

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117/118 (1941)
Heft: 21

Artikel: Verwendung elektrischer Ueberschussenergie zur Erzeugung von Wärme
Autor: Frei, Otto
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83555>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.01.2025

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

INHALT: Verwertung elektrischer Ueberschussenergie zur Erzeugung von Wärme. — Eisenbeton-Masten für Kraftleitungen. — Qualitätsguss durch Verwendung von Kupfer-Nickel-legiertem Spezialroheisen. — Wohnhaus Sch.-E. in der Eierbrecht, Zürich. — Warum gutes und schlechtes Mauerwerk an den Strassen unserer Heimat? — Der Schienenstoss. — Mitteilungen: Jahresspeicher für Raumheizung. Beleuchtung mit Klein-

und Normalspannung. Das «Interesse» bei der Patentnichtigkeitsklage. Dnieprostroi-Staudamm. Eidg. Technische Hochschule. Schweiz. Bundesbahnen. Eisenbeton-Gittermasten. Zweistöckige Schlafwagen. — Nekrologe: Alfred Müller. — Wettbewerbe: Wandbild für Dübendorf. Schulhaus Zürich-Affoltern. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortragskalender.

Band 118

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 21

Verwertung elektrischer Ueberschussenergie zur Erzeugung von Wärme

Von Ing. OTTO FREI, Zürich

Wird die an den Klemmen unserer Wasserkraftwerke im Lauf eines Jahres jeweils verfügbare Leistung nicht voll ausgenutzt, so geht ein Teil der möglichen Jahreserzeugung (kWh) verloren. Für die Schweiz ergibt sich nach «Bulletin SEV» 1940, Nr. 1 das folgende Bild:

Energieerzeugung in Wasserkraftwerken. Hydrograph. Jahr 1938/39 (1. X. 38 bis 30. IX. 39).

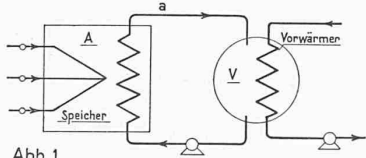
Winter: 3205 10⁶ kWh = rd. 95% der möglichen Erzeugung
Sommer: 3384 10⁶ kWh = rd. 83% der möglichen Erzeugung
Total: 7089 10⁶ kWh

Die Wasserführung war also so, dass bei sofortiger Verwendung noch folgende Energiemengen hätten abgegeben werden können:

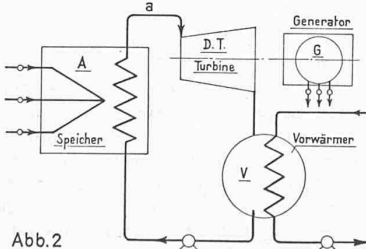
Winter: 168 10⁶ kWh
Sommer: 798 10⁶ kWh
Total: 966 10⁶ kWh

Die nachfolgenden Ausführungen sollen einen Weg zeigen, wie solche disponible Abfall-Energie verwendet werden könnte. Die überschüssige elektrische Energie soll in Wärme umgesetzt und in Grossspeichern aufbewahrt werden¹⁾. Als Speichermaterial ist für nicht zu hohe Temperaturen, kürzere Zeiten und kleinere Energiemengen wohl an erster Stelle Wasser geeignet. Für grosse Energiemengen, bei hoher Temperatur, sind feste Körper vorzuziehen: Sand, Gesteine, Erde. Auch unsere nicht abbauwürdigen Eisenerze kommen in Frage. Zu bevorzugen ist ein billiges Material von grosser Wärmekapazität.

Abb. 1 zeigt die einfachste Art der Speicherung und darauffolgenden Ausnützung für Heizzwecke. Der Block A wird elektrisch aufgeheizt, also mit Wärme geladen. Bei der Entladung, also während der Heizperiode, wird ein Wärmeträger in der Leitung a umgewälzt und gleichzeitig die dem Blocke A entzogene Wärme im Vorwärmer V dem Zirkulationswasser der Heizung zugeführt.



In Abb. 2 wird gezeigt, wie gespeicherte Wärme ausser zur Heizung, auch noch teilweise zur Erzeugung elektrischer Energie verwendet werden kann. Der in der Leitung a umgewälzte Wärmeträger, z. B. Wasser, wird derart reguliert, dass bei Austritt aus dem Blocke A Heissdampf zur Verfügung steht. Dieser wird einer Gegen-Druck-Dampfturbine DT zugeführt, die einen Generator G antreibt und in Zeiten von Stromknappheit elektrischen Strom in das Verbrauchernetz abgibt. Der der Dampfturbine entströmende Dampf erwärmt wie vorhin in einem Vorwärmer V das Zirkulationswasser der Heizung.



Noch weitergehend betreffend Erzeugung und Nutzbar-machung von Wärme ist der Vorschlag nach Abb. 3. Anstelle des Generators zur Erzeugung von elektrischer Energie tritt eine Wärmepumpe WP. Mit einer solchen kann Wärme von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden. Die dazu benötigte mechanische Energie wird umso grösser, je höher die Endtemperatur liegt. Anfangs- und Endtemperatur sollen darum nicht allzuweit auseinander liegen.

Die Erwärmung des Zirkulationswassers der Heizung erfolgt hier in zwei Stufen. In der ersten Stufe durch Hochpumpen

¹⁾ Der Verfasser hat eine bezügl. Anregung im Gemeinderat der Stadt Zürich schon am 2 Juli d. J. eingereicht und am 24. Sept. begründet, die alsdann vom Stadtrat zur Prüfung entgegen genommen wurde. Auf das Ergebnis darf man gespannt sein. Red.

irgendeiner zur Verfügung stehenden Wärmemenge, in der zweiten Stufe durch den Abdampf der die Wärmepumpe antreibenden Dampfturbine. Diese ist nötig, da während der Heizperiode die erforderliche Antriebsenergie von den hydraulischen Werken kaum geliefert werden könnte. Durch Gross-Speicherung von elektrischer Abfallenergie im Sommerhalbjahr und durch deren Ausnützung im Winterhalbjahr wird die mechanische Energie zum Antrieb der Wärmepumpe erhalten. Die hohe Temperatur im Wärmespeicher sichert ein möglichst grosses Wärmegefälle des arbeitenden Dampfes.

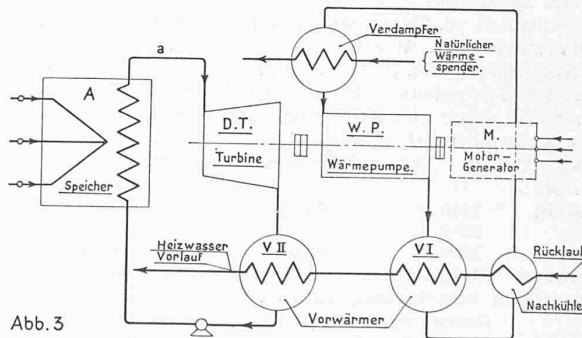
Wärmemengen von niedriger Temperatur sind sozusagen überall vorhanden. Das Wasser ist ein vorzüglicher Wärmeträger, beträgt doch die Wärmemenge, die einem m³ bei 1° Temperatur-senkung entzogen wird, 1000 kcal = 1,162 kWh. Die Stadt Zürich ist in dieser Beziehung günstig gelegen. Einmal stehen die Abflussmengen vom Zürichsee zur Verfügung, ausserdem noch grössere Wassermengen im Grundwasserstrom. Diese sind zur Ausnützung ihrer Wärme besonders günstig, da ihre Temperatur höher liegt als die des Limmatwassers, und im Winter sogar höher als im Sommer. Wie den Geschäftsberichten des Stadtrates 1934 bis 1939 zu entnehmen ist, lieferte das Grundwasserwerk Hardhof die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Wassermengen. Die Wassertemperaturen wurden den entsprechenden Diagrammen entnommen. Ausserdem sind die bei einer Wärme-entziehung bis auf eine Grundwassertemperatur von 5° C erhalt-lichen Wärmemengen angeführt.

GRUNDWASSERLIEFERUNG HARDHOF

Zeit: 1. Oktober bis 30. April

Jahr	Menge in m ³	Wärmemengen in kcal	Ausgenützte Temp.-Diff. in °C *)
1934/35	5 265 600	33 494 Mio	6,38
1935/36	6 685 000	44 775 Mio	6,69
1936/37	5 057 700	31 689 Mio	6,26
1937/38	3 765 000	25 534 Mio	6,78
1938/39	5 290 800	35 214 Mio	6,65
1934/39	26 064 100	170 706 Mio	6,55

*) Bei Abkühlung des Grundwassers auf 5°.



Gemäss den Konzessions-Bedingungen kann die Stadt Zürich heute dem Limmat-Grundwasserstrom im Hardhofgebiet 39 000 l/min = 2340 m³/h = 56160 m³/Tag entnehmen.

Mit einer Abkühlung von 6,5° C entsprechend obigem Mittel ergeben 2340 × 6500 = 15,22 Mio kcal/h = 365,28 Mio kcal/Tag. Das macht in 200 Tagen 73 056 Mio kcal = 84 945 600 kWh aus, soviel wie der Heizwert von 11632 t Kohle (den Heizwert eines kg zu 6500 kcal gerechnet).

Um diese Wärmemengen für Heizzwecke ausnützen zu können, sind sie mittels der Wärmepumpe auf eine höhere Temperatur zu bringen. Was so erwartet werden kann, ist am einfachsten aus einem Rechnungs-Beispiel zu ersehen.

Wir stellen uns eine Anlage gemäss Schema Abb. 3 vor. Die Wärmepumpe soll über eine Heizperiode von Ende September bis Anfang Mai, also über 200 Heizztage, eine Wärmemenge von 20 000 000 kWh aus dem Grundwasser hochpumpen. Die mittlere

prozentuale Verteilung des Wärmebedarfes über die Monate der ganzen Heizperiode ist aus Statistiken bekannt, also auch die in jedem Monat erforderliche mittlere Vorlauftemperatur des Heizwassers und damit das jeweils für die Wärmepumpe massgebende Temperaturintervall und die zum Hochpumpen der Wärme nötige mechanische Arbeit. Sie beträgt, wie eine Durchrechnung zeigt, nahezu 5 000 000 kWh, also 25% der hochgepumpten Wärme. Mit einer mechanischen Arbeit von 1 kWh = 860 kcal können also noch 3440 kcal hochgepumpt werden, so dass dem Vorwärmer V I eine Wärmemenge von insgesamt 860 + 3440 = 4300 kcal zugeführt wird.

Die erwähnte nötige Energie von 5 Mio kWh wird während der Heizperiode sicher nur zum kleinsten Teil von den Elektrizitätswerken beziehbar sein, wohl aber aus unserem mittels Sommerenergie geladenen Wärmespeicher. Im Speicher sind die Temperaturen derart zu wählen, dass ein genügendes Wärmegefälle für den Treibstoff der Wärmekraftmaschine zur Verfügung steht. Als Treibstoff ist Wasserdampf von 25 ata, 380° C vor Turbine gewählt worden. Der Dampf strömt also durch die Turbine, gibt einen Teil seiner Energie ab, und der Abdampf wird in dem Vorwärmer V II niedergeschlagen, wobei er das zirkulierende Wasser der Fernheizung erwärmt. Die Rechnung zeigt, dass der Speicher für eine Wärmekapazität von rund 25 000 000 kWh vorgesehen werden muss. Von diesen 25 Mio kWh dienen somit 5 Mio kWh zum Antrieb der Wärmepumpe; die übrigen 20 Mio kWh sind im Abdampf enthalten und erwärmen das Heizungswasser.

Nachfolgend eine kurze Zusammenstellung der bei einem konstanten Umlaufvolumen von 70 l/s Heizwasser zu erwartenden Heizwassertemperaturen und dem Heizwasser zugeführten Wärmemengen:

	Monat	Oktober	Januar	April
Temperatur im Rücklauf rd.		28	31	28° C
Erwärmung durch die Wärmepumpe auf rd.		38	54	40° C
Erwärmung durch den Abdampf der Turbine auf die Vorlauftemperatur von rd.		44	75	47° C
Dem Heizwasser zugeführte Wärmemenge pro h insges. rd.		4,03	11,088	4,79 Mio kcal
do. pro Monat insgesamt rd.		2903	8250	3447 Mio kcal
oder insgesamt rd.		3,37	9,59	4,01 Mio kWh
oder in t Kohle à 6500 kcal/kg rd.		447	1268	535 t Kohle

Ueber die ganze Heizperiode von total 200 Tagen, also von Ende September bis Anfang Mai, beträgt die Heizwärme 45 000 000 kWh, umgerechnet auf Kohle zu 6500 kcal/kg rund 6000 t oder 600 Eisenbahnwagen.

Bei der Fortleitung des Heizwassers bis zum Verbraucher ist allerdings noch mit Verlusten zu rechnen; andererseits ist aber beim Verbrennen der Kohle in Einzelheizungen der Wirkungsgrad der Heizkessel zu berücksichtigen, sodass den 45 Mio kWh in Wirklichkeit rd. 7500 → 8000 t Kohle gleichwertig sind.

Wärmespeicher. Wie bereits erwähnt, ist der Speicher für eine Nutzleistung von 25 000 000 kWh vorzusehen. Als Speicher-material soll grösstenteils Erde verwendet werden. Nachfolgende Zusammenstellung gibt Aufschluss über einige in Frage kommende Materialien (G = Gewicht in kg/m³, C = spez. Wärme in kcal/kg °C, $G \cdot C$ = Wärmekapazität in kcal/m³ °C):

Material	G	C	$G \cdot C$
Kalkstein	2200	0,216	475
Kies	1850	0,195	361
Erde	1900	0,20	380
Mittelwerte	1933 kg/m ³	0,204 kcal/kg °C	405 kcal/m ³ °C

Die mittleren Speichertemperaturen wählen wir wie folgt:

- Obere Speichertemperatur = 600° C
- Untere Speichertemperatur = 150° C
- Ausnützbare Differenz = 450° C

Daraus folgt die Wärmekapazität

$$\frac{450 \cdot 405}{860} = 212 \text{ kWh/m}^3 \approx 200 \text{ kWh/m}^3$$

Die angegebene spez. Wärme gilt für eine Temperatur von 20 → 100° C. Es ist aber bekannt, dass bei steigender Temperatur die spez. Wärme grösser wird. Bei den fraglichen Materialien sind diese Werte für höhere Temperaturen leider noch nicht genügend bestimmt; bei Verwendung der angegebenen Werte rechnet man indessen sicher²⁾.

Um die Nutzleistung von 25 Mio kWh im Speicher unterzubringen, ist eine Grösse von rd. 125 000 m³ nötig. Mit Rücksicht auf die Wärmeverluste ist eine Speicherform mit möglichst kleiner Oberfläche zu wählen.

²⁾ Vgl. E. Höhn «Ueber elektrisch geheizte Dampfkessel und Wärmespeicher» in Bd. 74, S. 260* (1919). — Nähere Untersuchungen hierüber wären eine verdienstliche Aufgabe der A. f. i. F. Red.

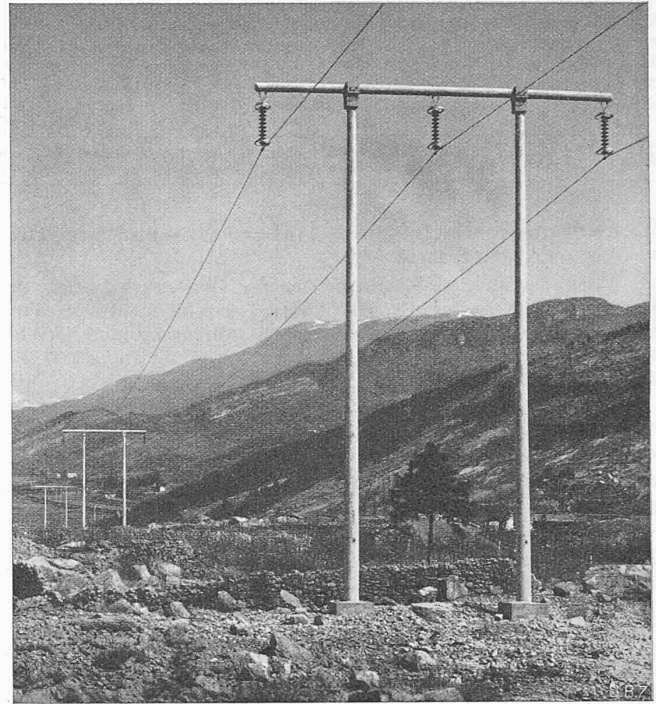


Abb. 1. Portal-Masten aus Schleuderröhren für 150 kV-Leitung

In dieser Beziehung wäre die Kugel- oder die Würfelform am günstigsten; aus praktischen Ueberlegungen wird aber ein prismatischer Körper mit möglichst kleiner Oberfläche in Frage kommen, wobei auch die Betonarbeiten zu berücksichtigen sind, da der Wärmespeicher speziell gegen eindringendes Wasser zu schützen ist. Es ergeben sich ohne Isolierung folgende Speicher-Abmessungen: Volumen rd. 125 000 m³
 Länge rd. 100 m
 Grösste Breite rd. 43 m
 Grösste Höhe rd. 32 m
 Oberfläche rd. 16 000 m² (Abb. 5)

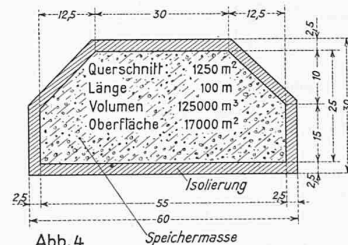


Abb. 4. Speichermasse

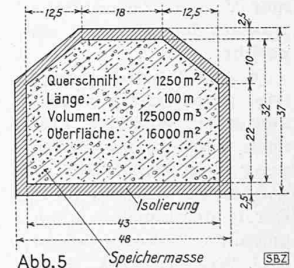


Abb. 5. Speichermasse

Um die Wärmeverluste des Speichers möglichst gering zu halten, ist er zu isolieren. Nehmen wir als Isoliermaterial Schlacke und Asche, die ja in grosser Menge von der Kehrrechtverbrennungsanstalt anfallen, so beträgt bei einer Isolierstärke von 2,5 m der Wärmeverlust über die Zeit von 8760 h, also über ein volles Jahr, nur rd. 11 bis 12%, siehe Anhang. Dieser überraschend geringe Verlust erklärt sich daraus, dass die für den Verlust massgebende Oberfläche nur mit dem Quadrat, das die Speicherkapazität bestimmende Volumen aber mit der dritten Potenz der linearen Abmessungen wächst.

Wir fassen zusammen: Bei einer Nutzspeicherung der Wärme von 25 Mio kWh und einem Zuschlag von 5 Mio kWh für Verluste und Eigenverbrauch sind total 30 Mio kWh nötig, um dem Heizwasser eine Wärmemenge von 20 Mio kWh aus dem Abdampf der Turbine, plus von 25 Mio kWh, aus den natürlichen Wärmequellen hochgepumpt, zuzuführen. Einem Aufwand von 30 Mio kWh steht somit ein Ertrag von 45 Mio kWh gegenüber.

Die Ausführung der in Frage kommenden Maschinen und Wärmeaustauscher bietet keine Schwierigkeiten. Ein Wärmespeicher von den hier vorkommenden Abmessungen erscheint ungewohnt. Die Zusammenarbeit von Bau- und Maschinen-Ingenieur hat jedoch ergeben, dass eine befriedigende Lösung gefunden werden kann, vergleiche den Anhang. Bereits sind die ersten Studien gemeinsam mit Ingenieur E. Rathgeb, Zürich, gemacht worden; sie werden weiter verfolgt.

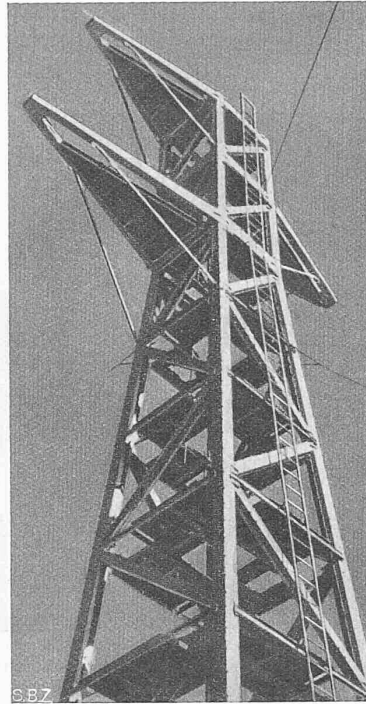
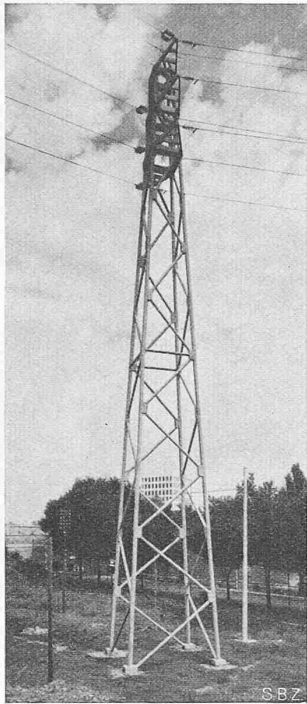


Abb. 2. Schleuderröhren-Gittermast Abb. 3. Gittermast in eiserner Schalung

BAUKOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT

Mit einer Rendite wie bei Elektrizitätswerken, Gasversorgungen usw., die ja Monopolcharakter haben, kann nicht gerechnet werden, wohl aber mit einer bescheidenen Verzinsung und Amortisation, und zwar auch bei bedeutend niedrigeren Brennstoffpreisen als den heutigen. Schätzungen über die Erstellungskosten eines Heizwerkes in der vorgesehenen Grösse zeigen, dass mit einer Grössenordnung von etwa 4 Mio Fr. gerechnet werden muss.

Das skizzierte Projekt soll der besseren Ausnützung unserer ausgebauten Wasserkräfte dienen und unsere Abhängigkeit von der Brennstoffeinfuhr vermindern. Es wird sich selbst erhalten können, zudem vorzügliche Arbeitsgelegenheiten bieten.

ANHANG: ZUR BERECHNUNG DES WÄRMESPEICHERS

Für die in Abb. 4 und 5 im Querschnitt dargestellten Körper sollen die Wärmeverluste Q_v [kcal/h] veranschlagt werden. In Wirklichkeit wird sowohl während des Aufheizens des Speichers im Sommer als auch während seiner Ausnützung im Winter die Speichertemperatur sich zeitlich und örtlich verändern. Für die Rechnung sei indessen über das ganze Jahr eine zeitlich und örtlich konstante Speichertemperatur t_m angenommen, gleich dem arithmetischen Mittel aus der vorgesehenen höchsten Mitteltemperatur von 600 °C und der niedrigsten Mitteltemperatur von 150 °C:

$$t_m = \frac{600 + 150}{2} = 375 \text{ °C}$$

Dann ist für einen Speicher der Oberfläche F [m²] und der Wärmedurchgangszahl k [kcal/m² h °C]:

$$Q_v = k F t_m \dots \dots \dots (1)$$

Für eine erste Rechnung sei der Speicher vollständig über Flur stehend gedacht, mit einer allseitigen Isolierung von $d = 2,5$ m Stärke aus Schlacke ($d_1 = 2$ m) und Asche ($d_2 = 0,5$ m). Bei Vernachlässigung des Temperatursprungs zwischen Speicher und Isolierung ist

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \dots \dots \dots (2)$$

Die Wärmeübergangszahl α zwischen Wand und Luft beträgt rd. 25 kcal/m² h °C. Für die Wärmeleitfähigkeiten λ_1 und λ_2 von Schlacke, bzw. Asche sind die Werte $\lambda_1 = 0,15$, $\lambda_2 = 0,06$ kcal/m h °C. Damit wird nach (2):

$$k = 0,0462 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } \text{°C}$$

Mit diesem Wert erhält man gemäss (1) die folgenden Wärmeverluste:

Speicher gemäss Abbildung	4	5
Oberfläche F	17 000	16 000 m ²
Wärmeverlust Q_v	294 270	277 200 kcal/h
	342,4	322,3 kWh
In 8760 h, d. h. 1 Jahr	2 999 400	2 823 400 kWh
In % der Kapazität von 25 Mio kWh	11,99	11,29 %

Die Aufladung und Entladung des Speichers kann grundsätzlich auf zwei Arten geschehen, nämlich direkt und indirekt.

Bei direkter Aufladung wird der Speicher durch elektrische Widerstände aufgeheizt, die über den ganzen Querschnitt des Speichers verteilt sind. Dabei kann auch, mindestens teilweise, das zur direkten Entladung nötige eingebaute Rohrsystem mitverwendet werden. Bei direkter Entladung wird ein unter Druck gesetzter Wärmeträger, z. B. Wasser, bzw. Dampf, oder auch Luft, umgewälzt und dabei erhitzt.

Bei indirekter Aufladung wird die elektrische Energie ausserhalb des Speichers in einem Ofen in Wärme umgesetzt. Der Speicher ist mit Kanälen zu versehen, in denen der Wärmeträger, z. B. im elektrischen Ofen erhitzte Luft, umgewälzt wird. Die Entladung kann auf ähnliche Art geschehen. Die umgewälzte Luft, die im Speicher erwärmt wird, gibt ihre Wärme in einem Wärmeaustauscher an den Wärmeträger der Kraftmaschine ab. Es ist ohne weiteres möglich, die direkte und indirekte Art der Aufladung und Entladung miteinander zu kombinieren.

Eisenbeton-Masten für Kraftleitungen

In der Schweiz sind bisher nur verhältnismässig wenige Hochspannungsleitungen mit Eisenbetonmasten erstellt worden und nur solche für kleinere Spannungen. Im Ausland dagegen, wo die hierzu erforderlichen Eisenmengen eher und billiger erhältlich sind, bestehen bereits grössere Leitungen von 150 bis 220 kV, und es werden immer wieder solche ausgeführt. Selbst Freiluftstationen werden in Eisenbeton erstellt.

Einsteilige Masten kommen für höhere Spannungen und Spannweiten nur selten in Frage. Dagegen sind hierfür schon ausgeführt worden: Portalmasten, Gittermasten und solche mit kastenförmigen Querschnitten. Portalmasten (Abb. 1) werden in Italien meist aus Schleuderröhren hergestellt; in Deutschland ist der «Kisse»-Mast am meisten anzutreffen. Die Masten werden in der Regel in fertiger Länge, bei Höhen über 24 m gelegentlich auch in zwei Teilen angeliefert; die Traversen bestehen aus drei Teilen, von denen der mittlere zuletzt eingehängt und vergossen wird.

Gittermasten (Abb. 2) findet man besonders in Oberitalien, zusammengesetzt aus einzelnen Schleuderröhren, wobei die Knotenpunkte an Ort und Stelle betoniert werden; Versuche, diese aus quadratischen Betonstäben zusammenzuschrauben, haben sehr grosse Kosten ergeben. Das Montieren von fertigen, hohlen Eisenbetonkörpern, Armieren und Ausgiessen derselben soll sich bewähren. In Mittelitalien sind grössere Leitungen bis 220 V in eiserner Schalung an Ort und Stelle betoniert worden (Abb. 3). Dabei besteht die eiserne Schalung aus zwei abgekröpften Blechen (zwei Blechwinkel). Zuerst wird der äussere Winkel und das auf dem Bild sichtbare innere Gerüst fertig aufgestellt; dann wird die Armierung eingelegt und nachher der innere Blechwinkel montiert und durch Ueberschieb-Klammern mit dem äusseren verbunden. Jeder Stab, auch die der Ausleger, hat ein oder mehrere aufklappbare Fenster, die in geschlossenem Zustand durch Rundeisenfedern fest angepresst werden. Durch diese Fenster wird der Beton eingefüllt, die Schalung gleichzeitig geklopft und vibriert. Die Montage der Schalung samt Armierung, das Betonieren, das Erhärten und das Ausschalen erfordern für einen Normalmast je einen Tag, sodass die Schalung nach vier Tagen für einen neuen Mast zur Verfügung steht. Mit einer Schalung sollen schon über 100 Masten ausgeführt worden sein.

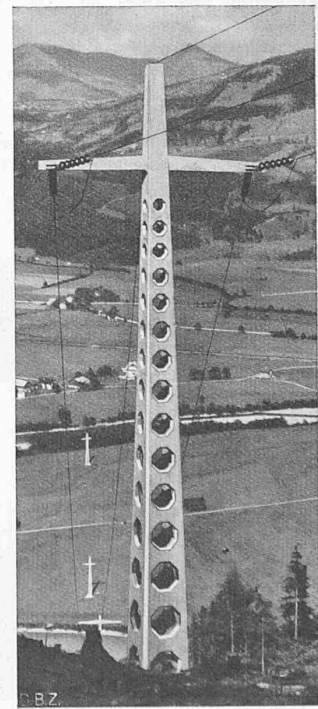


Abb. 4. Kastenform in Eisenbeton