

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 32 (1941)
Heft: 6

Artikel: Weiterer Vorschlag für Winterheizung durch Sommerwärme
Autor: Gasser, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057616>

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: 25.12.2024

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

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

ADMINISTRATION:
Zurich, Stauffacherquai 36 ♦ Téléphone 5 17 42
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXXII^e Année

N^o 6

Vendredi, 28 Mars 1941

Weiterer Vorschlag für Winterheizung durch Sommerwärme.

Von A. Gasser, Winterthur.

621.364.3 : 620.91

Im Bulletin SEV 1940, Nr. 15, veröffentlichen wir einen Vorschlag von P. Seehaus, Schwanden, nach dem im Sommer grosse Heisswasserspeicher elektrisch aufgeheizt werden sollen, um die in Form von Wärme gespeicherte Energie im Winter zu Heizwecken zu verwenden.

Im Bulletin SEV 1940, Nr. 24, stellte A. Spoerli, Baden, diesem Vorschlag einen andern entgegen, der mit einem Bruchteil von Kapitalaufwand, energiewirtschaftlich genommen, zu einem vergleichbaren Resultat führt, dadurch, dass im Sommer der industrielle Bedarf an Dampf und Warmwasser unter Verwendung elektrischer Energie erzeugt wird, wodurch die gesparte Kohle für den Hausbrand und andere Brennstoffanwendungen im Winter frei wird.

Im folgenden geben wir nun einer weiteren Einsendung Raum.

Dieser Vorschlag sieht ebenfalls grosse Warmwasserspeicher vor, die jedoch, um die Konstruktion leicht zu machen, in Seen getaucht sind. Auch diese Warmwasserspeicher werden im Sommer aufgeheizt, und zwar, im Gegensatz zum Vorschlag Seehaus, unter Ausnützung der Sommerwärme des Seewassers, mit Wärmepumpe. Bei zweckmässiger Anwendung der Thermokompression und Wahl der Temperaturen kann dabei 1 kWh 4500 kcal erzeugen, also 1 kg Kohle ersetzen. Im Winter steht dieses Wasser, das im Sommer bis höchstens 60° aufgeheizt ist, für die Raumheizung von Wohnstätten zur Verfügung, wobei an ganz kalten Tagen durch direkte elektrische Heizung das Wasser auf die nötige hohe Vorlauftemperatur gebracht wird. Die durchgeführte Rechnung ergibt, dass eine Wohnung von 2 t Kohlenbedarf entsprechend 8 Millionen kcal mit diesem System einem Sommerenergieaufwand von 3360 kWh benötigt, eingerechnet 30 % Wärmeverluste und die tägliche Lieferung von 50 Liter Gebrauchswasser von 80°.

Der Autor macht den Vorschlag, die Heizung einer Reihe von Verwaltungsgebäuden in Zürich nach diesem System zu speisen. Dabei könnten jährlich 3000 t Kohle durch 4 Millionen kWh ersetzt werden. Bei einem Kohlenpreis von 120 Fr. pro t und einem Sommerenergiepreis von 2 Rp./kWh und unter der Annahme, dass die Verzinsung, Amortisation und der Betrieb 6...10 % des Anlagekapitals ausmachen, bleiben nach der Rechnung noch jährlich 70 000 Fr. übrig für Verzinsung und Amortisation der für die Rohrleitungen zwischen der Wärmezentrale und den Hausanschlüssen gemachten Aufwendungen.

Schliesslich wird auf die Möglichkeit hingewiesen, ein Laufkraftwerk als Heizkraftwerk nach diesem System auszubauen. Zugrunde gelegt wird dabei das Kraftwerk Rheinau, das in stände wäre, 30 000 Wohnungen so zu heizen und mit Warmwasser zu versorgen und damit 70 000 t Kohle zu sparen. Bezogen auf die Wärmeabgabe ab Zentrale wäre die Anlage wirtschaftlich bis hinunter zu einem Kohlenpreis von 60 Fr./t. Schätzt man für die Anlagekosten der Verteilung ab Zentrale bis zu den Hausanschlüssen 2000 Fr. pro Wohnung und nimmt man dafür eine 6%ige Verzinsung und Amortisation in Aussicht, so wäre der Paritätspreis bedeutend höher. Immerhin wird bei einem Kohlenpreis von 120 Fr./t noch ein jährlicher Ueberschuss von 2,7 Millionen Fr. errechnet als Reserve für die Zeiten niedriger Kohlenpreise.

Nous avons publié, dans le Bulletin ASE 1940, No. 15, une suggestion de M. P. Seehaus, Schwanden, qui préconise l'emploi de grands chauffe-eau électriques, dans lesquels la chaleur serait accumulée durant l'été et restituée en hiver pour le chauffage.

Dans le Bulletin ASE 1940, No. 24, M. A. Spoerli, Baden, a proposé d'atteindre un résultat semblable, mais avec une moins grande immobilisation de capitaux, en utilisant en été les excédents d'énergie électrique pour le chauffage industriel (vapeur et eau chaude), le charbon ainsi économisé pouvant alors être disponible en hiver pour le chauffage des appartements ou autres usages.

Dans l'étude qui suit, M. Gasser suggère également l'emploi de grands chauffe-eau électriques, qui devraient toutefois être immergés dans nos lacs, afin de réaliser une construction plus commode. Ces réservoirs d'eau chaude seraient chauffés en été à l'aide de thermo-pompes. En choisissant convenablement la compression thermique et les températures, 1 kWh pourrait fournir 4500 kcal, ce qui équivaut à l'économie de 1 kg de charbon. L'eau chauffée à 60° C au maximum serait alors disponible en hiver pour le chauffage des appartements. Par les très grands froids, cette eau pourrait être amenée à une température plus élevée par un chauffage électrique d'appoint. Les calculs montrent qu'un appartement consommant 2 t de charbon pour son chauffage, soient 8 millions de kcal, exige selon ce système 3360 kWh d'énergie électrique estivale, compte tenu de 30 % de pertes thermiques et de la fourniture journalière de 50 litres d'eau chaude à 80° C pour les usages domestiques.

L'auteur propose de chauffer de cette façon une série d'immeubles administratifs de Zurich. Ce chauffage permettrait de remplacer chaque année 3000 t de charbon par 4 millions de kWh. Le prix du charbon étant de fr. 120.— par tonne, celui de l'énergie électrique d'été de 2 cts par kWh et en tenant compte de 6 à 10 % du capital engagé pour les intérêts, les amortissements et le service, il resterait encore fr. 70 000.— par an pour les intérêts et les amortissements des capitaux engagés dans les canalisations entre la centrale thermique et les prises d'immeubles.

Enfin, l'auteur préconise de réserver une usine hydro-électrique au fil de l'eau pour la fourniture de l'énergie destinée à ce chauffage. Il propose dans ce but l'usine de Rheinau, qui serait capable de chauffer de la sorte 30 000 appartements et de leur fournir l'eau chaude nécessaire, ce qui permettrait d'économiser 70 000 t de charbon. En ne tenant compte que de la centrale thermique proprement dite, cette installation serait encore économique jusqu'à un prix de charbon de fr. 60.— par tonne. En considérant également les frais des installations de distribution entre la centrale et les prises d'immeubles, qui atteindraient fr. 2000.— par appartement, et une somme de 6 % consacrée aux intérêts et amortissements, le prix de parité serait naturellement beaucoup plus élevé. Néanmoins, pour un prix de charbon de fr. 120.— par tonne, il resterait un excédent annuel de 2,7 millions de francs, à titre de réserve pour les époques où le charbon serait meilleur marché.

1. Einleitung.

Der Wunsch, einen Teil des zu Hundstagszeiten gelegentlich lästig werdenden Ueberflusses an Sommerwärme irgendwie einzukellern, um sie im Winter zu Heizzwecken zu verwenden, ist leider, trotz seines vielleicht prähistorischen Alters, bis anhin unerfüllt geblieben.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie es mittels eines Einsatzes von 1 Milliarde kWh elektrischer Energie möglich wäre, in grossen Warmwasserspeichern auf den Winter hin soviel Sommerwärme warmzuhalten, dass man damit 300 000 Haushaltungen für die Winterheizung je 8 Millionen kcal und täglich 50 Liter Gebrauchswasser von 80° zur Verfügung stellen könnte.

2. Das Prinzip.

Zu diesem günstigen Resultat gelangen wir durch Ausnützung zweier Vorteile, welche die grossen Wasserbecken unserer Seen bieten. Der erste besteht darin, dass die Seen uns im Sommer mit ihrem 16...20° warmen Oberflächenwasser eine praktisch unerschöpfliche Menge von Wärmeenergie gratis zur Verfügung stellen. Zur Ausnützung dieser Wärme habe ich in technischen Kreisen wiederholt ange-regt und vorgeschlagen, unsere hochwertige elektrische Energie zu Heizzwecken nicht mittels Heizwiderständen direkt in Wärme umzuwandeln, sondern sie dazu zu verwenden, um mit Hilfe der thermodynamischen Wärmepumpe dem Seewasser die Wärme zu entziehen und sie auf das Umwälzwasser der Zentralheizung überzuführen, wie dies nun seit einiger Zeit im Zürcher Rathaus geschieht¹⁾ und nächstens auch beim Zürcher Hallenschwimmbad praktiziert werden wird.

3. Die Schwierigkeiten und ein Vorschlag zu ihrer Ueberwindung.

Zur Anwendung dieses Prinzips müsste es gelingen, die Sommerenergie eines Flusskraftwerkes ohne wesentliche Verluste und zu grosse Kosten für den Winterverbrauch aufzuspeichern. In dieser Hinsicht hat der im Bulletin SEV 1940, Nr. 5, von Paul Seehaus in Mitlödi gemachte Vorschlag zum Bau von grossen, gut isolierten Warmwasserspeichern Beachtung gefunden. Aber leider sind die Baukosten eines solchen Speichers gemäss den von Seehaus gemachten Angaben so gross, dass trotz eines Energiepreises von nur 0,7 Rp./kWh der Heizwert von einem kg Kohle ab Speicher auf das Doppelte des Vorkriegspreises zu stehen kommt. Freilich erniedrigen sich, wie Seehaus ausführt, die Isolationskosten bei Speichern mit ganz grossem Fassungsvermögen bedeutend, aber dafür erfordern alsdann die Wandungen infolge des sich ergebenden hohen statischen Wasserdruckes einen derart grossen Materialaufwand, dass eine Wirtschaftlichkeit trotzdem ausgeschlossen erscheint.

Wir schlagen nun vor, zu versuchen, diese Schwierigkeit dadurch zu überwinden, dass man das Wasserbecken unserer Seen nicht nur als

Wärmequelle, sondern auch noch quasi als Warmwasserspeicher benützt, indem man den Warmwasserbehälter in das Seewasser stellt. Dadurch werden nämlich seine Wandungen vom einseitigen Innendruck entlastet und es brauchen keine so kostspieligen Massnahmen mehr für die Festigkeit der Speicherwandungen getroffen zu werden; es ist nur für eine genügende Wärmeisolation zu sorgen. So ist es dann eher möglich, mit wirtschaftlich tragbarem Kostenaufwand Wasserspeicher von derjenigen Grössenordnung zu erstellen, die zur Speicherung der ganzen Sommerenergie von Flusskraftwerken erforderlich ist. Hievon ist später die Rede.

4. Der Betrieb der Zentrale.

a) im Sommer (Aufheizung).

Das Zusammenarbeiten zwischen Wärmepumpe und dem im Seewasser befindlichen Wasserspeicher erfolgt in der Weise, dass man mittels einer ersten Zirkulationspumpe das relativ warme Oberflächenwasser des Sees in genügend grossen Mengen durch den Kühlerkasten der Wärmepumpe führt, von wo es, um einige Grade abgekühlt, in die freie Seetiefe abfliesst. Gleichzeitig fördert eine zweite Zirkulationspumpe das Speicherwasser vom untern Speicherteil in den Erhitzerkasten der Wärmepumpe, wo es um einige Zehntelgrade erwärmt wird und dann in passender Höhe in den Speicher zurückkehrt. Auf diese Weise wird das Speicherwasser den ganzen Sommer hindurch ununterbrochen erwärmt. Mit dem Drosselventil der Wärmepumpe kann man die Temperatur im Erhitzer bequem so regulieren, dass der Speicher im Herbst vor Beginn der Heizperiode gemäss dem bekannten Winterbedarf mit Wasser von 30°...60° gefüllt ist. Da die Wärmepumpe das Wasser nicht höher als 60° erwärmen soll, muss das wärmere Wasser mittels Heizwiderständen von 60° aufwärts erhitzt werden, wobei dann allerdings pro kWh nur 860 kcal erhältlich sind, statt 4500 mit der Wärmepumpe. Zum Glück sind aber im Unterland die ganz kalten Tage, für die Wasser von 70° und mehr gebraucht wird, recht selten, so dass die für diesen Zweck nötige Winterenergie nur einige Prozente der Sommerenergie beträgt.

b) im Winter (Heizbetrieb).

Weil uns im Warmwasserspeicher Wasser von allen Temperaturstufen zwischen 60° und 30° in genügenden Mengen zur Verfügung stehen, ist es gegeben, die Anpassung der Heizleistung an die herrschende Aussentemperatur t_a durch Variation der Vorlauftemperatur t_v derart vorzunehmen, dass die Temperatur der zu beheizenden Räume den ganzen Winter hindurch möglichst konstant bleibt. Um die verschiedenen Temperaturstufen im Wasserspeicher bequem erreichen zu können, wird man im Speicher in passenden Abständen übereinander Absaugrohre endigen lassen, die gestatten, das Speisewasser mittels eines horizontalen über die ganze Fläche sich erstreckenden Düsensystems mög-

¹⁾ Bull. SEV 1938, Nr. 11, S. 261.

licht wirbelfrei abzusaugen; da die gleichen Rohre auch beim Aufheizen verwendet werden und der Speicher im See vor jeder Erschütterung bewahrt bleibt, wird sich im Speicher das Wasser in horizontalen, einige m mächtigen Schichten lagern, zwischen denen nur etwa je 1°...2° Temperatur-Differenz besteht. Eingebaute Thermoelemente gestatten die Kontrolle dieser Temperaturen an der Schalttafel der Zentrale und durch Öffnen des passenden Schiebers liefert der Speicher automatisch Wasser von der nötigen Temperatur in das Verteilungsnetz.

5. Bedarf an Warmwasser und Energie.

a) für die Heizung.

Um den Energiebedarf der Zentrale berechnen zu können, muss man wissen, wie viele m³ Warmwasser von den verschiedenen durch die Aussentemperatur bedingten Temperaturstufen im Laufe der Heizperiode gebraucht werden und um wie viel Grade sich diese Wassermengen bei der Zirkulation in den Radiatoren abkühlen, wenn die Innentemperatur konstant auf 20° gehalten werden soll.

Zu diesem Ziel führen folgende Ueberlegungen:

1. Wenn die Vorlauftemperatur t_v und die Rücklauftemperatur t_r ist, so ist die mittlere Radiator-temperatur t_m durch die Gleichung

$$t_m = \frac{t_v + t_r}{2} \quad (1)$$

bestimmt.

2. Bedeutet q_α die Wärmemenge in kcal, welche die Radiatoren stündlich an die Innenräume abgeben, wenn ihre mittlere Temperatur t_m um 1° oberhalb der Innentemperatur von 20° steht, so beträgt ihre stündliche Abgabe bei einer mittleren Radiator-temperatur t_m

$$q_\alpha \cdot (t_m - 20) \text{ kcal.}$$

3. Bedeutet anderseits q_β die entsprechende Wärmemenge für den Wärmeverlust pro Stunde nach aussen, wenn zwischen aussen und innen 1° Temperatur-Differenz herrscht, so beträgt der stündliche Verlust bei der Aussentemperatur t_a offenbar

$$q_\beta \cdot (20 - t_a) \text{ kcal.}$$

4. Soll die Innentemperatur konstant auf 20° bleiben, müssen die Radiatoren stündlich gerade so viel Wärme an den Innenraum abgeben, als verloren gehen. Das gibt die Gleichung:

$$q_\alpha \cdot (t_m - 20) = q_\beta \cdot (20 - t_a) \quad (2)$$

5. Fliessen stündlich v Liter Heizwasser durch die Radiatoren und kühlen sich dabei von t_v auf t_r ab, so haben sie den Radiatoren $v \cdot (t_v - t_r)$ kcal abgegeben, woraus die Gleichung folgt:

$$q_\alpha \cdot (t_m - 20) = v \cdot (t_v - t_r) \quad (3)$$

In diesen drei Gleichungen sind q_α und q_β ihrer Natur nach konstante Grössen und da wir mit

einem konstanten Wasserstrom heizen und die Anpassung an die Aussentemperatur t_a einzig durch entsprechende Variation der Vorlauftemperatur erreichen wollen, ist auch v konstant.

Aus diesen Gleichungen lassen sich folgende zwei Gleichungen ableiten:

$$t_v = \frac{20 - t_a}{20} (t_{v0} - 20) + 20 \quad (4)$$

$$t_v - t_r = \frac{t_{v0} - t_{r0}}{20} (20 - t_a) \quad (5)$$

Darin bedeuten t_{v0} und t_{r0} Vorlauf- und Rücklauf-temperatur der Heizung, wenn die Aussentemperatur 0° ist.

Diese Beziehungen wenden wir an auf eine Heizung, welche eine Wohnung mit einem jährlichen Wärmebedarf von 8 Millionen kcal auf einer konstanten Innentemperatur von 20° halten soll und dies bei einer Aussentemperatur von 0° mit einer Vorlauftemperatur $t_{v0} = 55°$ und einer Rücklauf-temperatur $t_{r0} = 38°$ erreicht.

Diese Werte in (4) und (5) eingesetzt, erhält man

$$t_v = 55 - 1,75 t_a \quad (4a)$$

$$t_v - t_r = 0,85 (20 - t_a) \quad (5a)$$

Diese Annahme ist so gehalten, dass sie auf den grösseren Teil der an das Fernheizungsnetz anzuschliessenden Wohnungen mit Schwergewichtsheizungen zutreffen wird.

Die Resultate der Rechnung sind für die Aussentemperaturen zwischen -10° und +12° in der folgenden Tabelle I zusammengestellt. In der mit H überschriebenen Kolonne ist angegeben, wie häufig im Jahr die bezüglichen Aussentemperaturen vorkommen; diese Zahlen sind der Häufigkeitskurve von Gebr. Sulzer in Winterthur, gültig für den Platz Zürich, entnommen.

Den Heizungsbetrieb denken wir uns praktisch so durchgeführt, dass man das Heizwasser nach dem ersten Umlauf im Speicher aufbewahrt, es später bei passender Aussentemperatur zum zweitenmal zirkulieren lässt und schliesslich noch für den Nachtbetrieb verwendet. So wird es möglich sein, die Wärme des Heizwassers bis auf eine Temperatur von 25° auszunützen.

Aus der Tabelle ist zum Beispiel ersichtlich, dass die Positionen 1...4 beim zweiten Durchlauf je 9 Tagesleistungen der Positionen 9 und 10 übernehmen können, so dass dort nur noch je 21 Tagesleistungen zu speichern sind. Die Positionen 5...8 können beim zweiten Durchlauf die Positionen 11 und 12 reichlich decken, während dann die übrigen Positionen nach dem ersten Durchlauf nur noch für den Nachtbetrieb zu verwenden sind.

In der folgenden Kolonne der Tabelle ist der effektive Warmwasserbedarf für die verschiedenen Temperaturstufen angegeben, wo W den Tagesbedarf bedeutet. Da, wie ausgeführt, alles Heizwasser bis auf 25° ausgenützt wird, erhält man die von jeder Position abgegebenen Kalorien, indem man ihre Wassermenge mit $(t_v - 25) \cdot 10^3$ multipliziert,

Wasser-, Wärme- und Energie-Bedarf für eine Wohnung von $8 \cdot 10^6$ kcal Wärmebedarf, 20° Raumtemperatur.

Tabelle I.

Position	t_a °C	t_v °C	t_r	H Tage	Wassermenge pro Tag		Wärmemenge pro Tag 10^3 kcal (= Mcal)	Wasser- menge m^3	Temp.-Inter- vall für die Wärmepumpe	kWh/ m^3	Total nötige Energie kWh
					theoret. m^3	effektiv m^3					
1	-10	72,5	47,0	1	1	1	47,5	2	25/60	9,086	18,2
2	-8	69	45,2	3	3	3	132	6	25/60	9,086	54,5
3	-6	65,5	43,4	5	5	5	202,5	10	25/60	9,086	90,9
4	-4	62	41,6	9	9	9	333	18	25/60	9,086	163,6
5	-2	58,5	39,8	14	14	14	469	28	25/58,5	8,510	233,3
6	0	55	38,0	18	18	18	540	36	25/55	7,216	260,0
7	2	51,5	36,2	27	27	27	715,5	54	25/51,5	6,022	315,2
8	4	48	34,4	33	33	33	759	66	25/48	4,957	330
9	6	44,5	32,6	30	30	21	409,5	42	25/44,5	3,993	168
10	8	41	30,8	30	30	21	336,0	42	25/41	3,109	126
11	10	37,5	29,0	27	27	0	0	0	25/37,5	2,294	0
12	12	34	26,2	28	28	0	0	0			0
				225		103	3994	304			1765

Mittlere Temperatur $\frac{8000}{304} + 25 = 51,0^\circ$ $1765 \text{ kWh} = 8 \cdot 10^6 \text{ kcal}$
 $1 \text{ kWh} = 4525 \text{ kcal}$

Nach Voraussetzung muss die Summe der von allen Positionen abgegebenen Kalorien 8 Millionen betragen.

Es folgt somit die Gleichung:

$$3944 \cdot W \cdot 10^3 = 8 \cdot 10^6$$

woraus sich für W rund 2 m^3 ergibt.

Damit kann für jede Position die nötige Wassermenge berechnet werden. Die Resultate sind in der folgenden Kolonne enthalten. Die gesamte zu speichernde Wassermenge beläuft sich somit auf 304 m^3 pro Wohnung.

Die Aufgabe der Wärmepumpe besteht nun darin, das auf 25° abgekühlte Speicherwasser im Laufe des nächsten Sommers wieder auf die nötige Vorlauftemperatur zu erwärmen. Aus einer uns von Escher-Wyss, Zürich, zur Verfügung gestellten Kurve über die spezifische Heizleistung einer Wärmepumpe bei einer konstanten Verdampfungstemperatur von $7,5^\circ$ haben wir die zur Erwärmung von 1 m^3 Wasser von 25° auf die Temperatur von t_v nötigen kWh berechnet und die gefundenen Werte in der Tabelle angegeben. Durch Multiplikation mit der Zahl der m^3 erhält man die für jede Position nötigen kWh und durch Summation die Gesamtenergie. Sie beträgt laut Tabelle 1765 kWh.

Mit Heizwiderständen müssen zudem noch erwärmt werden:

2 m^3	von 60°	auf $72,5^\circ$
6 »	»	» 69°
10 »	»	» $65,5^\circ$
18 »	»	» 62°

im ganzen 170 m^3 um $1^\circ = 170\,000 \text{ kcal}$,

was noch $\frac{170\,000}{860} = 200 \text{ kWh}$ erfordert,

so dass sich der gesamte Nettoenergiebedarf für die Heizung dieser «Normal»-Wohnung auf $1765 + 200 = 1965 \text{ kWh}$ oder rund 2000 kWh stellt.

Die Voraussetzung einer konstanten Temperatur von $7,5^\circ$ im Verdampfer der Wärmepumpe ist

berechtigt, weil während der Sommermonate für den Kühler vom See beliebig viel Oberflächenwasser von wenigstens 16° zur Verfügung steht. Im Winter aber kann man einen Teil des Rücklaufwassers vor der Rückkehr in den Speicher in den Kühler führen und es dort auf $10...8^\circ$ abkühlen, so dass die Pumpe einen grossen Teil des Jahres effektiv ökonomischer arbeiten wird als bei unserer Rechnung vorausgesetzt wurde. Das auf $10...8^\circ$ abgekühlte Wasser kehrt in den untersten Teil des Speichers zurück und wird zur Zeit, da das Oberflächenwasser des Sees seine höchste Temperatur erreicht hat, durch $20...22^\circ$ warmes Seewasser, oder wenn das für die Heizkörper schädlich sein sollte, durch vom Seewasser erwärmtes, entkalktes Brunnenwasser ersetzt.

Demnach darf der oben berechnete Nettoenergiebedarf von 2000 kWh für die Versorgung einer «Normal»-Wohnung mit 8 Millionen kcal Anspruch auf den zu Orientierungszwecken erforderlichen Grad von Zuverlässigkeit erheben.

b) Die Warmwasserversorgung.

Natürlich wird man die Zentrale auch für die Lieferung von warmem Gebrauchswasser an die Haushaltungen einrichten. Das kann auf einfache Weise durch Einbau eines Schlangenrohres und eines kleineren Speichers in den grossen geschehen, wo das Gebrauchswasser auf 60° vorerwärmt wird, um dann in der Zentrale mittels Elektrokessel auf die Gebrauchstemperatur von 80° gebracht zu werden. Durch eine Wasseruhr würde die konsumierte Wassermenge bei jedem Abonnenten gemessen und pro m^3 bezahlt. Im folgenden rechnen wir mit einem mittleren Verbrauch von täglich 50 Liter Wasser von 80° . Es müssen dann durch den grossen Speicher jährlich $50 \cdot 365 \text{ l}$ Gebrauchswasser von 10° auf 60° erwärmt werden, was $50 \cdot 365 \cdot 50 \text{ kcal}$ erfordert. Da das Speicherwasser wie aus der Tabelle ersichtlich ist, für 4525 kcal je eine kWh Energie braucht, so gibt es

$$\frac{50 \cdot 50 \cdot 365}{4525} = 200 \text{ kWh.}$$

Ferner müssen 50·365 l Gebrauchswasser durch den Elektrokessel von 60° auf 80° erhitzt werden, wozu

$$\frac{20 \cdot 50 \cdot 365}{860} = 420 \text{ kWh}$$

nötig sind. Addiert man diese 620 kWh (200 + 420 = 620), die für die Warmwasserversorgung aufgewendet werden müssen, zu den 1965 kWh für das Heizwasser, so kommt man auf einen jährlichen Nettogesamtverbrauch von 2585 kWh. Fügt man noch 30 % für Verluste und Pumpenbetrieb hinzu, ergibt sich ein Bruttokonsum von total 3360 kWh im Jahr für eine solche «Normal»-Wohnung.

Nach den zur Verfügung stehenden Angaben²⁾ könnte man durch den Ausbau aller bauwürdigen Wasserkraftwerke in der Schweiz jährlich etwa 20 Milliarden kWh erzeugen, wovon 7 Milliarden heute schon ausgenutzt sind. Würde man von den restlichen 13 Milliarden einen Zehntel für die Raumheizung verwenden, so könnten damit 400 000 Wohnungen in der oben geschilderten Weise mit der nötigen Wärme versorgt werden, womit das praktisch vorhandene Bedürfnis reichlich gedeckt wäre; trotzdem blieben noch über 18 Milliarden kWh für die andern Zwecke übrig.

Man sieht daraus, dass dem Vorschlag zur weitestgehenden Umstellung der Raumheizung vom Kohlen- und Holzbetrieb zum elektrischen Betrieb von der Energieseite her kein absolutes Hindernis entgegensteht. Die Schwierigkeiten liegen vielmehr anderswo, nämlich bei der Erstellung der grossen Wasserspeicher und in den hohen Kosten für die Verteilung des gespeicherten Warmwassers auf die Wohnungs- und Arbeitsräume.

Damit ist aber das Problem der elektrischen Raumheizung auf eine neue Grundlage gerückt. Fehlende Wasserkräfte kann natürlich auch der geschickteste Techniker nicht herbeizubauern, aber wenn er vor die Aufgabe gestellt ist, vorhandene Energien in möglichst vorteilhafter Weise auszunützen, dann ist er in seinem Element. Wir zweifeln deshalb keinen Moment, dass es unserer Technik gelingen wird, die sicher nicht geringen Schwierigkeiten, welche die Erstellung der riesigen Warmwasserspeicher in Wasser bietet, zu überwinden.

Was aber die Verteilung der gespeicherten Wärmeenergie betrifft, wird man damit natürlich nicht weitergehen, als es wirtschaftlich vorteilhaft erscheint und dies wird für recht grosse Siedlungsgebiete in Ufernähe der Fall sein.

6. Speichergösse und Wärmeverluste.

Wie wir dargelegt haben, braucht eine «Normal»-Wohnung jährlich 300 m³ Heizwasser von den in Tabelle I angegebenen Temperaturen. Will man den ganzen Warmwasserbedarf mit Sommerenergie decken, so müssen pro Wohnung 300 m³ gespeichert werden. Da aber die Flusskraftwerke im Winter nicht stillstehen, sondern während der Heizperiode etwa einen Drittel ihrer Jahresenergie liefern, kann man diesen Drittel unter der oben erwähnten Ausnützung des Rücklaufwassers dem Heizwasser durch die Wärmepumpe direkt zuführen, so dass bloss $\frac{2}{3}$ des jährlichen Heizwasserbedarfes gespeichert werden müssen. Ein Speicher von 300 m³ Volumen wird dann nicht nur für eine, sondern für 1 $\frac{1}{2}$ Wohnungen genügen.

²⁾ Bulletin SEV 1940, Nr. 18, S. 526.

300 m³ entsprechen ziemlich genau dem Volumen eines Hohlwürfels von 6,7 m innerer Kantenlänge oder eines Hohlzylinders von 7,5 m \varnothing und Höhe.

Natürlich ist es ausgeschlossen, einen so kleinen Speicher genügend zu isolieren; das ist erst ohne unverhältnismässig hohen Kostenaufwand möglich bei einem Speicher mit etwa 1000mal grösserem Volumen, was dann einem Kubus von 67 m Kantenlänge und dem Bedarf von 1500 Wohnungen entspricht. Wir denken uns diesen Würfel doppelwandig ausgeführt und den Zwischenraum mit einer 25 cm dicken Korkschicht ausgefüllt. Dann ergeben sich folgende Verluste:

Da die mittlere Wassertemperatur des Speichers im Herbst (siehe Tabelle I) 51° beträgt, im Frühjahr aber zwischen 10 und 8° liegt, erhält man unter Annahme einer mittleren Seewassertemperatur von 6° im Jahresmittel zwischen Innen- und Aussenwandung des Speichers eine Temperaturdifferenz von 23...25°. Rechnet man für Kork mit einer Uebergangszahl von 0,04 kcal·m/m²·h·Grad, so gehen bei einer Temperaturdifferenz von 25° und einer 0,25 m starken Isolationsschicht pro m² stündlich 4 kcal verloren. Da die Würfeloberfläche 6·67·67 m² oder rund 27 000 m² beträgt, so hat man mit einem stündlichen Verlust von 108 000 kcal zu rechnen, was jährlich 365·24·1,08·10⁵ kcal = 10⁹ kcal ausmacht. Das ist absolut genommen ein recht hoher Betrag, aber von der nutzbaren Speicherenergie von 8·10⁹ kcal doch nur etwa 12 % und von der gesamten von der Wärmepumpe gelieferten Energiemenge von 1500·8·10⁶ kcal nicht einmal 8 %. Da wir bei der Berechnung des Bruttoenergiebedarfes einer «Normal»-Wohnung für Verluste einen Zusatz von 30 % gemacht haben, so sind im erhaltenen Resultat von 3335 kWh die Speicher- und Netzverluste wohl in angemessenem Umfang berücksichtigt.

Was nun die Erstellung eines solchen 67-m-Speichers anbetrifft, so liegt vorerst von einer ersten schweizerischen Firma der Zementbranche die Zusage vor, dass sie in der Lage sei, in relativ kurzer Frist einen absolut wasserdichten und see-tüchtigen Behälter, der dank innerer Versteifungen auch allen statischen Beanspruchungen gewachsen wäre, von oben nach unten in den See hinein zu bauen, und zwar zum Preis von 2,5 Millionen Fr. Trotzdem dieser Preis sehr hoch ist und man zvorsichtiglich hoffen kann, dass es unserer Technik bald gelingen werde, eine wesentlich billigere Konstruktion zu finden, haben wir in den nachstehenden Berechnungen diesen hohen Betrag eingesetzt. Der für die Wärmepumpe genommene Preis stützt sich auf Angaben von Escher Wyss in Zürich.

7. Ein Sofort-Programm.

Bekanntlich besitzt die Stadt Zürich auf der linken Limmatseite in Flussnähe einige Verwaltungsgebäude, die alle durch Warmwasserheizungen mit Zirkulationspumpe geheizt werden und sich somit vorzüglich für einen Anschluss an einen Warmwasserspeicher im See eignen würden. Das gleiche gilt

von einigen andern Verwaltungsgebäuden in Seennähe, z. B. die Nationalbank, Kantonbank, das Kongressgebäude, die Rentenanstalt und andere.

Da der Kohlenbedarf der städtischen Gebäude allein schon ca. 1000 Tonnen beträgt und die Kantonbank 430 Tonnen braucht, so liesse sich hier leicht eine Interessentengruppe mit einer Konsumgrösse finden, für die der Bau einer Wärmepumpenanlage mit Speicher lohnend wäre. Als Energielieferant käme das städtische Elektrizitätswerk in Betracht. Es hat im Sommer 1940 37,3 Millionen kWh an Elektrokessel abgegeben und damit die Einfuhr von 6200 Tonnen Kohle erspart. Da sollte es ihm auch möglich sein, an eine Warmwasserzentrale während 4000 Sommerstunden eine Leistung von 1000 kW abzugeben, um mit dieser 9mal kleineren Energiemenge 3000 Tonnen Kohlen für den Hausbrand einzusparen, besonders wenn es sich dabei auch um die Heizung der eigenen Verwaltungsgebäude handelt.

Natürlich kommt für diese Gebäude keine Warmwasserversorgung in Betracht, so dass man bloss mit einem Nettoenergieaufwand von 2000 kWh pro «Normal»-Wohnung, d. h. pro 2 Tonnen Kohlenverbrauch (s. Tabelle I) rechnen muss, was für einen angenehmen Konsum von 3000 Tonnen netto 3 Millionen kWh oder mit 33 % Zuschlag 4 Millionen brutto ausmacht; das entspricht den oben erwähnten 1000 kWh während 4000 Sommerstunden.

Während dieser 4000 Stunden muss die Wärmepumpe total $1500 \cdot 8 \cdot 16^6$ kcal liefern; sie muss somit für eine Leistung von 3 Millionen kcal/h berechnet sein.

Was die zu speichernde Warmwassermenge anbetrifft, so braucht es, wie wir darlegten, für eine Wohnung mit 2 Tonnen Kohlenbedarf 300 m^3 , für 3000 Tonnen also $1500 \cdot 300 = 450\,000 \text{ m}^3$. Als Speicher ist somit ein Kubus von 77 m innerer Kantenlänge zu wählen.

Da die Wärmepumpe im Winter wegen Energiemangel nicht funktionieren kann und das Rücklaufwasser deshalb nicht unter 25° abgekühlt wird, ergibt sich zwischen Innen- und Aussenwand des Speichers im Jahresmittel eine Temperaturdifferenz von 31° , woraus ein Wärmeverlust von 13 % der Gesamtenergie resultiert.

Ueber die *Anlagekosten* der Zentrale lässt sich überschlagsweise folgendes sagen:

Die Wärmepumpe mit der Leistung von 3 Millionen kcal/h wird gegen 500 000 Fr. kosten. Rechnet man weitere 100 000 Fr. für das Bauliche, kommt die Anlage auf 600 000 Fr. zu stehen.

Der Speicher mit den Verbindungsrohren zur Zentrale usw. kostet, wie erwähnt, 2,5 Millionen Fr.

Rechnet man für Verzinsung, Amortisation und Betrieb bei der Wärmepumpe mit 10 und beim Speicher mit 6 % der Anlagekosten, ergibt das eine *Betriebsbelastung* von Fr. 210 000.—

Dazu kommen noch die *Energiekosten*. Setzt man dafür 2 Rp./kWh ein, so entsteht eine weitere Ausgabe von Fr. 80 000.—, womit die *gesamte Betriebsbelastung* auf Fr. 290 000.— ansteigt.

Was die *Einnahmen* betrifft, darf man annehmen, dass die Verwaltungen der angeschlossenen Gebäude bereit sein werden, pro Tonne eingesparter Kohle den jeweiligen Markt-

preis zu bezahlen. Rechnet man für die nächsten zehn Jahre mit einem mittleren Kokspreis von 120 Fr./t, so resultiert eine mittlere Jahreseinnahme von Fr. 360 000.—. Es stehen somit noch Fr. 70 000 für Verzinsung und Amortisation der für die Rohrleitungen zwischen der Zentrale und den Hausanschlüssen gemachten Aufwendungen zur Verfügung.

Wir müssen uns mit diesen lapidaren Hinweisen begnügen in der Meinung, dass es Sache der interessierten Kreise sei, unsern Vorschlag zu prüfen und ein detailliertes Projekt auszuarbeiten.

8. Das Heiz-Wasserkraftwerk.

Für die schweizerischen Elektrizitätswerke ist das Entstehen solcher Warmwasserzentralen in unseren Seen insofern von einiger Bedeutung, als sie damit Konsumenten erhalten, die jederzeit in der Lage sind, grössere oder kleinere Quantitäten überschüssiger elektrischer Energie zu einem relativ günstigen Preis aufzunehmen. Das wird den Flusskraftwerken gestatten, die bis anhin wegen Absatzmangel im Sommer nicht ausgenützte Wasserkraft von etlichen hundert Millionen kWh für die Winterheizung aufzuspeichern und damit dem Land die Einfuhr von einigen hunderttausend Tonnen Kohle zu ersparen.

Im weiteren dürften solche Zentralen den Energieexport auf eine neue Basis stellen. Denn wenn man in der Lage ist, aus jeder kWh im Lande selber den praktischen Heizwert von 1 kg Kohle zu gewinnen, wäre es ein schlechtes Geschäft, unsere weisse Kohle zum Preis von 1..2 Rp./kWh ins Ausland zu verkaufen, um dann mit diesem Erlös vom Ausland die schwarze Kohle zum Preis von 12 Rp. und mehr pro kg einhandeln zu können.

Bei voller Würdigung des Wertes solcher gegenseitiger Ergänzungsdienste kann aber darüber kein Zweifel bestehen, dass im übrigen die Energie der heutigen Elektrizitätswerke für eine umfassende elektrische Raumheizung auf der oben skizzierten Basis nicht in Anspruch genommen werden darf. Dafür müssen neue Werke gebaut werden.

Um an einem konkreten Beispiel zu zeigen, was man mit einem solchen Heiz-Wasserkraftwerk erreichen könnte, nehmen wir an, das Rheinauer Kraftwerk³⁾, dessen Bau mehrfach zurückgestellt wurde, werde in nächster Zeit als Heiz-Wasserkraftwerk zur Energielieferung an eine Warmwasserzentrale am Zürichsee ausgeführt. Da die Schweiz am Rheinauer Werk auf eine Leistung von 15 000 kW mit einem jährlichen Energieanteil von 100 Millionen kWh Anspruch hat und pro «Normal»-Wohnung für Heizung und Warmwasser gemäss unserer Rechnung 3360 kWh nötig sind, so könnte man mit dem Schweizer Anteil 30 000 Wohnungen versorgen. Die Wärmepumpenanlage müsste dafür jährlich $30\,000 \cdot 8 \cdot 10^6$ kcal leisten. Da sie das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht arbeiten könnte, ähnlich wie die Turbinen und Generatoren des Kraftwerkes, so kann man mit 6000 Betriebsstunden rechnen und kommt so auf eine Leistung von 40 Millionen kcal/h. Aus dem Leistungsplan des Rhei-

³⁾ Bull. SEV 1932, Nr. 14, S. 341.

nauer Projektes geht hervor, dass zwei Drittel der Jahresenergie im Sommer und ein Drittel im Winter produziert werden. Da unter diesen Umständen ein 67-m-Warmwasserspeicher für 1500 «Normal»-Wohnungen ausreicht, so sind für 30 000 Wohnungen 20 solcher Speicher nötig. An Hand dieser Daten ergeben sich schätzungsweise folgende Anlagekosten:

1. Die Baukosten des Rheinauer Werkes in der angegebenen Ausbaugrösse wurden im Jahre 1929, also zu einer Zeit mit hohen Preisen, auf 20 Millionen Fr. veranschlagt, wovon die Hälfte auf den Schweizeranteil entfällt.

2. Die Wärmepumpe kommt auf 6½ Millionen Fr. zu stehen, wenn man auf den Preis der dieses Jahr gelieferten Hallenschwimmbad-Maschine abstellt.

3. Für die Hochspannungsleitung vom Werk zur Zentrale, und die bauseitigen Aufwendungen sind wohl weitere 1,5 Millionen Franken nötig.

4. Die 20 Wasserspeicher sollten nicht mehr als 40 Millionen Fr. kosten, da bei einer solchen Serienfabrikation wohl verschiedene Einsparungen gemacht werden könnten.

Rechnet man wie üblich für Verzinsung, Amortisation und Betriebskosten bei den ersten 3 Positionen mit 10 %, und bei der 4., wegen geringer Abnutzung, mit 6 %, so kommt man auf jährliche Betriebsausgaben von 4,2 Millionen Fr.

Da die kalorische Nettoleistung der Zentrale für die Heizung einer Wohnung dem Nettoheizwert von 2000 kg Kohle und diejenige für das Warmwasser dem Heizwert von 320 kg Kohle entspricht, so ist die Wärmeleistung der ganzen Zentrale dem Nettoheizwert von 30 000 · 320 kg Kohlen äquivalent, das sind rund 70 Millionen kg Kohlen. Teilt man die 4,2 Millionen Fr. Betriebsausgaben durch die 70 Millionen, so kommt man auf einen Kohlenpreis von 6 Rp./kg ab Zentrale.

Leider war es mir bis dahin nicht möglich, an Hand eines generellen Projektes für ein bestimmtes Siedlungsgebiet einigermaßen zuverlässige Angaben über die Erstellungskosten eines Warmwasserverteilungsnetzes zu erhalten. Stellt man sich aber von vornherein auf den Standpunkt, dieses Netz nur so weit auszudehnen, dass die Kosten pro Wohnung im Mittel den Betrag von 2000 Fr. nicht übersteigen, so kommt man auf eine Ausgabe von 60 Millionen Franken, was bei 6 % Verzinsung und Amortisation eine jährliche Belastung der Betriebsrechnung mit 3,6 Millionen Franken ergibt, womit sich die jährlichen Gesamtausgaben auf 7,8 Millionen Fr. stellen.

Rechnet man bei den Einnahmen mit den Preisen des Jahres 1940, also für die Tonne Kohle Fr. 120.—, für den m³ Gebrauchswasser von 80° Fr. 5.— und für den Wegfall der Bedienung, Reinigung und des Unterhaltes des privaten

Kohlenheizkessels pro Wohnung Fr. 20.—, so betragen die Einnahmen pro Wohnung Fr. 350.—, was für 30 000 Wohnungen 10,5 Millionen Fr. ausmacht. Verwendet man den jährlichen Ueberschuss von 2,7 Millionen Fr. als Reserve für die Zeiten niedrigerer Kohlenpreise, so kann das Heiz-Wasserkraftwerk die bei ihm angeschlossenen Wohnungen auf längere Zeit hinaus billiger mit Wärme versorgen, als dies den andern Haushaltungen möglich ist. Damit hat aber das Heiz-Wasserkraftwerk seine Aufgabe gelöst und die in ihm und seinen Annexen angelegten 118 Millionen Fr. sind als wirtschaftlich gesunde Kapitalinvestition zu bewerten.

Es wäre deshalb angebracht, dass die Aemter für Arbeitsbeschaffung in Bund und Kantonen einen Teil ihrer Aufmerksamkeit auch diesen Heizkraftwerken zuwenden würden.

Denn durch den Bau dieser Werke und den zugehörigen Annexen könnte man unserer Maschinenindustrie und dem Baugewerbe innerhalb der nächsten zehn Jahre in zweckmässig bemessenen Dosierungen auf natürliche Weise für viele hundert Millionen Fr. zusätzliche lohnende Arbeit verschaffen, ohne dass die öffentlichen Mittel dafür stark in Anspruch genommen werden müssten.

Die behördliche Unterstützung wäre bloss für die Durchführung der nötigen Vorstudien und für die Ueberwindung der ersten Schwierigkeiten im Speicherbau erforderlich.

Eine Umstellung der zu beschäftigenden Betriebe auf neue Artikel wäre nicht nötig und die Arbeiter könnten an der gewohnten Arbeitsstelle bei angemessenen Löhnen in gewohnter Weise ihre hochqualifizierte Arbeit leisten.

Denkt man ferner daran, dass durch die Heiz-Wasserkraftwerke unsere Wirtschaft eine wesentliche Entlastung in bezug auf den Kohlenimport und dadurch eine Verbesserung der Handels- und Zahlungsbilanz gegen 100 Millionen Fr. erfahren würde, so wird man auch aus allgemein volkswirtschaftlichen Erwägungen heraus die Forderung nach planmässigem, möglichst raschem Bau solcher Heizanlagen unterstützen müssen.

Endlich ist auch darauf hinzuweisen, dass solche Heiz-Wasserkraftwerke nicht nur für die Schweiz, sondern auch für das Ausland bedeutungsvoll sind, man denke nur an die vielen Küstengebiete, wo man die Sommerwärme des Meerwassers ausnützen kann. Wie wertvoll wäre es da für unsere Industrie, wenn sie auf diesem neuen Wirkungsgebiet die Führung übernehmen könnte und, gestützt auf die in der Schweiz gemachten Erfahrungen, den andern Ländern und Konkurrenten längere Zeit um die berühmte Nasenlänge voran wäre.

Aus all diesen Gründen sollten die zuständigen Fachkreise prüfen, ob und in welchem Umfang sich die vorstehenden Anregungen verwirklichen lassen, und sich gegebenenfalls dafür einsetzen, dass mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln rasch eine möglichst vorteilhafte Lösung des Speicherproblems gesucht wird.