

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 64 (1973)
Heft: 1

Artikel: Untersuchung über die Auswirkung der Tagnachladung während der Hochtarifzeit bei der elektrischen Zentralspeicherheizung mit Speichermedium Wasser unter schweizerischen Wetterverhältnissen
Autor: Nenadal, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915498>

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: 03.04.2026

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

Untersuchung über die Auswirkung der Tagnachladung während der Hochtarifzeit bei der elektrischen Zentralspeicherheizung mit Speichermedium Wasser unter schweizerischen Wetterverhältnissen

Von K. Nenadal

Die Nachfrage nach der elektrischen Zentralspeicherheizung in der Schweiz steigt immer mehr. Die in Betrieb genommenen Anlagen haben sich sowohl technisch als auch wirtschaftlich bewährt und den hohen ästhetischen sowie wärmehygienischen Komfort der Warmwasser-Zentralheizung weiter bestätigt. Dieses moderne Heizsystem wird als Ersatz für veraltete koks- oder kohlebefeuerte Schwerkraft-Zentralheizungen, sowie mit Erfolg in Neubauten aller Art, eingesetzt.

Der einzige Nachteil ist das relativ grosse Wasservolumen, für welches man oft nur mit Schwierigkeiten den nötigen Platz im Keller findet. Weil es sich um ein Speicherheizsystem handelt, muss auch mit einem höheren Anschlusswert gerechnet werden, was manchmal eine Verstärkung des Hauptanschlusses und dadurch höhere Installationskosten erfordert.

Es scheint deshalb lohnend, die Möglichkeit der Verkleinerung des Wasser-Speichervolumens und die Verminderung der elektrischen Anschlussleistung durch Tagnachladung unter schweizerischen Wetterverhältnissen zu untersuchen und die dadurch dem Abonnenten bzw. dem Elektrizitätswerk entstandenen Konsequenzen zu erläutern.

Dass durch die Einführung dieses Heizsystems dem Umweltschutz ein grosser Beitrag geleistet wird, muss nicht besonders erwähnt werden.

1. Die Wahl der tiefsten Aussentemperaturen unter Berücksichtigung der Betriebseigenschaften des Speicherheizsystems

Wenn eine Heizanlage z.B. 15000 kcal/h bei einer tiefsten Aussentemperatur von $t_A = -15^\circ\text{C}$ liefern soll, muss bei der Öl-Zentralheizung der Kessel-Brenner für den wenn auch nur kurzfristig auftretenden maximalen Wärmeverlust von 15000 kcal/h fähig sein, diese Wärmemenge zu erzeugen. Dasselbe muss auch die elektrische Direktheizung bewältigen, die die Wärme nicht speichert, sondern im Augenblick der Erzeugung an den zu beheizenden Raum direkt abgibt.

Die Funktion bzw. Leistungsabgabe der elektrischen Direktheizung kann deshalb mit der Funktion des Brenners einer Ölheizung verglichen werden, jedoch beide nicht mit der Arbeitsweise eines elektrischen Speicherheizsystems.

Beim Speicherheizsystem genügt es, wenn die Wärmemenge zur Deckung der am Tage kurzfristig auftretenden maximalen Wärmeverluste nur im Speichermedium vorhanden ist, in diesem Falle im Wasser, damit im Vorlauf und somit an den Radiatoren die Temperatur 80°C beträgt. Die dazu benötigte Wärmemenge wird beim Speicherheizsystem unabhängig von der Verbrauchszeit während der Nachtaufladung zwischen z.B. 22.00 und 06.00 Uhr erzeugt und für den effektiven, kurzfristigen, maximalen Tagesbedarf zwischen 06.00 und 22.00 Uhr nur im Wasservolumen gespeichert. Ob zwischen 06.00

und 22.00 Uhr der maximale Wärmeverbrauch überhaupt auftritt, ist eine andere Frage (siehe unten). Diese Betriebseigenschaft ermöglicht deshalb andere und zwar höhere als die tiefsten Aussentemperaturen bei der Festlegung der elektrischen Leistung und des Wasservolumens in die Rechnung einzusetzen. Warum dem so ist, kann unter anderem dadurch erklärt werden, dass:

a) Die bis jetzt nach den schweizerischen Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden aus dem Jahre 1957 (im weiteren nur VSHL-Regeln genannt) gewählten, tiefsten Aussentemperaturen, welche den Wärmebedarfsrechnungen zugrunde gelegt werden, je nach Ortschaft nur alle 10...30 Jahre einmal auftreten;

b) Die tiefsten Aussentemperaturen nicht den ganzen Tag, sondern nur während einiger Stunden, herrschen. Die im Wasser gespeicherte Wärme bleibt zur Deckung der kurzfristig auftretenden maximalen Wärmeverluste vorhanden, wenn sie infolge kleinerer Wärmeverluste, bedingt durch wärmere Aussentemperaturen, nicht verbraucht wird. Diese Tatsache wird aber bei der jetzigen Wärmebedarfs-Berechnungsweise nicht berücksichtigt. Der Wärmebedarf wird nur auf Grund des tiefsten Temperaturwertes ermittelt, wobei die während des Tages auftretenden Temperaturschwankungen im Sinne höherer (wärmerer) Werte vernachlässigt werden.

Bei der Festlegung der mittleren Tagestemperatur t_{am} wird nämlich die Aussentemperatur um 07.30 Uhr, dann um 13.30 Uhr gemessen und zweimal der Messwert von 21.30 Uhr in Gl. (1) eingesetzt und wie folgt errechnet:

$$t_{am} = \frac{t_{7.30} + t_{13.30} + 2 t_{21.30}}{4} \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

Der eingesetzte Doppelwert $t_{21.30}$ der Messung um 21.30 Uhr soll die während des Tages auftretende tiefere Temperatur mehr ins Gewicht des Tagesmittelwertes bringen. Ob aber zwischen diesen Messungen noch höhere, d.h. wärmere Aussentemperaturen zu verzeichnen waren, was am Mittag sicher erwartet werden kann, darüber gibt dieser Wert keinen Aufschluss. Die vorgenommenen Messungen bestätigen jedoch, dass selbst an Tagen mit sehr tiefen Aussentemperaturen Schwankungen im Sinne höherer (wärmerer) Werte auftreten, die unbedingt zu Wärmeeinsparungen während des Tagbetriebes zwischen 06.00 und 22.00 Uhr führen (Fig. 1). Wenn also die Wärmebedarfsrechnungen mit den tiefsten Aussentemperaturen nach VSHL-Regeln errechnet werden, die den mittleren Tages-Aussentemperaturen t_{am} für die drei Gebiete in Fig. 1 naheliegen, führt eine solche Rechnungsweise beim Speicherheizsystem unweigerlich zu einer unnötigen Überdimensionierung der Speicherheizanlagen. Der Fig. 1 kann eindeutig entnommen werden, dass zwischen 06.00...22.00 Uhr mehr Stunden mit wärmerer Aussentemperatur als die mittlere Tages-Aussentemperatur t_{am} zu erwarten sind.

Auch die Einführung des Doppelmesswertes um 21.30 Uhr in Gl. (1) trägt dazu bei. Sie bringt zwar die während des Tages auftretenden, tieferen Aussentemperaturen mehr ins Gewicht

des Tagesmittelwertes, was sicher wichtig für die Meteorologen, jedoch für die Dimensionierung einer Heizanlage nicht nötig ist. Der Vollheizbetrieb und maximale Heizkomfort wird zwischen 06.00...22.00 Uhr verlangt, aber wie aus Fig. 1 hervorgeht, herrschen gerade während dieser Stunden auch an sehr kalten Tagen wärmere Aussentemperaturen, als die nach Gl. (1) ermittelten und der Wärmebedarfsrechnung zugrunde gelegten, mittleren, tiefsten Aussentemperaturen t_{am} .

Wenn in die Rechnung höhere (wärmere) Aussentemperaturen eingesetzt werden, sind im Speicherheizsystem noch andere Reserven vorhanden, die bei evt. tieferen Aussentemperaturen ausgenützt werden können. Es ist z.B. bekannt, dass die Warmwasser-Zentralheizungsanlagen, bedingt durch die Steuerung, während der Nacht von z.B. 22.00 bis 06.00 Uhr automatisch mit einer Nachtabsenkung von ca. 5 °C arbeiten. Andererseits ist es eine durch Messungen bestätigte Tatsache, dass die Absenkung der Raumtemperatur um 5 °C erst mehrere Stunden nach der völligen Abschaltung der Heizung erreicht wird. Die tagsüber in den Wänden, im Mobiliar usw. gespeicherte Wärmemenge würde dazu ausreichen, die des Nachts (ca. 8 h.) auftretenden Wärmeverluste soweit zu decken, dass die gewünschte Nachtabsenkung von 5 °C gegen die Morgenstunden von selbst erreicht wird. Trotzdem steht aber ein Teil der total installierten Anschlussleistung der Speicherheizanlage (sog. Direktheizanteil) für die Deckung der auftretenden Nachtverluste zur Verfügung. Die durch den Direktheizanteil während der Nacht erzeugte Wärme wird nicht voll verbraucht und man spart so den entstehenden Wärmeüberschuss für den Tagbetrieb, wenn das Wasservolumen der Speicherheizanlage gross genug berechnet wurde. Ein Verzicht auf den Direktheizanteil bei der Festlegung der total zu installierenden Anschlussleistung und damit auch auf die durch den Direktheizanteil erzeugte Wärmemenge, wäre allerdings nur dann möglich, wenn die Radiatoren während der Nacht ganz abgeschaltet bleiben könnten. Wie schon erwähnt, würde die Nachtabsenkung gegen die Morgenstunden von selbst ca. 5 °C ausmachen. Theoretisch wäre dies ohne weiteres durchführbar, wenn die dazu erforderliche Einstellung auf der Entladeautomatik durch den

Anlagebesitzer vorgenommen würde. Wegen der dadurch beträchtlich sinkenden Raumbehaglichkeit, der Einfriergefahr der Heizanlage und der unerwünschten Auskühlung der Aussenwände, was zu Bauschäden führen könnte, und da am nächsten Tag ohnehin für die Wiedererwärmung der Aussenwände gewisse Wärmemengen benötigt werden, wird im praktischen Heizbetrieb nachts mittels des Direktheizanteils durchgeheizt, so dass auf dessen Funktion nicht verzichtet werden kann.

Während der Nacht erfolgt der Heizbetrieb jedoch nicht mit der maximalen, sondern mit ca. 5...8 °C niedrigeren Vorlauf-temperaturen zu den Radiatoren. Dies trägt im Speichermedium des Heizsystems (Wasser) ebenfalls zu Einsparungen bei, wenngleich der Direktheizanteil nicht für die volle Deckung der während der Nacht auftretenden Wärmeverluste vorgesehen wurde.

Auch die Verteilungsverluste im Rohrnetz, die bei der Festlegung des elektrischen Anschlusswertes mit 10% angenommen werden, müssen nicht konstant während des Tages verlorengehen, vor allem, wenn es sich um ein geschlossenes Heizsystem ohne Sicherheitsvorlauf- und Rücklaufrohrverbindungen zum auf dem Estrich plazierten Expansionsgefäss handelt. So bleiben auch hier für kältere Tage gewisse Reserven im Wasservolumen des Heizsystems vorhanden.

2. Ermässigung der tiefsten Aussentemperaturen die der Wärmebedarfsrechnung zugrunde gelegt werden

Aus diesen Gründen erübrigt es sich, die elektrischen Zentralspeicherheizanlagen nach den gemäss VSHL-Regeln tiefsten Aussentemperaturen zu dimensionieren. Sogar in diesen VSHL-Regeln wird zugegeben, dass die danach berechneten Ölkessel-Leistungen bis zu 50% überdimensioniert werden. Es wurde konstatiert, dass der tatsächlich benötigte Wärmebedarf nur etwa $\frac{2}{3}$ des theoretisch berechneten beträgt, da nicht alle in der Wärmebedarfsrechnung berücksichtigten Zuschlagsfaktoren gleichzeitig auftreten (siehe VSHL-Regeln vom Jahre 1957, Seite 32, Kap. 2).

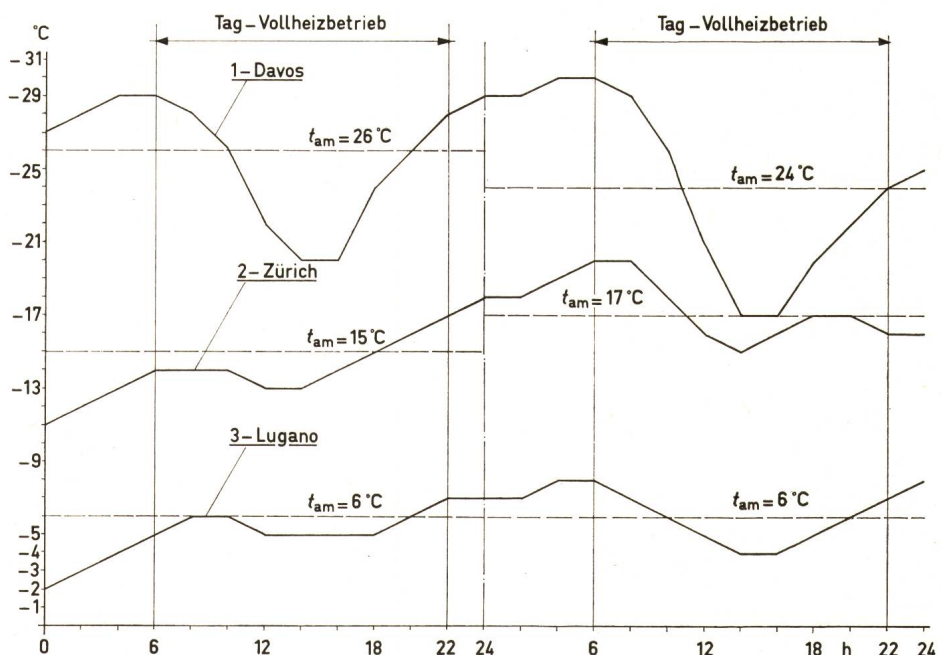


Fig. 1
Tagesgänge der Lufttemperatur an sehr kalten Tagen nach MZA für:

- 1 Davos:
den 2. 2. 1956 mit $t_{am} = -26$ °C
den 3. 2. 1956 mit $t_{am} = -24$ °C
- 2 Zürich:
den 1. 2. 1956 mit $t_{am} = -15$ °C
den 2. 2. 1956 mit $t_{am} = -17$ °C

- 3 Lugano:
den 10. 2. 1956 mit $t_{am} = -6$ °C
den 11. 2. 1956 mit $t_{am} = -6$ °C

t_{am} absoluter Wert der mittleren Tagestemperatur; effektive Werte sind alle negativ

Mess-Station	Höhe der Mess-Station m ü. M.	SIA-Empfehlung Nr. 180 t_{Am} °C	VSHL-Regeln vom Jahre 1957 t_A °C	Reduktion um % der VSHL-Werte
Basel	317	-11	-15	26,7
Bern	572	-11	-15	26,7
Genf	430	-9	-15	40,0
Bevers	1712	-20	-30	33,3
Davos	1561	-17	-25	32,0
Freiburg	677	-12	-15	20,0
Marsens	721	-13	-	-
La Chaux-de-Fonds	990	-12	-20	40,0
Neuchâtel	487	-10	-15	33,3
Bad Ragaz	510	-12	-	-
Lugano	276	-3	-8	62,5
Altdorf	451	-9	-15	40,0
Château-d'Œx	994	-14	-20	30,0
Lausanne	589	-10	-12	16,7
Montreux	408	-8	-10	20,0
Leysin	1350	-12	-	-
Sion	549	-9	-15	40,0
Zürich	569	-11	-15	26,7

Basierend auf diesen langjährigen Erfahrungen wurde vom SIA im Jahre 1970 die sog. «Empfehlung Nr. 180» mit dem Titel «Empfehlungen für Wärmeschutz im Hochbau» ausgearbeitet, wo die tiefsten Aussentemperaturen, die der Wärmebedarfsrechnung zugrunde gelegt werden, gesenkt wurden (siehe Tabelle I).

Unter Berücksichtigung der beschriebenen, verschiedenen Betriebseigenschaften des elektrischen Zentralspeicher-Heizsystems und dieser neuen SIA-Werte für die mittleren Aussentemperaturen, ist der Heizbetrieb über 24 h des Tages auch dann gesichert, wenn die mittlere, tiefste Tages-Aussentemperatur von -15 °C z.B. im schweizerischen Mittelland, auftreten sollte.

Bei einem Vergleich der Höhe der installierten Leistungen und des dazu benötigten Wasservolumens zwischen verschiedenen Fabrikaten, muss deshalb dieses Berechnungsverfahren, neben anderen technischen Eigenschaften des Heizsystems, unbedingt in Betracht gezogen werden. Andere, nur oberflächliche Vergleiche, liefern keine äquivalenten Ergebnisse.

Um einen Vergleich zwischen den tiefsten mittleren Aussentemperaturen t_A der VSHL-Regeln und der reduzierten Werte t_{Am} durch die SIA-Empfehlung Nr. 180 anstellen zu können, wurden in der Tabelle I beide Aussentemperaturen eingetragen.

Die 18 Orte in Tabelle I dürften als repräsentativ für die ganze Schweiz gelten, so dass die Werte ihrer Aussentemperaturen auch den Wärmebedarfsberechnungen anderer Gebiete zugrunde gelegt werden können. Die SIA-Werte sind solche Temperaturen, die mit grösster Wahrscheinlichkeit jeden Winter auftreten (nicht nur alle 10 Jahre, wie z.B. die Aussentemperatur der schweiz. Mittellandes von -15 °C). So wird die Überdimensionierung der Heizanlagen reduziert und sowohl die Wasservolumen als auch die installierten Leistungen nähern sich dem effektiv benötigten Wert. Da aber auch die vom SIA empfohlenen Aussentemperaturen nicht während 24 h des Tages andauern und deshalb die in der Aufladezeit erzeugte und gespeicherte Wärme nicht restlos verbraucht wird, werden nach diesen Werten dimensionierte Heizanlagen erst bei tieferen Aussentemperaturen optimal ausgenützt; z.B. für das schweiz.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Mittelland nicht bei $t_{Am} = -11$ °C, die der Wärmebedarfsberechnung nach SIA-Empfehlung zugrunde gelegt werden, sondern z.B. bei $t_A = -15$ °C. Wie oben erwähnt, ist nicht während 24 h des Tages die gleiche Aussentemperatur von -15 °C zu verzeichnen; der Heizbetrieb kann daher an einem solchen Tage mit jenem verglichen werden, dessen Aussentemperatur über den ganzen Tag konstant -11 °C beträgt. Erst dann wäre die Ausnützung der Heizanlage optimal. Es ist jedoch schwierig, diese Annahme mathematisch zu beweisen, da es sich um mehrere, nicht stationäre, auf einmal zur Auswirkung gelangende Erscheinungen handelt, die schwer zu erfassen sind. Doch ist bekannt, dass die Wärmeverluste nicht proportional zu den Aussentemperaturen verlaufen und bei tieferen Aussentemperaturen relativ niedrigere Wärmeverluste auftreten, als man theoretisch auf Grund der Wärmebedarfsrechnung annehmen müsste. Diese Erfahrung unterstützt die oben aufgestellte Behauptung.

3. Wären noch niedrigere, als SIA-Aussentemperaturen tragbar?

Die Werte der SIA-Empfehlung ergeben bei der Dimensionierung der elektrischen Zentralspeicher-Heizungsanlagen immer noch zu hohe Anschlusswerte und Wasservolumen. Es sollte daher ein Weg gesucht werden, die Dimensionierung wirtschaftlicher zu gestalten. Als Basis der weiteren Überlegungen zur möglichen Reduktion der Anschlussleistung und des Speichervolumens dienen die Summenhäufigkeitslinien der Aussentemperatur während eines Jahres, die als Mittelwert auf Grund 60jähriger Beobachtungen entstanden sind. Die Unterlagen stammen von der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich (MZA). Die Darstellung über die Häufigkeit des Auftretens dieser Aussentemperaturen zeigt, dass die Anzahl der Tage mit mittleren tiefen Aussentemperaturen sehr klein ist. Es scheint wirtschaftlich sinnvoll, einen Kompromiss zwischen der Anlage-Dimensionierung und dem späteren Hochtarifstrombezug vorzunehmen, wonach an den Tagen mit sehr tiefen Aussentemperaturen der Bedarf an Heizenergie zum Teil mit Hochtarifenergie gedeckt wird. Dabei sollte der Anteil des Verbrauches an Hochtarifenergie vom Gesamt-Winterenergiebedarf nur auf höchstens 1,0% beschränkt werden, also einem ganz unwesentlichen Anteil, der dem Abonnenten keine bedeutenden Kosten verursachen würde.

Aus den Summenhäufigkeitskurven der Tagesmittel-Temperaturen für Lugano, Zürich und Davos in Fig. 2, ist die nötige Lösung ersichtlich. Diese Kurven stellen die 3 wichtigsten schweizerischen Temperatur-Grenzgebiete dar, in welchen sich fast alle jene Orte befinden, die als Baugebiet für Heizanlagen in Frage kommen können. So befinden sich z.B. zwischen der Kurve für Lugano und Zürich die Orte Basel, Neuchâtel, Altdorf, Genf, Montreux, Lausanne, Bad Ragaz, Sion usw.; zwischen der Kurve für Zürich (diese ist auch für Bern, Freiburg sowie allgemein für das schweiz. Mittelland gültig) und Davos liegen ähnliche Gebiete wie z.B. Château-d'Œx, La Chaux-de-Fonds, Leysin, Marsens usw. Unter der Kurve von Davos liegt nur noch die Ortschaft Bevers, welche auch als Baugebiet für Heizungsanlagen in Frage käme. Noch tiefere Temperaturen sind auf dem Gotthard, Rigi-Kulm, Säntis und ähnlichen Höhenorten anzutreffen, welche aber nicht als allgemeines Baugebiet bezeichnet werden können. Wenn hier trotzdem Gebäude erstellt und beheizt würden, so müsste die Wärmebedarfsrechnung auf Grund anderer Maßstäbe erfolgen.

Die Aussentemperatur von -8°C , die früher z.B. für die Wärmebedarfsrechnung eines Hauses in Lugano angenommen wurde, tritt hier nur alle 30 Jahre einmal als Tagesmittelwert auf. Im schweizerischen Mittelland, wo mit -15°C Aussentemperatur gerechnet wurde, ist dieser Tagesmittelwert nur alle 10 Jahre zu verzeichnen. Ebenso verhält es sich mit den Gebieten wie Davos. Dort rechnete man mit einer Aussentemperatur von -25°C , welcher Tagesmittelwert aber nur einmal in 30 Jahren vorkommt. Nach den MZA-Statistiken gab es während der 60jährigen Beobachtungsperiode (1901–1960) d.h. im Laufe von 60 Wintern, in Lugano nur 2 Tage, an welchen die mittlere Aussentemperatur -8°C und weniger (-9°C) betrug, in Zürich wurden an 6 Tagen -15°C und niedrigere Werte (bis -21°C) gemessen, in Davos an 2 Tagen -25°C und niedrigere Werte (bis -27°C).

Diese Tatsachen führten, wie schon erwähnt wurde, zu Korrekturen in den SIA-Empfehlungen Nr. 180. Die Summenhäufigkeitskurven der Tagesmitteltemperaturen in Fig. 2 illustrieren aber, dass auch diese neuen Werte für die Dimensionierung der elektrischen Zentralspeicherheizanlagen noch zu hoch sind. Sie sollten so dimensioniert werden, dass ihre Kapazität für die Deckung des Wärmebedarfes nicht bis zur tiefsten zu erwartenden Aussentemperatur von z.B. -11°C , sondern nur bis zu einer höheren Temperatur reicht, welche in Fig. 2

für die 3 wichtigsten schweiz. Temperatur-Grenzgebiete gewählt und als Speicher-Grenztemperatur t_s bezeichnet wurden:

$$\text{Lugano: } t_s = 0^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Zürich: } t_s = -5^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Davos: } t_s = -9^{\circ}\text{C}$$

Der Wärmebedarfsrechnung sollten diese Speicher-Grenztemperaturen und nicht die SIA-Werte zugrunde gelegt werden. Dadurch könnten die Anschlusswerte und die Wasservolumen um ca. 30% gesenkt werden. Das bedeutet für den Bauherrn eine Senkung der Anschaffungskosten und macht für ihn dieses Heizsystem noch interessanter.

Die auf dieser Grundlage berechneten Speicherheizanlagen können zwar die am Tage auftretenden Wärmeverluste nur bis zu diesen Speicher-Grenztemperaturen oder nur wenig darüber hinaus decken; an Tagen mit tiefen Aussentemperaturen muss die fehlende Wärme durch Tagnachladung erzeugt werden. Der Stromverbrauch im Hochtarif wird aber sowohl für den Abonnenten als auch für das Elektrizitätswerk in vernünftigem Rahmen bleiben (ca. 1,0% des gesamten Winterstromverbrauches) wie es die Anzahl der Gradtage unter den gewählten Speicher-Grenztemperaturen erkennen lassen. Wie bekannt, sind die Gradtage das Mass des Heizenergieverbrauches, da dieser in

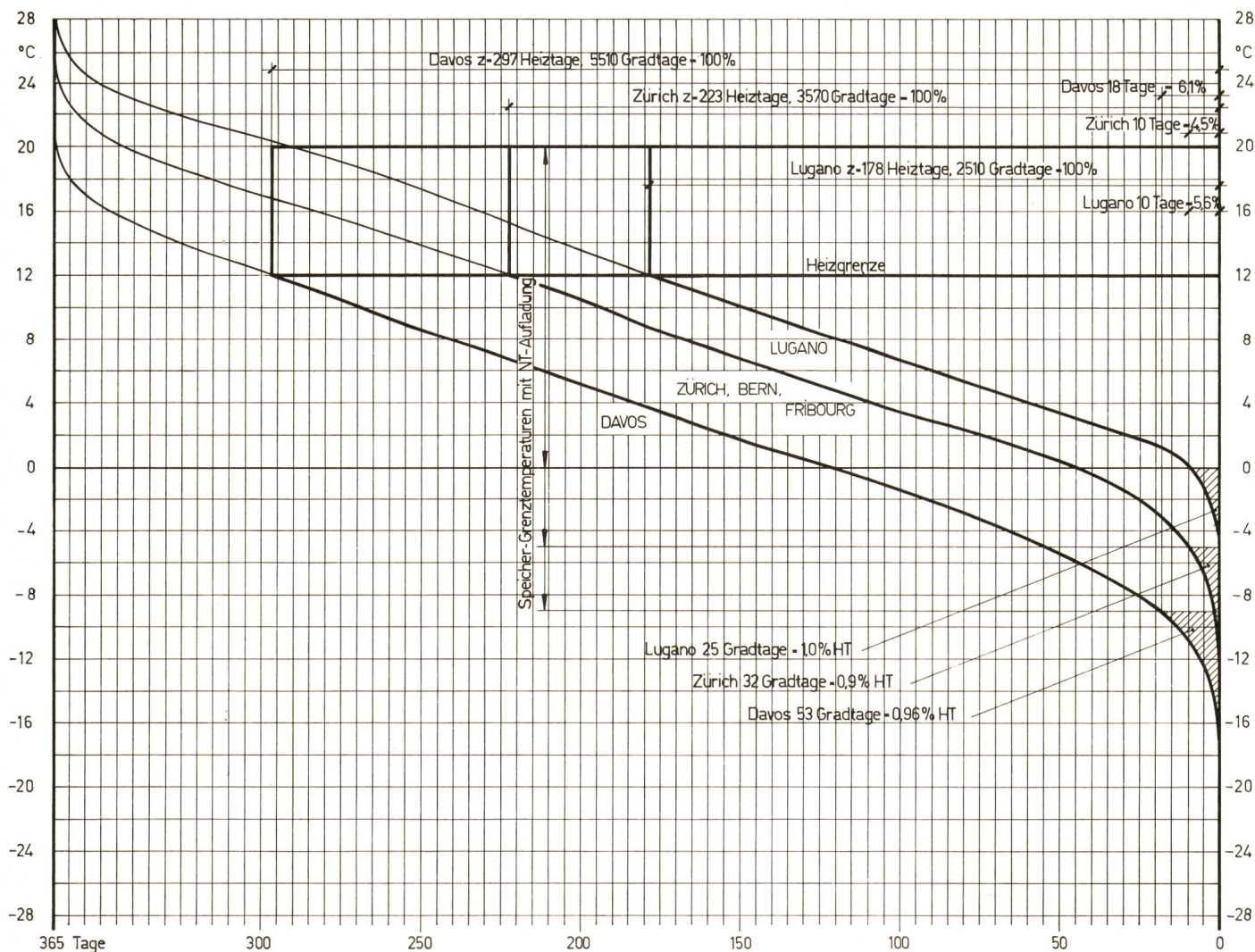


Fig. 2
Summenhäufigkeitslinien der Tagesmittel-Aussentemperaturen für Lugano, Zürich und Davos als 60jähriges Mittel [1]

erster Näherung proportional den Gradtagen nach folgender Formel verläuft:

$$A = \frac{a e_t y G_t \cdot 24}{\eta_t (t_i - t_A)} \cdot \frac{Q_h}{860} = B_e \frac{Q_h}{860} \text{ kWh} \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

- a* Berichtigungsfaktor (entsprechend der Auslegung, Einregulierung etc. $a = 0,85$)
- e_t* Temperatureinschränkungsfaktor, der den Einfluss der automatischen Temperaturabsenkung von 5 °C während der Nacht berücksichtigt ($e_t = 0,9$)
- y* Berücksichtigungsfaktor, der die gegenüber der Praxis zu hoch angesetzten Einzelwerte in der Wärmebedarfsrechnung berücksichtigt ($y = 0,6$)
- G_t* Gradtage des betreffenden Ortes; die Gradtage stellen die Summation der täglichen Differenzen zwischen der geforderten Raumtemperatur t_R eines Hauses und der auftretenden Tagesmitteltemperatur t_{am} über die ganze Heizperiode dar. Für unsere drei Orte betragen sie bei der Heizgrenze von $t_H = 12$ °C und der Raumtemperatur von $t_i = 20$ °C:

Lugano	2510 Gradtage bei $t_A = -6$ °C
Zürich	3570 Gradtage bei $t_A = -15$ °C
Davos	5510 Gradtage bei $t_A = -20$ °C

Die Heizgrenze ist jene gewählte Aussentemperatur, ab welcher der Heizbetrieb aufgenommen wird, wenn an drei aufeinander folgenden Tagen um 21.00 Uhr die Aussentemperatur unter der Heizgrenze liegt.

- η_t* Totalwirkungsgrad der Speicherheizanlage, der sich aus folgenden Wirkungsgraden zusammensetzt:

$$\eta_t = \eta_{of} \eta_L \eta_V = 0,85$$

hierin bedeuten:

- η_{of}* berücksichtigt die Oberflächenverluste durch die Ausenfläche der Speichereinheiten ($\eta_{of} = 0,96$)
- η_L* berücksichtigt die mögliche Abweichung von der angegebenen Nennleistung, die bei der Herstellung der Heizwicklung entstehen kann und nach den SEV-Vorschriften mit ± 5% Abweichung zugelassen wird ($\eta_L = 0,98$)
- η_V* berücksichtigt die in den Rohren des Heizsystems entstehenden Verteilungsverluste ($\eta_V = 0,9$).

Die Oberflächen- und Verteilungsverluste können nur dann kleiner gewählt oder als Reserve betrachtet werden, wenn an den Radiatoren thermostatische Radiatorenventile vorgesehen und ein geschlossenes Heizsystem installiert wird, ohne lange Sicherheits-Vor- und Rücklaufrohrverbindungen zum auf dem Estrich plazierten Expansionsgefäß führen zu müssen und dadurch gewisse Wärmeverluste in Kauf zu nehmen.

Diese Verluste gehen zwar immer zu Gunsten der Räume im Hause, können jedoch die dadurch entstandenen Wärmegewinne in den einzelnen Räumen ohne thermostatische Radiatorenventile durch die Entladeautomatik allein nicht erfasst werden. Die Entladeautomatik richtet sich nur nach der Aussentemperatur und entsprechend dieser lässt sie auf dem Vorlauf zu den Radiatoren nach einer bestimmten Heizkurvensteilheit höhere oder niedrigere Temperaturen zu, ohne Berücksichtigung jeglicher Wärmegewinne in den einzelnen Räumen, wie z. B. Sonneneinstrahlung usw.

Nur die thermostatischen Radiatorenventile können diese erfassen und die Heizung unterbrechen.

- t_i* Mittlere Gebäudetemperatur über 24 h unter Berücksichtigung der automatischen Nachtabsenkung von 5 °C (angenommen $t_i = 18,4$ °C).
- t_A* Tiefste Aussentemperatur, bis zu welcher die oben erwähnten Gradtage berechnet werden.
- B_e* Theoretische Benützungsstunden von Q_h resp. der fiktiv installierten Direktheizung (nicht aber von der installierten Leistung)

$$\frac{Q_h}{860} = \text{kW pro Winter}$$

Nach Einsetzen der Werte in Gl. 2 erhält man die approximativen Benützungsstunden der fiktiv installierten Direktheizung pro Winter (Tabelle II). Die Angaben sind allerdings approximativ, jedoch liefert dieses Berechnungsverfahren solche Werte, die sich am ehesten dem effektiven Heizverbrauch nähern.

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass auch die Gradtage unter der Speicher-Grenztemperatur dieselben prozentualen Verhältnisse aufweisen.

Die Anzahl der Heiztage, die auf die teilweise Deckung der Heizenergie in der Hochtarifzeit entfallen, ist:

Lugano	10 Tage = 5,6%	von 178 Heiztagen über den ganzen Winterbetrieb,
Zürich	10 Tage = 4,5%	von 223 Heiztagen und
Davos	18 Tage = 6,1%	von 296 Heiztagen über den ganzen Winterbetrieb.

Auch diese Werte bestätigen, wie klein der Stromverbrauch für die Deckung der Kältespitze durch Hochtarif zu erwarten ist, dies allerdings vom Gesichtspunkt des Abonnenten aus gesehen. Die Elektrizitätswerke dagegen müssen gerade in der Zeit der kältesten Tage den grössten Strombedarf decken, wodurch die Preise für die Kilowattstunde steigen. Wenn zum bereits grossen Energiekonsum ohne den Stromverbrauch für Heizzwecke noch die Zentralspeicherkessel-Anlagen kämen (wenn auch ausserhalb der Tagesspitze), könnte dies bei verschiedenen Elektrizitätswerken bei der Deckung des Energiebedarfes zu Schwierigkeiten führen. Deshalb muss die Dimensionierung einer Zentralspeicher-Heizanlage nur bis zur Speicher-Grenztemperatur $t_s = 0 \dots -9$ °C mit dem zuständigen Elektrizitätswerk besprochen und durch dieses bewilligt werden.

4. Wieviele Stunden sollte die Tagnachladung vom Elektrizitätswerk zur Verfügung gestellt werden?

Eine andere immer gestellte Frage ist, wie lange die Tagnachladung pro Tag mit der vollen Leistung dauern muss, wenn die tiefste Aussentemperatur herrschen würde. Mit reduzierter Leistung muss dementsprechend die Aufladezeit länger dauern. Folgende Überlegung hilft dieses Problem zu lösen.

Die installierte Leistung setzt sich aus zwei Teilen zusammen:

- a) Speicherheizanteil – der die Wärme zur Speicherung im Wasser für den nächsten Tagbetrieb erzeugt, d. h., das Wasservolumen von ca. 60 °C auf ca. 107 °C während der Nachtaufladezeit aufheizt.
- b) Direktheizanteil – der die Wärme zur direkten Deckung der während der Nacht-Aufladezeit entstehenden Wärmeverluste erzeugt und bei der ersten Aufheizung, am Anfang der Heizperiode, zur rascheren Erwärmung des kalten Wassers (10...14 °C) auf 107 °C beiträgt.

Zum Beispiel hat ein Haus im schweizerischen Mittelland einen stündlichen Wärmebedarf von $Q_h = 10000$ kcal/h, bei

einer Speicher-Grenztemperatur von $t_s = -5 \text{ }^\circ\text{C}$. Bei einer mittleren Aussentemperatur von $t_{Am} = -11 \text{ }^\circ\text{C}$ wäre $Q_h = 12500 \text{ kcal/h}$. Dass die verschiedenen Zuschläge, die in der Wärmebedarfsberechnung des Hauses bzw. der einzelnen Räume enthalten sind (Himmelsrichtungs-, Parterre-, Lüftungs-, Ausgleichszuschlag für kalte Wände etc.) nicht auf einmal auftreten, sei mit einer Q_h -Reduktion von ca. 12% berücksichtigt, wodurch die Zuschläge um ca. die Hälfte reduziert werden. Die Speicherheizanlage wird nur für die Speicher-Grenztemperatur $t_s = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ dimensioniert, d.h. für $Q_h = 10000 \text{ kcal/h}$. Bei einer Aufladezeit von $t_h = 8 \text{ h}$ benötigt man eine Anschlussleistung von 30 kW, davon 24 kW Speicherheizanteil und 6 kW Direktheizanteil. Die Vorlauftemperatur beträgt $80 \text{ }^\circ\text{C}$ im Maximum, die Rücklauftemperatur maximal $60 \text{ }^\circ\text{C}$, die ausnützbare mittlere Temperaturdifferenz $107-57 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Da während der Aufladung mittels des Speicherheizanteils von der erzeugten Wärme keine Entnahme erfolgt (während dieser Zeit werden die auftretenden Wärme- inkl. Verteilungsverluste des Hauses vom Direktheizanteil gedeckt), müssen nur die Verluste durch die Oberfläche und jene der Leistung berücksichtigt werden. Sie betragen ca. $\eta = 0,96 \cdot 0,98 = 0,94$. Während der Nachtauladung kann für obiges Beispiel mittels des Speicherheizanteils erzeugt werden:

$$Q = 24 \cdot 8 \cdot 860 \cdot 0,94 = 155000 \text{ kcal}$$

Durch die Montage von thermostatischen Ventilen an den Radiatoren und eines geschlossenen Heizsystems, können die Verteilungsverluste bei der täglichen Entladung auf ca. 5% reduziert werden. Es bleibt folgende nutzbare Wärmemenge zur Verfügung, wenn während der Entladung am Tage die Verteilungsverluste mit $\eta_V = 0,95$ angenommen werden:

$$Q_N = 155000 \cdot 0,95 = 147250 \text{ kcal}$$

Bei $t_A = -11 \text{ }^\circ\text{C}$ ist theoretisch $Q_h = 12500 \text{ kcal/h}$ zu erwarten. Durch die nicht auf einmal auftretenden Zuschläge kann Q_h um ca. 12% reduziert werden, so dass eigentlich während des 16 Stunden dauernden Vollheizbetriebes folgender effektiver Wärmeverbrauch zu erwarten ist:

$$Q_{\text{eff}} = 12500 \cdot 0,88 = 11000 \text{ kcal/h}$$

Die zur Verfügung stehende Wärmemenge Q_N reicht deshalb nicht, um den stündlichen Wärmebedarf Q_{eff} während 16 h zu decken, sondern nur während

$$t_H = \frac{147250}{11000} = 13,4 \text{ h}$$

Die restlichen 2,6 h benötigen noch

$$Q_R = 11000 \cdot 2,6 = 28600 \text{ kcal}$$

Tagsüber erfolgt neben der Aufladung auch sofort die Wärmeentnahme, weshalb dann auch alle Verluste entstehen. Unter Berücksichtigung dieser Verluste von $\eta_t = 0,94 \cdot 0,95 = 0,89$, wird mit dem Speicherheizanteil in einer Stunde erzeugt:

$$Q_S = 24 \cdot 1 \cdot 860 \cdot 0,89 = 18400 \text{ kcal/h}$$

Mit dem Direktheizanteil wird pro Stunde erzeugt:

$$Q_D = 6 \cdot 1 \cdot 860 \cdot 0,89 = 4600 \text{ kcal/h}$$

Pro Stunde wird total produziert, teilweise sofort verbraucht oder im Wasser gespeichert:

	Lugano	Zürich	Davos
Benützungsstunden B_e	$t_s = -0 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_s = -5 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_s = -9 \text{ }^\circ\text{C}$
von $Q_h/860$ für	$t_A = -6 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_A = -15 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_A = -20 \text{ }^\circ\text{C}$
Heizbetrieb über den ganzen Winter (h)	1340 = 100%	1390 = 100%	1870 = 100%
Heizbetrieb unter Speicher-Grenztemperatur (h)	13,3 = 1,0%	12,5 = 0,9%	18,0 = 0,96%

$$Q_{S+D} = 18400 + 4600 = 23000 \text{ kcal/h}$$

Die fehlenden 28600 kcal können deshalb in der folgenden Zeit der Tagnachladung beschafft werden:

$$n = \frac{28600}{23000} = 1,25 \text{ h}$$

Dieser Berechnung kann entnommen werden, dass wenn die Elektrizitätswerke für Zentralspeicher-Heizanlagen generell eine Tagnachladungszeit von 2...3 h freigeben würden, in dieser Zeit mit genügender Sicherheit soviel Wärme erzeugt würde, um die am Tage auftretenden Wärmeverluste auch bei tieferen Aussentemperaturen als $t_A = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ zu decken. Bei täglicher Freigabe der Tagnachladung durch das Elektrizitätswerk kann diese mittels einer Aufladeautomatik erst dann zugelassen werden, wenn die Aussentemperatur die Speicher-Grenztemperatur von $t_s = 0^\circ$ bis $-9 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht. So entstände dem Elektrizitätswerk an wärmeren Tagen kein Energieverbrauch im Hochtarif. Solche Aufladeautomatiken sind auf dem Markt erhältlich und schon bei verschiedenen installierten Speicherheizanlagen in Betrieb. Auch die Tagnachladung mit reduzierter Leistung bildet steuerungstechnisch kein Problem.

5. Wie hoch belaufen sich die Mehrkosten für die Tagnachladung zum Hochtarifpreis für den Abonnenten?

Aus Tabelle II ist ersichtlich, dass die Benützungsstunden von $Q_h/860$ für Zürich unter der Speicher-Grenztemperatur von $t_s = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $t_A = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, von $B_e = 13,3 \text{ h}$ pro Winter zu erwarten sind. Beim erwähnten Beispiel eines Hauses, bei welchem die stündlichen Wärmeverluste von $Q_h = 10000 \text{ kcal/h}$ bei $t_s = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ betragen, ist bei tiefsten Aussentemperaturen von $t_A = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ mit stündlichen, kurzfristig auftretenden Wärmeverlusten von $Q_h = 14000 \text{ kcal/h}$ zu rechnen.

Der approximative Stromverbrauch in der Hochtarifzeit beträgt somit:

$$A_j = 13,3 \frac{14000}{860} = 217 \text{ kWh}$$

Bei einem Strompreis von 4 Rp./kWh während der Niedertarifzeit von z.B. 22.00 bis 06.00 Uhr und 10 Rp./kWh in der übrigen Hochtarifzeit, muss der Abonnent nur die Differenz von $10 - 4 = 6 \text{ Rp./kWh}$ mehr für den Hochtarifstrom bezahlen, weil man die Heizenergie auch während der Niedertarifzeit bezogen hätte. So kann errechnet werden, dass die Mehrkosten für den Hochtarif für eine solche Heizanlage pro Winter auf approximativ

$$K_j = 217 \cdot 0,06 = \text{Fr. } 13.02$$

zu stehen kämen. Es zeigt sich, dass die durch die Tagnachladung während der Hochtarifzeit für den Abonnenten entstehenden Mehrkosten nicht ins Gewicht fallen.

6. Nachweis der theoretischen Überlegungen mittels eines Beispiels

Um alle oben aufgestellten Behauptungen untermauern zu können, diene dazu das Beispiel einer im Jahre 1969 in Dietlikon (ZH) installierten Zentralspeicher-Heizanlage. Die hier in 3 Jahren erreichten Wirtschaftlichkeits-Ergebnisse bestätigen alle vorgängig besprochenen Probleme.

Nach den VHSL-Regeln wurde ein stündlicher Wärmebedarf von $Q_h = 27000$ kcal/h errechnet. Es wurden folgende Werte eingesetzt:

Doppelverglaste Fenster	k	= 4,5 kcal/m ² h °C
Aussenwände	k	= 0,8 kcal/m ² h °C
Boden gegen Keller	k	= 1,0 kcal/m ² h °C
Decke	k	= 0,8 kcal/m ² h °C
Tiefste Aussentemperatur	t_A	= -15 °C
Raumtemperatur überall	t_R	= 20 °C
Beheiztes Raumvolumen	V	= 724 m ³
Spezifischer stündlicher Wärmeverlust	q	= 37 kcal/h m ³
Aufladezeit	$h + n$	= 8 + 3 h

Die Fläche der Wände und des Daches betragen 362 m², jene der Fenster und verglasten Aussentüren 73 m². Somit beträgt der durchschnittliche k -Wert des ganzen Hauses theoretisch

$$k = \frac{27000}{435 \cdot 35} = 1,77 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$$

Es wurden installiert: 59,8 m² Glieder-Warmwasser-Radiatoren und 77,91 m² Warmwasser-Konvektoren. An jedem Radiator wurde ein thermostatisches Radiatoren-Ventil montiert.

Die Vorlauftemperatur beträgt 60 °C, die Rücklauftemperatur 50 °C, wodurch die Radiatoren-Heizfläche doppelt so gross ist, als sie bei 90/70 °C betragen würde. Bei der Festlegung des Speicher-Wasservolumens wurde mit einer nutzbaren Temperaturdifferenz von ca. $\Delta t = 110 - 50 = 60$ °C gerechnet. Als Speicher wurde nur ein Liegeboiler von 2500 Lit. mit 27 kW Anschlusswert installiert und für die eventuelle Tagnachladung ein Durchflusserhitzer von 13 kW gewählt. Totaler elektrischer Anschlusswert: 40 kW.

Die Dimensionierung der Anlage wurde auf Wunsch des Hausbesitzers so niedrig festgelegt. Nach der theoretischen Berechnung müsste für die tiefste Aussentemperatur von $t_A = -15$ °C und $Q_h = 27000$ kcal/h ein elektrischer Anschlusswert von 60 kW, ein Wasservolumen von ca. 6000 Lit. bei $\Delta t =$

50 °C vorgesehen werden. Der Bauherr entschied sich aber, die Anlage für eine Aussentemperatur von ca. $t_A = -2$ °C festsetzen zu lassen und war bereit, die im Hochtarif auftretenden Mehr-Heizkosten zu tragen. Im ersten Winter musste er aber im Hochtarif nur ca. 200 kWh Stromverbrauch, während des zweiten Winters, im Dezember 1970, ca. 60 kWh, also unbedeutende Strommengen und Heizkosten in Kauf nehmen. Im Januar 1971 wurde neben der Nachtaufladung von 22.00 bis 06.00 Uhr die Tagnachladung zwischen 12.30 und 15.30 Uhr auch zum Niedertarifpreis freigegeben. Deshalb überwachte man im Winter 1971/72 den Anteil des Stromverbrauches durch die Tagnachladung nicht mehr. Während der drei Winter betrug der Strom- und Wärmeverbrauch:

	Winter	Niedertarif kWh	Hochtarif kWh	Total kWh	Total kcal/a
1969/1970		47 800	200	48 000	41 300 000
1970/1971		42 000	60	42 060	36 200 000
1971/1972		35 000	—	35 000	30 100 000

Da während der Nacht die Wärmeentnahme von Hand gedrosselt wurde, wurden die pro Winter konsumierten kcal nur während des Tages von 06.00 bis 22.00 Uhr verbraucht. Bei ca. $z = 220$ Heiztagen pro Winter und $H = 16$ h Voll-Tagheiz-Betriebsstunden, resultierte daraus während des Winters 1970/71 ein durchschnittlicher, stündlicher Wärmeverbrauch von:

$$Q_D = \frac{36\,200\,000}{220 \cdot 16} = 10\,300 \text{ kcal/h}$$

Dieser Wert sagt zwar nichts genaues aus über den maximalen Wärmebedarf bei tieferen Aussentemperaturen. Die Abweichungen nach oben oder unten waren aber sicher nicht so gross, dass bis $Q_h = 27000$ kcal/h Wärmeverluste gedeckt werden mussten. Das beweist, dass die oben aufgestellten Annahmen mit dem effektiven Betrieb übereinstimmen, deren Berücksichtigung ohne Risiko bei der Dimensionierung der Zentralspeicher-Heizanlagen empfohlen werden kann, ohne die tiefen Aussentemperaturen oder hohe Heizkosten befürchten zu müssen.

Literatur

- [1] M. Schüepp: Lufttemperatur. Klimatologie der Schweiz, Abschnitt c. 9...12. Teil. Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1968. Zürich, SMZA, 1969.
- [2] R. Allemann: Neue Werte für die Grad- und Heiztage in der Schweiz. Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung 38(1971)2, S. 37...42.

Adresse des Autors:

Dipl.-Ing. K. Nenadal, Accum AG, 8625 Gossau.