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

Artikel: Eisenbeton-Masten für Kraftleitungen
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83556

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: 07.08.2025

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

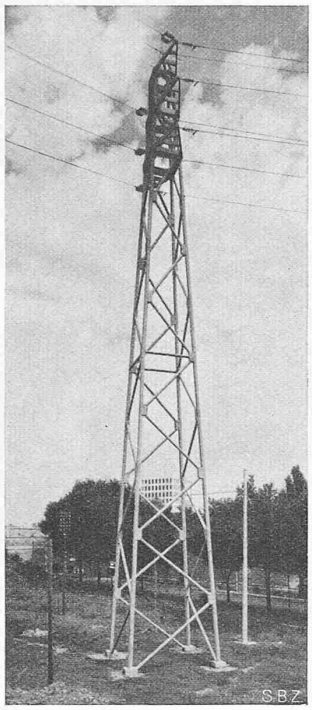

Abb. 2. Schleuderröhren-Gittermast

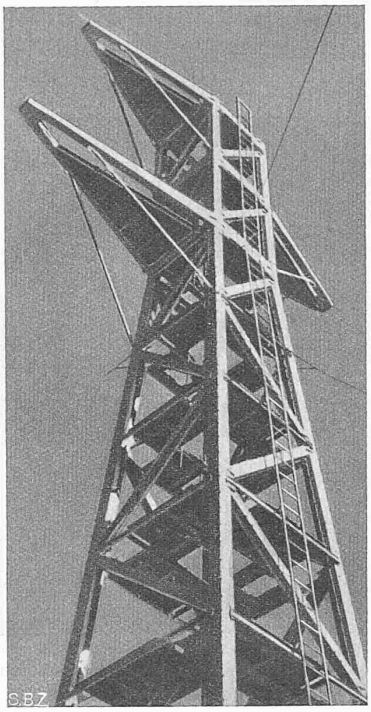

Abb. 3. Gittermast in eiserner Schalung

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 Ausnutzung 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:

$$t_m = \frac{600 + 150}{2} = 375\,^\circ\mathrm{C}$$

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

$$Q_v = k\,F\,t_m \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

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

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

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):

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

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

Speicher gemäss Abbildung	4	5
Oberfläche F	17 000	16 000 m²
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.

Einstielige 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 äussern 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.

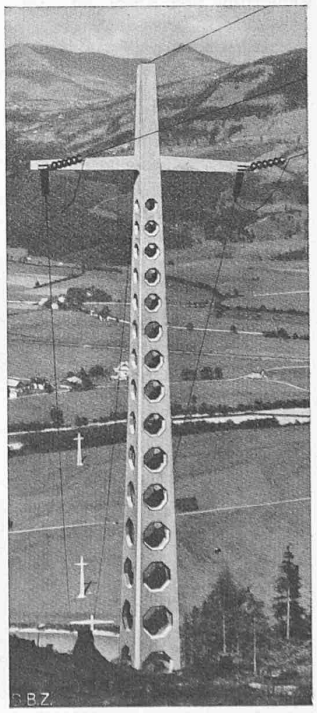

Abb. 4. Kastenform in Eisenbeton

Andere kastenförmige Querschnitte (Abb. 4) findet man anscheinend hauptsächlich in Oesterreich und Belgien. Bei den einstieligen und bei den Gittermasten wurden die Ausleger gelegentlich in Eisen und beweglich montiert; die Betriebserfahrungen sprechen jedoch nicht für bewegliche Ausleger.

Auffallend ist, dass im Ausland Fernleitungs-Masten mit sechs Leitern verhältnismässig selten und solche mit drei Leitern viel häufiger sind. Es rührt dies wohl daher, dass dort die Durchleitungsrechte leichter zu erhalten sind, und in diesem Falle mit zwei Leitungen zu je drei Drähten eine grössere Betriebsicherheit erzielt wird als mit sechs Drähten auf dem gleichen Gestänge.

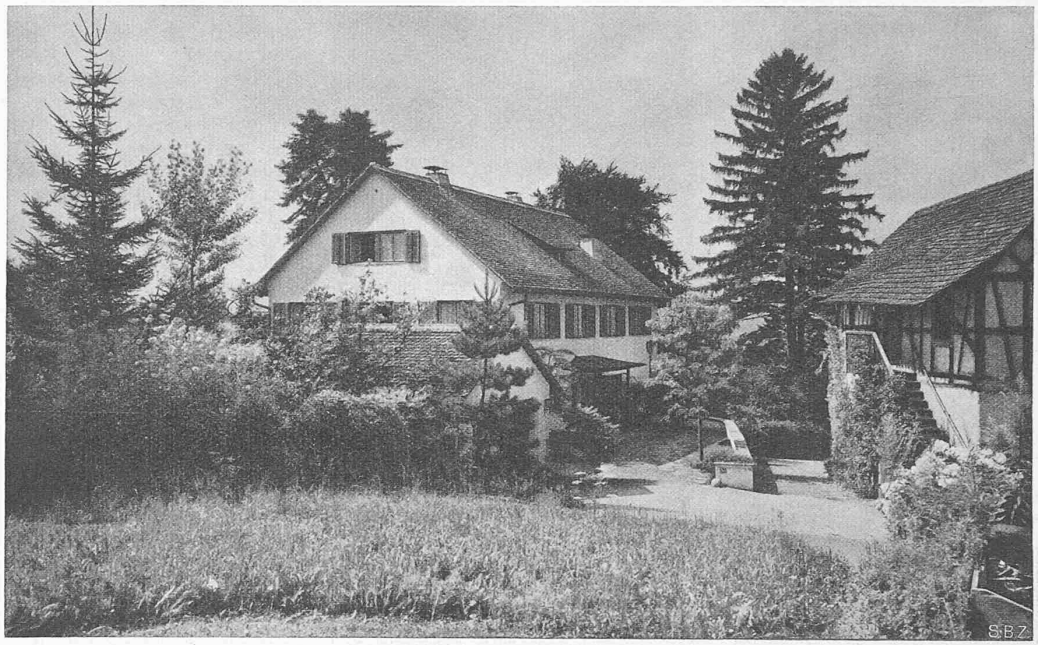

Abb. 1. Wohnhaus Sch.-E. aus Nordosten, von der Zugangseite, rechts die alte Trotte

Qualitätsguss durch Verwendung von Kupfer-Nickel-legiertem Spezialroheisen

Von Ing. ED. AEBERHARDT, Direktor der Guss- und Stahl-A.-G., Zürich

So wie die legierten Stähle im modernen Maschinenbau eine ausschlaggebende Rolle spielen, wird in Zukunft auch das legierte Gusseisen ein unentbehrlicher Konstruktionsstoff werden. Wohl ist der Einfluss einer ganzen Reihe von Legierungszusätzen wie Ni, Cr, Mo, Ti usw. im Gusseisen weitgehend erforscht[1]). Die sich daraus ergebenden Vorteile für die Praxis sind jedoch noch ungenügend bekannt. Das gilt besonders auch für die thermische Nachbehandlung und deren Anwendung (Wangen, Laufflächen usw.). Das legierte Gusseisen bietet mit seinen regelmässigen hohen Qualitäten im Maschinenbau gewaltige *neue Perspektiven* und umso grössere Vorteile, wenn es gelingt, durch geeignete Wahl der Legierungen und entsprechende Fabrikation das Produkt nur unwesentlich zu verteuern. Allerdings kommen die gebotenen Vorzüge nur bei gehöriger Anpassung der Konstruktion an die Eigenschaften des Werkstoffes voll zur Geltung. Bei der Verarbeitung von Stahl ist eine sinngemässe Auswertung der verschiedenen Sorten längst eine Selbstverständlichkeit.

Die neuesten Forschungen an verschiedenen Konstruktionsteilen, wie Kurbelwellen[2]) usw. zeigen, dass das legierte Gusseisen in Bezug auf Stabilität, Dämpfungseigenschaften, Gestaltfestigkeit, Verschleiss usw. an vorderster Stelle sämtlicher Baustoffe steht. Infolge seiner ausgezeichneten Giessbarkeit und des niedrigen Preises ist legiertes Gusseisen da, wo keine besonderen Ansprüche in Bezug auf geringes Konstruktionsgewicht gestellt werden, der wirtschaftlichste Werkstoff. Warum werden die guten Eigenschaften des legierten Gusseisens nur teilweise ausgenützt und die Anpassung in der Praxis nur zögernd vorgenommen? Es fehlt das Vertrauen in die absolut notwendige regelmässige Beschaffenheit des Werkstoffes.

Es hat sich gezeigt, dass Ni und Cu zwei ganz besonders günstige und äusserst wirksame Legierungselemente sind, infolge des hohen Preises aber bisher nur für besondere Zwecke Anwendung fanden. Die veredelnden Eigenschaften von Nickel in Bezug auf kornverfeinernde ausgleichende Wirkungen sind besonders von der Stahlfabrikation her längst bekannt.

Chrom wird dem Guss meist mit Nickel in Form von Ni-Cr zugesetzt. Das Chrom bewirkt eine intensive Härtesteigerung durch Karbidbildung (Zementit); Ni bewirkt, dass diese Karbide in feinster Form und Gleichmässigkeit gebildet werden.

Eigene Beobachtungen und insbesondere die Forschungen des GHH-Konzerns haben nun einwandfrei ergeben, *dass Kupfer im Gusseisen* im gleichen Sinn wirkt wie Nickel. Durch Cu-Ni-Zusatz ist es gelungen, Automobil-Kurbelwellen sowohl durch Nachbehandlung (Temperguss von Ford) wie im Direktguss aus Gusseisen weit billiger herzustellen als aus Stahl[3]).

Auf Grund eingehender Studien wurde von unserer Firma ein hochwertiges *Kupfer-Nickel-haltiges Spezial-Elektro-Roheisen* entwickelt. Dieses in seiner Art erstmals hergestellte Roheisen, das nach einem speziellen, durch Patente geschützten Verfahren aus bestem Rohmaterial hergestellt wird, trägt allen den oben erwähnten Erkenntnissen Rechnung. Die qualitativen Vorzüge sind in zahlreichen Fällen, wo dieses Eisen an Stelle des fehlenden ausländischen Qualitätsroheisens verwendet wurde, in Erscheinung getreten.

Aus einem 10 t-Roheisen-Abstich wurden Probestäbe (30 mm Durchmesser VSM) und einige verschiedenartige Maschinenteile nach Modell mit abgegossen, um daraus die physikalischen Eigenschaften des Roheisens zu ermitteln. Von der EMPA wurden daran ausführliche Prüfungen vorgenommen.

Die chemische Analyse zeigte Kohlenstoff 3,06 %, Graphit 1,98 %, gebundener Kohlenstoff 1,08 %, Silizium 1,47 %, Phosphor 0,09 %, Schwefel 0,048 %, Mangan

[1]) Vgl. T. Wyss: Hochwertige Gusseisen. «SBZ», Bd. 112 (1938), S. 243.
[2]) Vgl. T. Wyss: Gegossene Kurbelwellen. «SBZ», Bd. 113 (1939), S. 95.
[3]) Siehe «G. H. H.-Mitteilungen», 1938, Nr. 2.

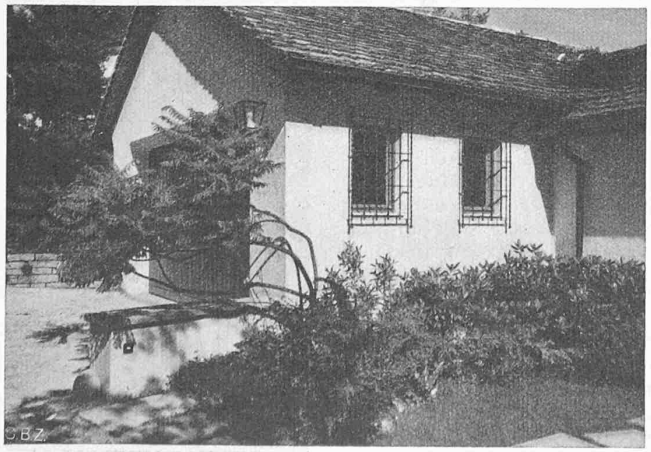

Abb. 4.

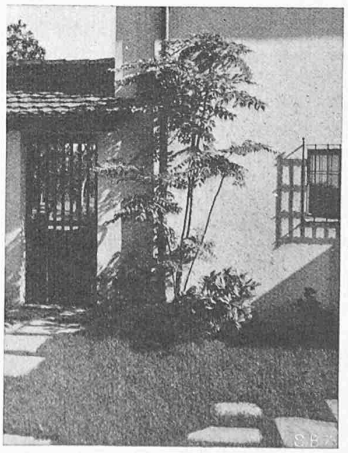

Abb. 5

Garage, anschliessend das Gartentörlein zum Nebeneingang

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, sodass 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; anderseits 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 Speichermaterial 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	1983 kg/m³	0,204 kcal/kg °C	405 kcal/m³ °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 sicher[2]).

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.

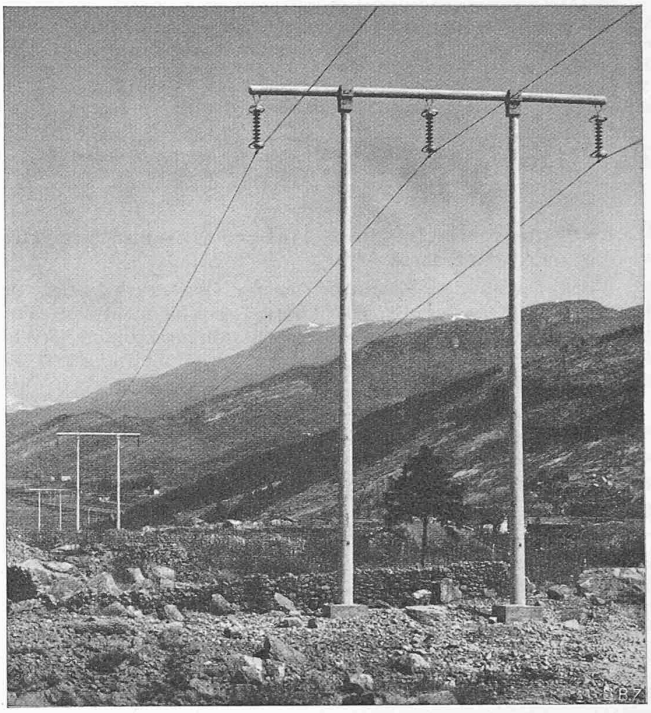

Abb. 1. Portal-Masten aus Schleuderröhren für 150 kV-Leitung

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)

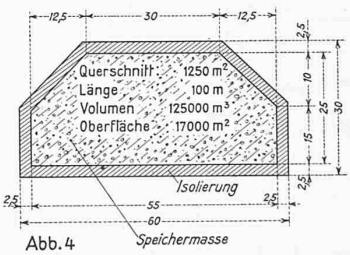

Abb. 4

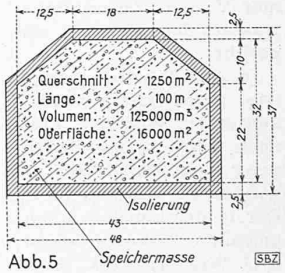

Abb. 5

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 Kehrichtverbrennungsanstalt 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.