Die BKW ist als Aktiengesellschaft organisiert, wobei die Aktien sich vor

allem im Besitz der öffentlichen Hand (Kantone Bern und Jura, Gemeinden), teilweise aber auch in Privatbesitz befinden.

In ihrer Unternehmensphilosophie bekennt sich die BKW zu einem ausreichenden Elektrizitätsangebot zu marktgerechten Preisen sowie zur Förderung der sinnvollen, rationellen und sparsamen Energienutzung allgemein. Sie will die Energieversorgung im weiteren Sinne sicherstellen. Ihr Auftrag umfasst insbesondere:

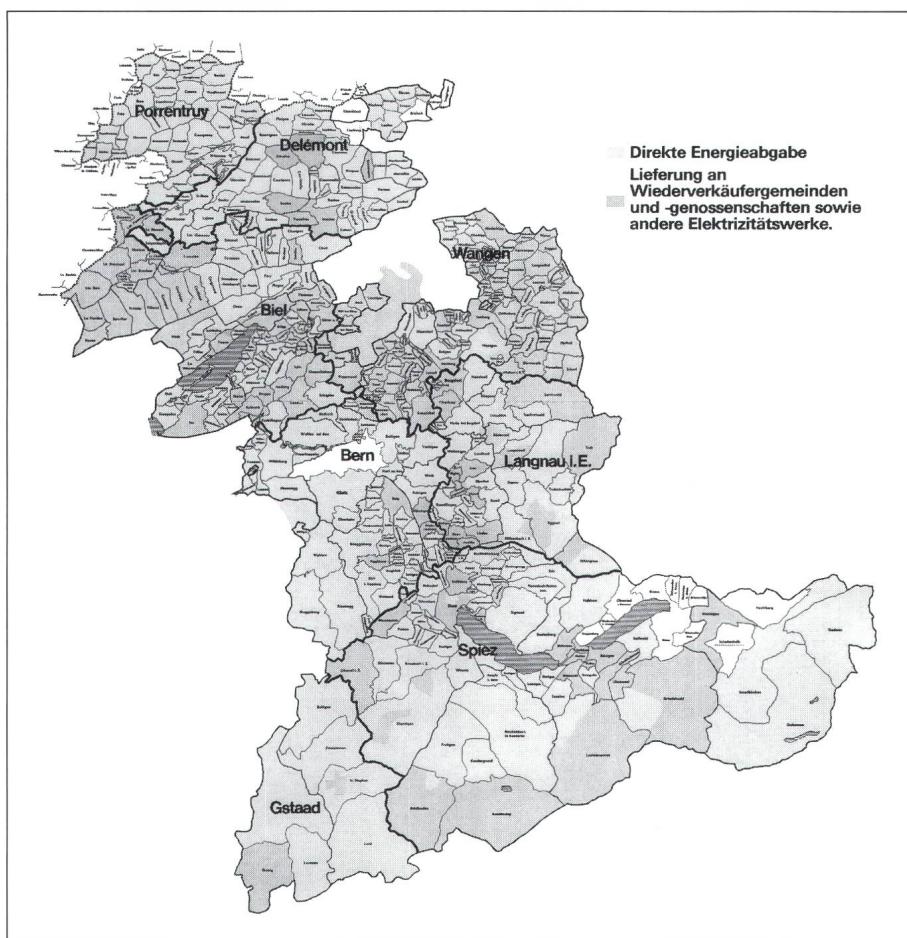


Bild 1 Versorgungsgebiet der BKW

Adresse des Autors

Hans Kümmerly,
Chef Büro Zähler und Netzkommandoanlagen,
Bernische Kraftwerke AG (BKW),
2560 Nidau

	1979		1987		1988	
	GWh	%	GWh	%	GWh	%
Erzeugung (inkl. Beteiligungen)						
Laufkraftwerke	925	13	984	12	1 008	11
Speicherkraftwerke	2 016	28	2 319	27	2 430	27
Kernkraftwerke	2 930	40	3 974	46	3 929	44
Total Erzeugung	5 871	81	7 277	85	7 367	82
Fremdenergiebezüge	1 367	19	1 293	15	1 669	18
Total Elektrizitätsbeschaffung	7 238	100	8 570	100	9 036	100

Tabelle I Elektrizitätsbeschaffung der BKW

- die Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Elektrizität,
- die Förderung umweltschonender Energie-Produktionsanlagen, insbesondere auf der Grundlage erneuerbarer Energien,
- die Bereitstellung von Wärme aus zentralen und dezentralen Quellen für die Kunden von Nah- und Fernwärmeversorgungen,
- die Förderung des sinnvollen, rationalen und sparsamen Einsatzes aller Energien,
- den Aufbau und Betrieb eines Informationssystems, das eine sinnvolle Produktion und Nutzung von Energie ermöglicht.

In diesem Sinne steht die BKW Privatpersonen, Unternehmungen, Körperschaften und Gemeinwesen zur Lösung ihrer Energieprobleme zur Verfügung. Sie erbringt umfassende Dienstleistungen für eine Million Menschen in den Kantonen Bern und Jura sowie in angrenzenden Gebieten verschiedener weiterer Kantone.

Der Hauptsitz der BKW befindet sich in Bern (Ausnahme: Informationstechnische Abteilung in Nidau). Daneben bestehen acht Zweigniederlassungen, nämlich die Betriebsleitungen Spiez, Gstaad, Bern, Langnau, Biel, Wangen, Delsberg und Pruntrut. Die BKW beschäftigt rund 1600 Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer verschiedenster, vorwiegend technischer Berufsrichtungen. Dazu kommen etwa 3500 nebenberufliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Energiebeschaffung und Energieabgabe

Das Versorgungsgebiet der BKW ist in Bild 1 dargestellt. Es umfasst insgesamt 435 Gemeinden, von denen 289

Tabelle II
Eigene Kraftwerke
und Partnerwerke der
BKW

	Leistung MW	Mittlere Energieerzeugung pro Jahr GWh
Eigene Kraftwerke		
8 Wasserkraftwerke	143,2	770
1 Kernkraftwerk	320	2 500
Partnerwerke (Beteiligungen)		
13 Wasserkraftwerke	1 115	2 600
2 Kernkraftwerke	215	1 410

	Länge km
Hochspannungsleitungen	
Kabelleitungen	948
Freileitungen	3 851
Total	4 799
Niederspannungsleitungen	
Kabelleitungen	5 540
Freileitungen	4 508
Total	10 048

Tabelle III Aufgliederung der Leitungen im Netz der BKW

direkt von der BKW und weitere 146 über Wiederverkäufer versorgt werden. Tabelle I gibt einen Überblick über die Entwicklung und Struktur der Elektrizitätsbeschaffung in den letzten Jahren. Die dem Unternehmen zur Verfügung stehenden eigenen Kraftwerke und Partnerwerke sowie Angaben über das Leitungsnetz sind in den Tabellen II und III zusammengestellt. In ihren Kraftwerken und Unterstationen verfügt die BKW auf den verschiedenen Spannungsebenen über insge-

samt 85 Transformierungsstellen; im Verteilnetz befinden sich 3992 eigene 16/0,4-kV-Transformierungsstellen, und weitere 1842 Transformierungsstellen befinden sich schliesslich im Eigentum von Wiederverkäufern und industriellen Betrieben, die ganz von der BKW versorgt werden.

Von der BKW werden insgesamt rund 230 000 Abnehmer, darunter gegen 3000 Grossabnehmer, direkt versorgt. Diese wiesen 1988 zusammen einen Strombedarf (inkl. Verluste) von 5865 Mio kWh auf, was 65% der gesamten Elektrizitätsabgabe der BKW ausmacht.

Der Belastungsverlauf der BKW ist geprägt von starken Lastschwankungen, die sowohl am Tag als auch in der Nacht auftreten. Die BKW trifft deshalb Massnahmen, um einen regelmässigeren Belastungsverlauf über den Tag zu erreichen. Für diese Steuerfunktion eignen sich Speicherheizungen besonders gut, weil sie einerseits das notwendige Steuerungspotential aufweisen und weil es andererseits dem Konsumenten – solange sein Komfort nicht leidet –, gleichgültig ist, wann sein Heizungsspeicher geladen wird.

Tarifpolitik

Die Tarife der BKW basieren auf folgender Grundstruktur:

- neun Tarifkategorien entsprechend dem Selbstkostenniveau KTR-E (Kostenträgerrechnung – Elektrizität)
- vier Zeitzonen: Winter/Sommer sowie Hochtarif/Niedertarif
- zwei Tarifglieder: Energiepreis sowie Leistungspreis mit Sockelbetrag (für Detailkunden, soweit ein positives Kosten-/Nutzenverhältnis gegeben ist).

Die Ermittlung und Festlegung der Tarifansätze stützt sich auf folgende Elemente:

- Kosten des durchschnittlichen Verbrauchs in jeder Tarifkategorie
- Ansätze für den Energiepreis nach Grenzkosten (vertikale Betrachtung)
- Ansätze für den Leistungspreis nach Grenzkosten unter Berücksichtigung des Budgetgleichgewichtes
- Abschätzung der Nachfragerreaktion.

Zur Verfeinerung der Tarifstruktur können noch folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- Tarifversionen nach Benutzungsdauer (horizontale Betrachtung)
- Tarifoptionen für abschaltbare Leistung
- Differenzierung für freien und gesteuerten Bezug
- Eventuell weitere Differenzierung der Zeitzonen

Lastführungswerzeuge

Die Lastbewirtschaftung stützt sich auf die drei Säulen

- Energieverrechnung nach Zeitzonen und mit Leistungsansätzen
- Abschaltbare Leistung
- Gesteuerter Bezug (Werksteuerung)

Als eigentliche Lastführungswerzeuge dienen Tonfrequenz-Rundsteueranlagen (TRA), mit denen die Steuerung der Tarifapparate, Verbraucher usw. im Netz betrieben wird. Die Tonfrequenz-Energie wird mit Hilfe von Parallelankopplungsgliedern dem 50-Hz-Netz mit folgenden Charakteristiken überlagert:

- Sende Frequenz $316^{2/3}$ Hz
- Überlagerungsebene 16 kV
- Überlagerungseinheiten für Trafoleistungen von 25 und 12,5 MVA
- Aufstellungsort der Sende anlagen 50/16-kV-Unterstationen

Bei den zu überlagernden Netzen handelt es sich um isolierte Drehstrom-Dreileiternetze ohne Nulleiter.

Die BKW betreibt 48 Sende anlagen, welche alle vollständig autonom arbeiten. Insgesamt sind 89 200 Empfänger installiert.

Ein wichtiges Element für die Lastregelung ist die Werksteuerung. Für diese eignen sich insbesondere Speicherheizungsanlagen mit grossem Wärmerückhaltevermögen, also Zentral speicherheizungen.

Weil – über einen Tag betrachtet – bei Speicherheizungen Energieliefe-

itung durch das Werk und Wärmeabgabe ins Gebäude weitgehend entkoppelt sind, lässt sich die Speicherladung in relativ weiten Grenzen und ohne Komforteinbusse für den Kunden als Mittel für den Lastausgleich einsetzen. Gefordert ist ein ausgesprochen flexibles System; es muss nicht nur die Temperaturabhängigkeit des Heizenergiebedarfes und die grossen Unterschiede des Basislastverlaufes zwischen Werktagen und arbeitsfreien Tagen bewältigen, sondern auch mit möglichst wenig Aufwand an regional unterschiedliche Belastungsverhältnisse und eventuelle, heute noch nicht voraussehbare längerfristige Veränderungen der Basislastverläufe angepasst werden können.

Regelmethoden

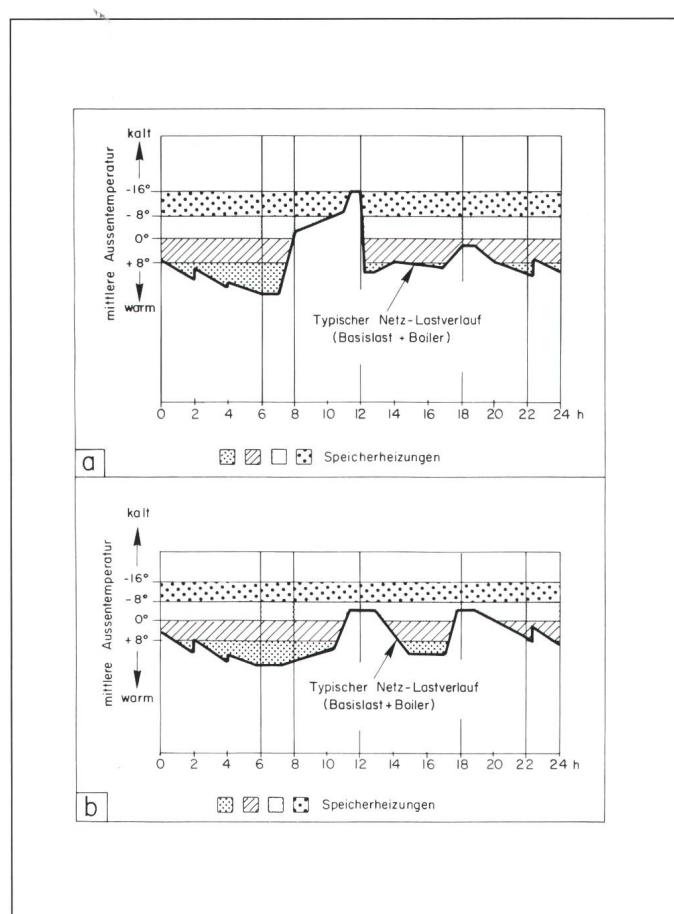
Um über den ganzen Temperaturbereich einen möglichst ausgeglichenen Verlauf der Gesamtbelastung zu erreichen, ist es notwendig, die Speicheraufladung gezielt in die Schwachlastzeiten des Basisbedarfes zu legen. Die im Tagesbelastungsdiagramm für Heizenergielieferungen zur Verfügung stehende Fläche zwischen Basislastver-

lauf und zulässiger Maximallast (z.B. Mittagsspitze) muss also, bildlich gesprochen, bei abnehmender Außentemperatur von unten her aufgefüllt werden (Bild 2). Eine solche Bewirtschaftung der Energielieferung für Speicherheizungen ist aber nur möglich, wenn das heutige System von Freigabekommandi und individueller Laderegelung verlassen und die Speicheraufladung direkt durch das Werk mit der Rundsteueranlage gesteuert wird (Bild 3 und 4).

Das Steuersystem arbeitet nach folgendem Grundprinzip:

- Jede Unterstation bildet mit ihrem Versorgungsgebiet einen autonomen Steuerkreis; dies ermöglicht die Berücksichtigung der regional unterschiedlichen Klimaverhältnisse und Belastungsverläufe.
- In jedem Steuerkreis werden die Speicherheizungen auf mehrere Ladegruppen aufgeteilt. Jede Gruppe wird mit einem eigenen Kommando gesteuert.
- Die tägliche Ladezeit wird in Abhängigkeit der Außentemperatur so festgelegt, dass der Heizung die notwendige Energie zur Deckung des

Bild 2
Einsatzmöglichkeiten
für werkgesteuerte
Speicherheizungen an
Werktagen (oben)
bzw. arbeitsfreien
Tagen (unten)



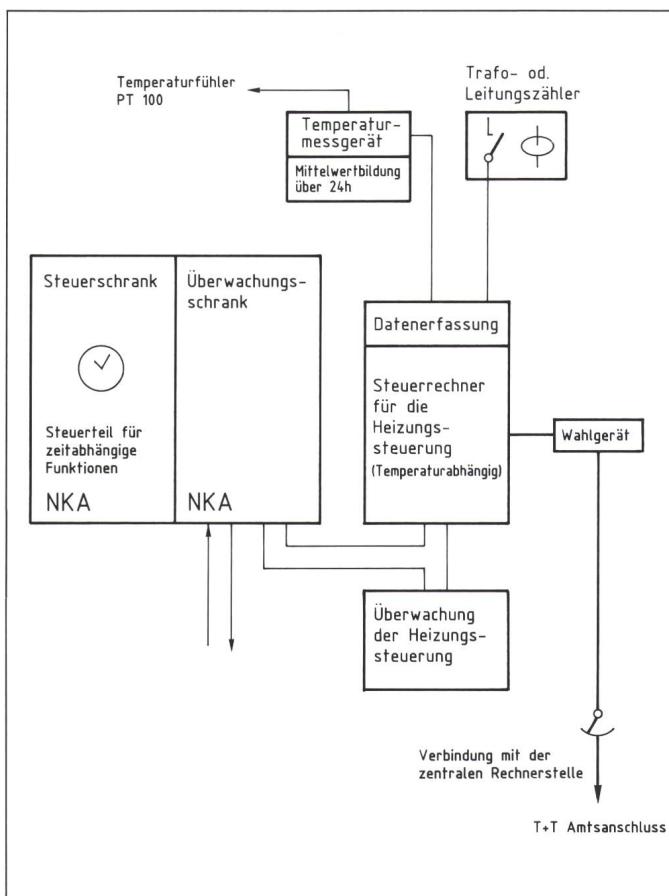


Bild 3
Sendeseite der werkgesteuerten Aufladesteuerung durch die Netzkommandoanlage

Tageswärmebedarfes geliefert wird. Die Anpassung der Ladezeit an die Aussentemperatur erfolgt in Stufen (Bild 5).

- Die Ladeprogramme für die einzelnen Ladegruppen werden in Abhängigkeit von Aussentemperatur und Basislastverlauf so gestaltet, dass in jedem Steuerkreis ein optimaler Verlauf der Gesamtbelastung entsteht. Für Werkstage und arbeitsfreie Tage werden unterschiedliche Ladeprogramme benötigt.

Da für eine einzelne Heizanlage der tägliche Energiebedarf nie mit absoluter Genauigkeit bestimmt werden kann, benötigt das beschriebene Steuerprinzip noch zwei ergänzende Elemente. Ist die gelieferte Energiemenge zu gross, würde der Speicher bei milder Witterung im Verlauf einige

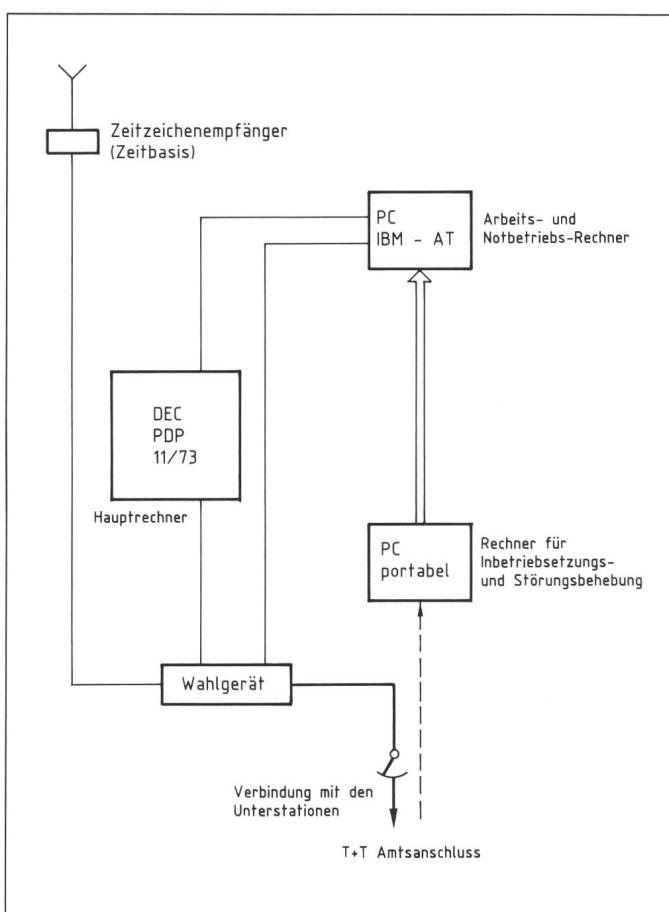


Bild 4
Zentrale Rechnerstelle

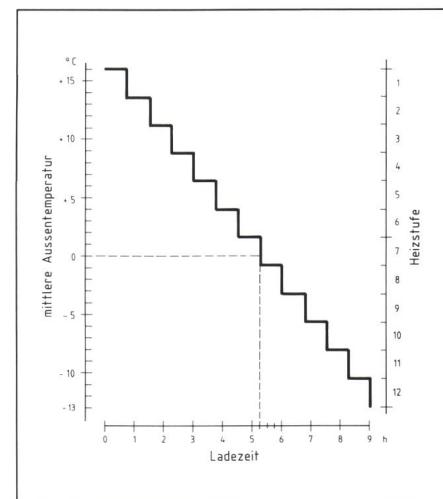


Bild 5 Stufenweise Anpassung der Ladezeiten an die Aussentemperatur

Tage unnötigerweise auf den Maximalstand geladen.

Die Steuerung übermittelt der Heizanlage deshalb einen aussentemperaturabhängigen Stellbefehl zur Begrenzung des Ladestandes des Speichers. Ist die programmiert gelieferte Energiemenge dagegen zu klein, wird bei der davon betroffenen Heizung automatisch der Bezug von sogenannter Ergänzungsenergie freigegeben, sobald der Ladestand des Speichers einen bestimmten Grenzwert unterschreitet. Damit kann verhindert werden, dass der Kunde eine Komforteinbusse erleidet, wenn seine Anlage in eine Gruppe mit zu knapp bemessener Ladezeit eingeteilt wurde.

Vom Prinzip her kann die werkgesteuerte Aufladung bei allen Bauarten

von Speicherheizungen mit geregelter Entladung angewendet werden; mit der Werksteuerung übernimmt das

Werk die Verantwortung für die Aufladung des Speichers; die Entladeregelung und damit die Festlegung des

Heizkomfortes bleibt aber vollständig in der Hand des Kunden.

Damit die Freiheitsgrade für die Gestaltung der Ladeprogramme ohne Benachteiligung der Kunden voll ausgenutzt werden können, muss die Heizenergie über einen separaten Zähler gemessen und nach einem Einfachtarif abgerechnet werden. An die Stelle der heutigen Ladeautomatik tritt ein einfaches Überwachungsgerät, welches folgende Funktionen übernimmt (Bild 6):

- Auswertung des Stellbefehls und Unterbrechung der programmierten Ladung bei Überschreiten des vorgegebenen Ladestandes.
- Freigabe der Ergänzungslieferung bei vorzeitig entleertem Speicher.

Trotz Einfachtarif wird zur Messung der Heizenergie ein Doppeltarifzähler eingesetzt: auf einem Zählwerk wird die programmierte, auf dem anderen Zählwerk die unprogrammierte Energielieferung (Ergänzungsenergie) gemessen. Anhand des Verhältnisses dieser beiden Messwerte kann überprüft werden, ob die Anlage der richtigen Ladegruppe zugeteilt ist.

Für den Normalbezug (Haushalt, allgemeiner Verbrauch) wird weiterhin der Tarif UC angewendet.

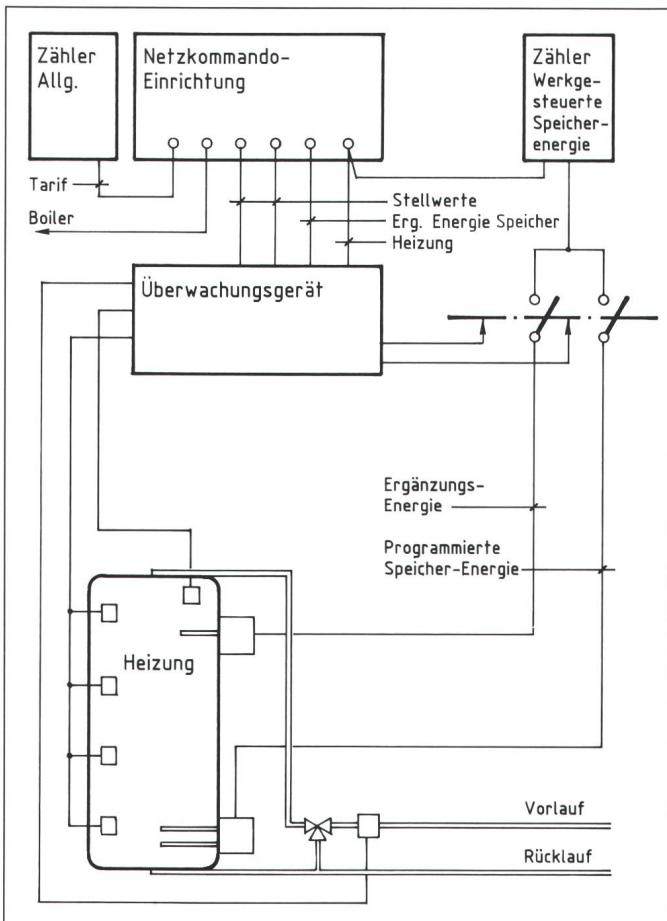


Bild 6
Schema der werkgesteuerten Speicherheizung

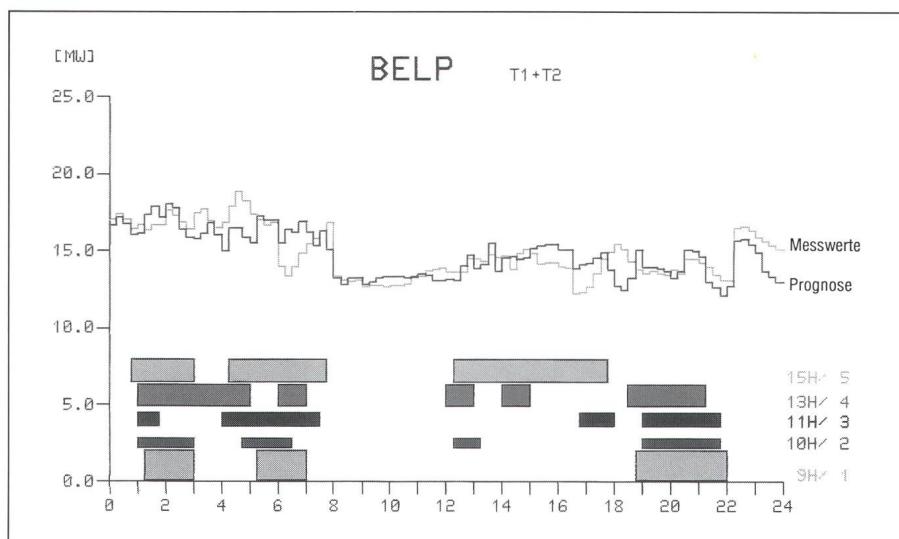


Bild 7 Tagesbelastungskurve einer Unterstation in Belp bei einer mittleren Außentemperatur von $-5,9^{\circ}\text{C}$

Lastführ-Effekt

Die Werksteuerung unterstützt wirkungsvoll das Ziel, die stetig steigende Stromnachfrage auch in Zukunft mit möglichst geringen Investitionen zu bewältigen.

Die Leistungsreserve kann durch die besser kontrollierten Lastverhältnisse kleiner bemessen werden.

Die Werksteuerung wird die heute beobachteten grossen täglichen Lastschwankungen und die Temperaturabhängigkeit der Nachtbelastung vermindern (Bild 7). Die Prognose-Unsicherheit wird dadurch kleiner, wodurch die Energiebeschaffungskosten vermindert werden können. Der ausgereglichten Verlauf der Tagesbelastung wird zudem eine bessere Verwertung der kostenmässig günstigeren Bandenergie ermöglichen, die, ob aus in- oder ausländischen Quellen, zur Deckung des Normalkonsums ohnehin beschafft werden muss.