

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 113/114 (1939)
Heft: 16

Artikel: Brennstoffeinfuhr, Elektrizitätserzeugung und Heizwärmebedarf der Schweiz
Autor: Hottinger, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-50474>

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: 18.03.2025

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

INHALT: Brennstoffeinfuhr, Elektrizitätserzeugung und Heizwärmebedarf der Schweiz. — Berechnung der Wandstärke von Senkbrunnen. — Solothurnische Durchgangsstation für Heilerziehung in Biberist. — Ein praktischer Polarisator. — Neue Strassen im Kanton Aargau. — Internationale Tagung für Physik 1939. — Mitteilungen: Zusammenhänge zwischen Heizdauer und Aussentemperatur. Versuche über den Druckabfall in Lüftungsgittern. Gasbehälter. Ausstellungszug der Uetlibergbahn.

Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz. «Société Alsacienne de Constructions Mécaniques». Eiserne Zweigelenkrahmenbrücken. Das Kunstgewerbemuseum Zürich. Eidgen. Techn. Hochschule. Internationaler Kongress für Glas. — Wettbewerbe: Fabrikneubau der Tuchfabrik Solothurn A.G. in Langendorf. Sekundarschulhaus-Erweiterung Rapperswil. — Nekrologe: Emil Hunziker. Emil Haefely. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 113

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. 16

Brennstoffeinfuhr, Elektrizitätserzeugung und Heizwärmebedarf der Schweiz

Von M. HOTTINGER, beratendem Ingenieur und Dozent an der E.T.H. Zürich

I. Allgemeines

Die Frage, ob es möglich wäre, den Heizwärmebedarf der Schweiz in weit höherem Masse, als dies z. Zt. der Fall ist, auf elektrischem Wege zu decken, wird häufig gestellt. Neuerdings ist auch die altbekannte Wärmepumpe wieder in den Vordergrund des Interesses getreten, weil es damit möglich ist, pro kWh grössere Wärmemengen als nur 860 kcal, wie bei unmittelbarer Umsetzung von Strom in Wärme, nutzbar zu machen¹⁾. Auch im Ausland wird heute, unter Verwendung von Wärmespeichern, vielfach elektrische Energie zu Raumheizzwecken benutzt, sogar in Ländern, wo sie auf kalorischem und nicht wie bei uns auf hydraulischem Wege erzeugt wird. Die Gründe sind: Bessere Ausnutzung der vorhandenen Maschinen und elektrischen Einrichtungen, vermehrte Sauberkeit und Bequemlichkeit in den Gebäuden, verminderte Baukosten, Raumersparnis usw. In der Schweiz ist das Gebiet der elektrischen Heizung ganz besonders in den Jahren der grossen Brennstoffknappheit und -Teuerung am Ende des Weltkrieges und in den darauffolgenden Jahren bearbeitet worden²⁾. Es sind damals eine Menge von Anlagen entstanden, die bei normalen Brennstoffpreisen kaum erstellt worden wären und die heute z. T. wieder verschwunden sind. Dafür kamen allerdings seither andere dazu, vor allem eine grosse Zahl von Fussbankheizungen in protestantischen Kirchen und von Speicheranlagen, weil diese mit Nacht-, Sonntags- und Abfallenergie betrieben werden können. Der Wunsch, in dieser Beziehung noch wesentlich weiter zu gehen, ist vorhanden, aber nur in beschränktem Masse erfüllbar, vor allem weil gerade im Winter, wenn der Heizwärmebedarf am grössten ist, die Wasserkraft am kleinsten sind. Günstiger liegen die Verhältnisse in den Uebergangszeiten; auch ist es leicht möglich und den Elektrizitätswerken erwünscht, den gelegentlichen Sommer-Heizwärmebedarf hochgelegener Orte auf elektrischem Wege zu decken. Es ist bekannt, dass man daselbst im Winter, wenn die Sammelheizungen im Betrieb stehen, nicht friert, wohl aber häufig im Sommer, wenn die Aussentemperatur vorübergehend sinkt und man sich der Mühe, die Heizungen in Betrieb zu setzen, nicht unterziehen will. Bei vollselbsttätigen Oelfeuerungen liegen die Verhältnisse in dieser Beziehung günstiger, und noch einfacher ist elektrische Heizung zu bedienen. Auf Grund dieser Ueberlegungen und in Hinsicht auf den besonders grossen Ueberschuss an elektrischer Energie in den Sommermonaten ist es durchaus zu begrüssen, dass z. B. im Kanton Graubünden die vermehrte Einführung elektrischer Raumheizung z. Zt. eingehend geprüft wird, und aus diesen Gründen erscheint es auch am Platz, an dieser Stelle Brennstoffeinfuhr, Elektrizitätserzeugung und Heizwärmebedarf der Schweiz einander einmal gegenüberzustellen.

¹⁾ Vgl. z. B. Hottinger M., Die Wärmepumpe, «Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung», 6 (1939) H. 1, S. 1/10.

²⁾ Vgl. Imhof A. und Hottinger M., Elektrische Raumheizung. Zürich 1924, Fachschriftenverlag und Buchdruckerei A. G.

II. Einfuhr fester und flüssiger Brennstoffe in die Schweiz und ihre ungefähre Verteilung auf die vier Hauptabnehmer

In Zahlentafel 1 ist die Einfuhr fester und flüssiger Brennstoffe in die Schweiz nach der Zollstatistik für die Jahre 1934 bis 1938 zusammengestellt. Davon fallen die drei letzten Positionen, d. h. Benzin, Benzol, Mineral- und Teeröl für motorische Zwecke, sowie Petrol, für die nachfolgenden Untersuchungen ausser Betracht, sie sind nur der Vollständigkeit halber mit aufgeführt.

Zahlentafel 2. Ungefährer durchschnittlicher Verbrauch an festen Brennstoffen durch die vier grossen Verbrauchergruppen in den Jahren 1931 bis 1936

Hausbrand und Kleingewerbe	1 250 000 t
Industrie und Grossgewerbe	1 100 000 t
Gaswerke	620 000 t
Transportanstalten	230 000 t

Weiter gibt Zahlentafel 2 Aufschluss über den ungefähren durchschnittlichen Verbrauch an festen Brennstoffen durch die vier grossen Verbrauchergruppen in den Jahren 1931 bis 1936. Sie ist dem Handbuch der Schweizerischen Wirtschaft 1938 entnommen³⁾. Aus naheliegenden Gründen können die Zahlen keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit machen. Ueberdies ist der Bedarf der einzelnen Gruppen ziemlichen Schwankungen unterworfen; bei den Transportanstalten nimmt er infolge der fortschreitenden Elektrifikation ab und beträgt heute nur noch rd. 170 000 t, während umgekehrt die Gaswerke steigenden Bedarf aufweisen. Der Verfasser des betreffenden Aufsatzes bemerkt hierzu: «Trotzdem die Gaserzeugung seit 1933 nahezu stabil geblieben ist, haben die Produktion und der Absatz von Gaskoks ständig zugenommen, was darauf zurückzuführen ist, dass die Koksfabrikation, wenigstens bei den grossen modernisierten Anlagen, seit längerer Zeit aus dem Rahmen der blossen Nebenproduktengewinnung herausgetreten und mehr oder weniger Selbstzweck geworden ist, verbunden mit einer bedeutenden Qualitätsverbesserung, die allerdings auch eine Angleichung der Verkaufspreise an jene des eingeführten Zechenkokes zur Folge hatte.»

Greift man zur Charakterisierung der hier in Frage kommenden Brennstoffmengen und ihres Wertes aus Zahlentafel 1 die ersten sechs Positionen heraus, so ergibt sich, dass in den drei Jahren vor der Frankenabwertung im Durchschnitt 3,3 Mio t Brennstoff im Wert von rd. 94,4 Mio Fr. und in den zwei Jahren nach der Frankenabwertung durchschnittlich 3,6 Mio t im Werte von rd. 144,7 Mio Fr. eingeführt worden sind.

³⁾ Lindenmayer H., Die Kohlenversorgung der Schweiz in den Jahren 1933 bis 1937. «Handbuch der Schweizerischen Wirtschaft» 1938, S. 38/44. Teilveröffentlichung des Archivs für Internationale Wirtschaftskunde.

Zahlentafel 1. Einfuhr fester und flüssiger Brennstoffe in den Jahren 1934 bis 1938

Nummer der Zollstatistik und Bezeichnung des Brennstoffs	1934		1935		1936		1937		1938	
	t	Fr.								
643 a) Steinkohle	1 900 296	50 776 282	1 797 248	42 329 803	1 851 934	45 412 172	2 099 220	71 712 718	1 915 560	67 237 444
643 b) Petrolrückst.	163 108	12 241 391	168 616	11 692 131	172 400	11 582 716	163 058	17 037 263	171 123	16 567 196
644 Braunkohle	382	13 193	484	15 826	480	18 164	367	14 464	186	4 646
645 Koks	811 602	20 127 862	742 829	23 347 944	849 162	22 517 713	947 614	40 313 816	886 801	39 784 623
646 a) Brikets aus Steinkohle	150 169	4 699 141	160 818	4 759 029	181 114	5 366 478	170 088	6 487 469	278 554	10 781 848
646 b) Brikets aus Braunkohle u. a.	324 560	9 971 442	317 668	9 194 880	295 278	9 320 721	269 021	10 013 267	255 607	9 505 926
1065 b) Benzin u. Benzol zu motor. Zwecken	218 547	23 150 299	206 693	20 830 545	193 813	20 166 368	194 246	30 110 559	200 530	25 871 306
1126 Petrol	25 147	2 402 961	24 192	2 088 138	20 011	1 692 888	18 539	2 435 510	18 616	2 244 078
1128 a) Mineral- und Teeröl für Motoren	8 533	647 466	15 348	1 081 081	7 666	521 461	10 719	1 149 905	15 806	1 502 094

III. Die für Raumheizung aufgewendeten Brennstoffmengen

a) *Kohle.* Um die Frage, wie gross die für Raumheizung erforderlichen Brennstoffmengen sind, so gut als möglich zu klären, ist folgendes zu berücksichtigen: Die auf die Verbrauchergruppe Hausbrand und Kleingewerbe entfallenden Brennstoffmengen dürften ohne Zweifel für mindestens 80 % der Raumheizung dienen, da der Bedarf für Waschwärme, Kohlenherde und technische Feuerungen verhältnismässig gering ist. Auch von den an die Industrie und das Grossgewerbe gelieferten 1,1 Mio t wird ein beträchtlicher Teil zum Heizen der Fabriken, Bureaux usw. verbraucht. Nachstehend rechne ich schätzungsweise mit 50 %. Die von den Gasanstalten bezogenen 0,62 Mio t werden von den Werken selber nur zu etwa 1/3 verbraucht, im übrigen in Form von Koks, Gas, Teer, Teeröl usw., zum grössten Teil ebenfalls für Raumheizzwecke, an die Haushaltungen, öffentlichen Gebäude und die Industrie geliefert. Wie schon bemerkt, hat die Koksherstellung unserer Gaswerke stark zugenommen. Der Gaskoksanteil am Hausbrandgeschäft war im Jahr 1920 147 000 t, im Jahr 1935 353 000 t und dürfte heute rd. 400 000 t betragen. Schliesslich sind in Zahlentafel 2 noch die Transportanstalten (SBB und private) mit 230 000 t vertreten, die in dem Masse, als damit Bahnhöfe, Bureaux, Werkstätten, Remisen usw. geheizt werden, ebenfalls zur Raumheizung dienen. Ich setze hierfür schätzungsweise 50 000 t ein, wodurch sich die in Zahlentafel 3 zusammengestellten, auf Raumheizung allein entfallenden Mengen ergeben.

Zahlentafel 3.

Ungefähre, auf Raumheizung entfallende Kohlenmengen

Hausbrand und Kleingewerbe	1,00 Mio t
Industrie und Grossgewerbe	0,55 Mio t
Von den Gasanstalten für Heizzwecke geliefert	0,40 Mio t
Transportanstalten	0,05 Mio t
Insgesamt	2,00 Mio t

b) *Heizöl.* Der Heizölverbrauch für Raumheizung lässt sich ebenfalls nur schätzungsweise angeben, da sich die in Zahlentafel 1 unter «Petrolrückstände» (Position 643 b der Zollstatistik) aufgeführte Heizöleinfuhr ausser auf Raumheizung auch auf industrielle Dampferzeugung und industrielle Oefen bezieht. In Fachkreisen schätzt man, dass im Jahre 1931 in der Schweiz rd. 1200 vollselbsttätige Oelbrenner im Betrieb gestanden haben, deren Zahl sich bis zum Jahre 1933 auf rd. 5800, bis zum Jahre 1935 auf rd. 7700 erhöht hat und heute ungefähr 9000 betragen dürfte. Weiter wird geschätzt, dass diese jährlich etwa 90 000 t Oel verbrauchen (zum grössten Teil Heizöl II und IIa mit einer Viscosität von 1,6 und 2° Engler bei 20°, während der Verbrauch an Heizöl I, sog. Gasöl, auf etwa 30 % gesunken ist und Heizöl III vorläufig mehr nur für industrielle Feuerungen in Frage kommt). Diese 90 000 t Oel entsprechen unter Berücksichtigung der Heizwerte und Wirkungsgrade der Feuerungen rd. 0,16 Mio t Kohle.

c) *Brennholz.* Ueber die in der Schweiz zu Feuerungs- und im besondern zu Raumheizzwecken verwendeten Brennholzmengen verdanke ich der Forstwirtschaftlichen Zentralstelle der Schweiz in Solothurn, die in dieser Hinsicht die massgebendste Auskunftstelle sein dürfte, folgende Angaben:

Das Jahresmittel (1930 bis 1937) der schweizerischen Brennholzerzeugung beträgt 1 641 430 m³ (Festmeter). Davon gehen als Papier- und anderes Chemieholz rd. 165 000 m³ ab, sodass für Feuerungszwecke 1 476 430 m³ übrig bleiben. Dazu kommen etwa 650 000 m³ Abfälle aus der Verarbeitung von einheimischem Nutzholz (Pack- und Abbruchmaterial usw.), ferner schätzungsweise 90 000 m³ Brennholz aus Obstgärten, sodass mit einer gesamten inländischen Brennholzerzeugung von rd. 2 200 000 m³ zu rechnen ist.

Das sich ebenfalls auf die Jahre 1930 bis 1937 beziehende Jahresmittel der Brennholzeinfuhr, einschliesslich der Abfälle aus eingeführtem Rohnutzholz, wird auf 250 000 m³ bewertet, sodass mit einem gesamten durchschnittlichen Brennholzverbrauch zu Feuerungszwecken von etwa 2 450 000 m³ (= rd. 3,5 Mio Ster) zu rechnen ist. Diese verteilen sich zu etwa 40 % (= rd. 1,0 Mio m³) auf Laubholz und 60 % (= rd. 1,45 Mio m³) auf Nadelholz.

Der untere Heizwert des Holzes hängt in hohem Masse von seinem Feuchtigkeitsgehalt ab. Während er für wasserfreies Holz 4400 kcal/kg beträgt, vermindert er sich für frisch geschlagenes mit 50 bis 60 % Wassergehalt bis auf 1900 bis 1400 kcal/kg. Die Forstwirtschaftliche Zentralstelle ist auf Grund ihrer Erfahrungen der Ansicht, dass das im praktischen Gebrauch verwendete «gut lufttrockene» Holz einen Wassergehalt

von durchschnittlich 16 % und damit einen Heizwert von 3600 kcal/kg, sowie ein Gewicht von 700 kg pro m³ Laubholz (vorwiegend Buche) und 450 kg pro m³ Nadelholz aufweist. Unter Zugrundelegung dieser Zahlen ergibt sich ein Gesamtgewicht an jährlich in der Schweiz verfeuerten Brennholz von 1,35 Mio t mit einem Wärmewert von rd. 4900 Mia kcal. Setzt man den unteren Heizwert der in die Schweiz eingeführten Kohlen zu 7500 kcal/kg an, so entspricht somit die verfeuerte Holzmenge einem Kohlegewicht von 0,65 Mio t.

Ein wie grosser Anteil dieser Menge auf das Konto Raumheizung entfällt, lässt sich nur schätzen. Die Forstwirtschaftliche Zentralstelle schreibt hierzu: «Die bei uns gebräuchlichen Holzfeuerungsanlagen, wie Herde, Kachelöfen, offene Feuer, dienen zu einem grossen Teil gleichzeitig der Raumheizung und dem Kochen; eine strenge Auseinanderhaltung von Heizen und Kochen ist schon aus diesem Grunde nicht möglich. Ferner sind noch die industriellen und gewerblichen Feuerungen in Abzug zu bringen. Erhebungen über die Verwendung von Brennholz nach den genannten Zwecken sind unseres Wissens noch nirgends gemacht worden. Rein gutachtlich glauben wir aber behaupten zu dürfen, dass zum Kochen etwa 20 % und für industrielle und gewerbliche Feuerungen etwa 10 % gebraucht werden, sodass zum Heizen rd. 70 % verbleiben. Demnach würden rd. 1,7 Mio m³ Brennholz zu Raumheizzwecken verwendet werden.» In gleicher Weise wie oben umgerechnet entsprechen diese rd. 0,45 Mio t Kohle.

d) *Elektrische Energie.* Ausser zum Antrieb von Elektromotoren, zu Beleuchtungs-, Koch- und Warmwasserbereitungs-, sowie Schmelz-, Dampferzeugungs- und andern Zwecken in der Industrie, wird elektrische Energie in der Schweiz heute schon auch zur Raumheizung verwendet. Es sei nur an die grosse Zahl elektrischer Kirchenheizungen, Steck- und Speicheröfen, Strahler und anderer elektrischer Heizrichtungen in Ladenlokalen, Bureaux, Werkstätten, Wohn- und Treibhäusern, Grossweinkellereien usw. erinnert, die z. T. als ausschliessliche, z. T. als Gelegenheitsheizungen neben Zentralheizung betrieben werden. Als Beispiel dafür, wie verhältnismässig klein die für Raumheizung abgegebenen Energiemengen trotzdem, sogar an Orten, wo die elektrische Raumheizung eine verhältnismässig wichtige Rolle spielt, immer noch sind, diene Zahlentafel 4 über die von den Elektrizitätswerken Davos im Winter 1928/29 und in den letzten fünf Jahren für Raumheizung abgegebenen Energiemengen. Dass der Verbrauch seit 1928/29 abgenommen hat,

Zahlentafel 4. Energielieferung der Elektrizitätswerke Davos für Raumheizzwecke

Jahr	Gelieferte Energiemengen für		
	gelegentliche Aushilfsheizung kWh	ausschliessliche elektrische Raumheizung kWh	insgesamt kWh
1928/29	616 687	1 107 526	1 724 213
1933/34	415 094	500 152	915 246
1934/35	344 585	413 838	758 423
1935/36	330 879	417 558	748 437
1936/37	365 894	445 338	811 232
1937/38	380 573	504 027	884 600

wird auf das ständige Zurückgehen der Brennstoffpreise von 1928 bis 1936 und das Streben der Abnehmer nach Einsparungen zurückgeführt. Grossabnehmer von elektrischer Energie für Raumheizung sind jedoch eine Anzahl von Krankenanstalten, wobei es allerdings nicht möglich ist, genau auseinanderzuhalten, wie viel von der verbrauchten Energie der Warmwasserbereitung dient. Ich nenne beispielsweise: Inselhospital Bern⁴⁾, Frauenspital Bern, Krankenanstalt Aarau⁵⁾, Kantonsspital Olten⁶⁾ und Kantonsspital Lausanne⁷⁾. Diese fünf Bezüger und einige ans Elektrizitätswerk der Stadt Aarau angeschlossene Elektroheizungen in Schulhäusern und Fabriken weisen zusammen einen Anschlusswert von über 25 000 kW und einen durchschnittlichen jährlichen Energieverbrauch von über 50 Mio kWh auf. Sie bezahlen z. T. etwas über, z. T. etwas unter 1 Rp./kWh. Er-

⁴⁾ Moser P., Ueber die Elektrodampfkesselanlage und den Wärmebedarf des Inselhospitals in Bern, «Schweiz. Techn. Zeitschrift» (1936), H. 28 und 29 und Baumann E., Die Verwendung elektrischer Energie zu Warmwasserzwecken im Inselhospital in Bern, «Elektrizitäts-Verwertung» 11 (1936), S. 169/173.

⁵⁾ Gauchat Ch. L., Die Verwertung elektrischer Ueberschussenergie zur Fernheizung eines Krankenhauses, «Elektrizitäts-Verwertung» 11 (1936), S. 186/198.

⁶⁾ Hottinger M., Die neue Elektro-Heisswasserheizung im Kantonsspital Olten, «Schweiz. Techn. Zeitschrift» (1934), H. 19, S. 281/289.

⁷⁾ Meystre P., Le chauffage urbain à Lausanne, «Elektrizitäts-Verwertung» 11 (1936), S. 174/185.

wähnt sei weiter die elektrische Heizung des Zürcher Rathauses und des im Bau begriffenen Zürcher Hallenschwimm-bades unter Verwendung von Wärmepumpen, sowie einer Anzahl weiterer Schulhäuser, Fabriken und Werkstätten, beispielsweise der Reparaturwerkstätte für elektrische Lokomotiven der SBB in Bellinzona⁸⁾ usw. Im Jahr 1938 haben die SBB auch in ihrer Werkstätte in Zürich einen Elektrokessel von 3000 kW in Betrieb genommen und sie beabsichtigen, zur Verwertung der in ihren Kraftwerken bei günstigen Wasserverhältnissen verfügbaren Ueberschussenergie, noch weitere derartige Heizkessel aufzustellen. Betreffend Verbrauch an Brennstoffen und elektrischer Energie für die Beheizung ihrer Gebäude (Werkstätten, Bahnhöfe, Remisen, Bureau usw.) geben die SBB an, dass sie jährlich rd. 18000 t Brennstoffe und 1,2 Mio kWh benötigen. Dass in Zahlentafel 3 für die Transportanstalten trotzdem 50 000 t Brennstoffverbrauch für Raumheizzwecke angenommen worden sind, ist darauf zurückzuführen, dass noch der Verbrauch der Privatbahnen und Dampfschiffgesellschaften dazu kommt. Einen in gewissem Sinne ebenfalls unter die Raumheizung gehörenden Sonderfall stellt die elektrische Heizung der Eisenbahn- und Tramwagen dar. Auch hierbei handelt es sich um erhebliche Energieaufwendungen. Nach Mitteilungen der Generaldirektion der SBB betrug beispielsweise der Verbrauch für die Zugheizung der SBB im Winter 1937/38 49 Mio kWh, wobei folgende Daten beachtlich sind:

Gesamtzahl der Personenwagen der SBB	3540
Davon elektrisch geheizt	3523
Mittlere in diesen Wagen installierte Heizleistung	24 kW
Zahl der elektrisch geheizten Gepäckwagen	675
Mittlere in diesen Wagen installierte Heizleistung	3 kW
Energieverbrauch beim gleichzeitigen Heizen aller Wagen	86 600 kW
In Wirklichkeit ist der Höchstbedarf aber nur	31 000 kW
Das sind von der Leistung für die Zugförderung	24 %

Ueber den gesamten Verbrauch elektrischer Energie für Raumheizzwecke in der Schweiz ist es heute noch nicht möglich, zuverlässige Angaben zu erlangen, z. T. weil eine Ausscheidung der hierfür aufgewendeten Energie nicht möglich ist oder bisher wenigstens nicht vorliegt, z. T. auch weil nicht alle Elektrizitätswerke und Energiebezügler geneigt sind, der Öffentlichkeit so weitgehende Einzelheiten bekanntzugeben.

Selbstverständlich ist den Elektrizitätswerken mit der Energieabgabe an Ganzjahresabnehmer, also beispielsweise für Warmwasserbereitung, besser gedient. Das ist der Grund, warum die Warmwasserbereitung auf elektrischem Wege grossen Umfang angenommen hat. Nach den Angaben eines Spezialisten auf diesem Gebiet setzt sich in solchen Fällen der Grundsatz des Wochenspeichers immer mehr durch, und man kommt, wenn 18stündige Betriebszeit und Samstag-Sonntag-Bezug ohne Sperrung durchgeführt wird, dabei auf 7000 jährliche Betriebsstunden der elektrischen Heizeinsätze in den Speichern, wobei sich die Preise in der Regel auf 1,2 bis 1,6 Rp./kWh stellen. Nach H. Rickenbach⁹⁾ sollen im Jahr 1938 allein in der Stadt Genf 203 Elektro-Warmwasserboiler mit über 10 kW, im ganzen mit 4655 kW Anschlusswert für eine tägliche Warmwasserlieferung von über 500 000 l zu 70 bis 80° im Betrieb gestanden haben. Rickenbach kommt zu dem Schluss, dass Elektro-Grossboiler wirtschaftlich sind, wenn die kWh zu unter 2 Rp. erhältlich ist.

IV. Umrechnung der für Raumheizung in die Schweiz eingeführten festen und flüssigen Brennstoffe auf elektrische Energie

Nach den Abschnitten III a bis c werden z. Zt. jährlich ungefähr 2 Mio t Kohle, 0,09 Mio t Heizöl und 70 % von 250 000 m³ Brennholz, die etwa 0,05 Mio t Kohle entsprechen, für Raumheizzwecke eingeführt, was alles zusammen rd. 2,21 Mio t Kohle ergibt. Setzt man den mittleren Heizwert zu 7500 kcal/kg an, so entspricht diesen 2,21 Mio t ein Wärmewert von rd. 16 600 Mia kcal oder bei schätzungsweise 70 % Feuerungswirkungsgrad und 90 % Wirkungsgrad der elektrischen Heizeinrichtungen von rd. 15 Mia kWh an den Verwendungsstellen, bzw. rd. 17 Mia ab Werk.

Dieses Ergebnis sei durch folgende Ueberlegungen nachgeprüft: Die Einwohnerzahl der Schweiz beträgt nach Angabe des Statistischen Amtes z. Zt. schätzungsweise etwa 4,2 Mio. Nach ausländischen Erhebungen hat man pro Kopf mit einem jährlichen Brennstoffverbrauch für Raumheizzwecke von rd.

500 kg zu rechnen. Das ergibt im vorliegenden Fall 2,1 Mio t gegen 2,21 wie oben festgestellt. Rechnet man weiter, dass den 4,2 Mio Einwohnern rd. 1 Mio Haushaltungen entsprechen und pro Haushaltung durchschnittlich 5 Zimmer zu je 2000 kcal/h Höchstwärmebedarf zu heizen seien, so ergibt sich ein Höchstwärmebedarf für die ganze Schweiz von $Q_h = 10$ Mia kcal/h. Daraus berechnet sich auf Grund der Gradtagtheorie der angemessene jährliche Koksverbrauch K der Sammelheizungen nach der Formel

$$\frac{Q_h}{1000} \cdot C \cdot G_t = K \text{ kg}^{10)}$$

Setzt man im Mittel $C = 0,07$ und die Zahl der Gradtage $G_t = 3000$, so ergibt sich die jährlich erforderliche Koks menge zu

$$\frac{10\,000\,000\,000}{1000} \cdot 0,07 \cdot 3000 = 2,1 \text{ Mio t}$$

Das Ergebnis deckt sich also mit dem obigen. Es ist zuzugeben, dass diese Berechnungen ziemlich summarisch gehalten sind; sie beweisen aber doch, dass die errechneten Mengen nicht allzuweit von der Wirklichkeit abliegen können. Auch der vorstehend ermittelte stündliche Höchstwärmebedarf von $Q_h =$ rd. 10 Mia kcal/h für sämtliche Gebäude der Schweiz muss demnach ungefähr stimmen und es ergibt sich damit, bei angenommenen 90 % Wirkungsgrad der elektrischen Heizeinrichtungen, eine erforderliche Spitzenleistung von rd. 13 Mio kW.

Zusammenfassend komme ich also zum Schluss, dass die z. Zt. für Raumheizung eingeführten festen und flüssigen Brennstoffe 2,21 Mio t Kohle und damit einem Wärmewert von 16 600 Mia kcal oder einer Energiemenge von 15 Mia kWh an den Verwendungsstellen, bzw. 17 Mia kWh ab Werk entsprechen und dass zur Deckung des auftretenden Höchstwärmebedarfes, sofern von Wärmespeicherung abgesehen wird, ein Anschlusswert von etwa 13 Mio kW erforderlich wäre. Dabei ist die z. Zt. schon für Raumheizzwecke verwendete Energiemenge nicht berücksichtigt, ebensowenig die aus inländischem Brennholz für Raumheizzwecke gewonnene Wärme.

Nach einer Mitteilung des Schweizer Wasserwirtschaftsverbandes ist es unmöglich, die Energieerzeugungsmöglichkeit und Spitzenleistung aller, d. h. auch der noch unausgebauten Kraftwerke mit Energieabgabe an Dritte, heute schon mit Sicherheit anzugeben, weil z. Zt. erst Erhebungen über die Erzeugungsmöglichkeit der Akkumulierwerke einzelner Flussgebiete (Rhein, Reuss, Limmat und Aare) vorliegen und über die Energieabgabemöglichkeiten der Werke ohne Akkumuliermöglichkeit, die den weitaus grössten Teil bilden, entsprechende Angaben überhaupt noch fehlen. Ueberschlägige Schätzungen lassen aber immerhin vermuten, dass die Liefermöglichkeit sämtlicher voll ausgebauter schweizerischer Wasserkräfte etwa 30 bis 35 Mia kWh bei einer Spitzenleistung von 5 bis 6 Mio kW im Sommer und 2 bis 2,5 Mio kW im Winter betragen dürfte. Auf den ersten Blick scheint es also, als ob einmal zum mindesten ein sehr beträchtlicher Prozentsatz des schweizerischen Heizwärmebedarfes durch die uns zur Verfügung stehende hydraulische Energie gedeckt werden könnte. Wenn auch nicht festliegt, wie der Bedarf für andere Zwecke sich bis dahin steigern wird, ist doch sicher, dass beim Weiterausbau der Werke die Energieerzeugungsmöglichkeit stärker als der Bedarf für motorische, Beleuchtungs-, Koch- und ähnliche Zwecke zunehmen und damit auch der für Raumheizzwecke verfügbare Anteil gegenüber heute wachsen wird. Andererseits ist aber zu beachten, dass nicht nur der Gesamtheizwärmebedarf, sondern auch seine zeitliche Verteilung auf die Monate, Tage und Stunden berücksichtigt werden muss.

V. Die Verteilung des Heizwärmebedarfes auf Monate, Tage und Stunden, sowie die Aussichten der elektrischen Raumheizung nach dem Vollausbau der schweizerischen Wasserkräfte

Die Verteilung des Heizwärmebedarfes eines Gebäudes auf die einzelnen Monate ist abhängig von seiner Art, d. h. davon, ob es sich z. B. um ein Krankenhaus, ein Wohn- oder Bureaugebäude, ein Museum, eine Grossgarage usw. handelt, weil die Heizanforderungen in den verschiedenen Gebäudearten ungleich sind. Ausserdem ist sie aber auch durch den Standort der Häuser bedingt. Die monatliche Verteilung des Heizwärmebedarfes an Orten auf z. B. 1800 m Höhe (Engadin) ist anders als jene im schweizerischen Mittelland und diese wieder anders als jene im Tessin. In Zahlentafel 5 ist die durchschnittliche Verteilung für Gebäude mit 18° Innentemperatur (Wohn-, Geschäftshäuser usw.) für Orte mit 1, 4, 7 und 12° mittlerer Jahrestemperatur angegeben. Die Zahlen sind den vom Verein

⁸⁾ Diese und weitere Anlagen sind in dem unter Fussnote 2 angegebenen Buch beschrieben.

⁹⁾ Rickenbach H., Die Berechnung, Konstruktion und Installation von Elektro-Grossboilern, «Die Installation» (1939), H. 1, S. 9/28.

¹⁰⁾ Vgl. Hottinger M., Klima und Gradtage in ihren Beziehungen zur Heiz- und Lüftungstechnik, S. 65. Berlin 1938, Verlag von J. Springer. — Siehe auch «SBZ» Bd. 107, S. 286.

Zahlentafel 5. Verteilung des Heizwärmebedarfes und erforderliche Energiemengen

Monat	Verteilung des durchschnittlichen Heizwärmebedarfes in der Schweiz auf die einzelnen Monate				Durchschnittliche Zahl der Heiztage	Erforderliche Energiemengen zur Deckung des gesamten durch eingeführte Brennstoffe befriedigten schweiz. Heizwärmebedarfes			
	Mittlere Jahrestemperatur des Ortes					Ganze Schweiz	Erforderliche Energiemenge ab Werk	Durchschnittlicher Energiebedarf pro Tag ab Werk	Geschätzter stündlicher Höchstenergiebedarf ab Werk
	1°	4°	7°	12°					
	%	%	%	%	%	Mia kWh	Mio kWh	Mio kWh	
August . . .	1,0				0,1	7	0,02	2,9	0,4
September . .	5,5	4,5			1,0	30	0,17	5,7	0,7
Oktober . . .	8,5	9,5	9,5	2,0	8,5	31	1,44	46,5	5,8
November . . .	11,0	12,0	13,5	16,5	13,5	30	2,30	76,7	9,6
Dezember . . .	14,5	15,0	17,0	22,5	17,0	31	2,90	93,5	11,7
Januar	15,0	15,5	18,0	24,0	18,0	31	3,06	98,7	12,4
Februar	12,5	13,0	15,0	19,0	15,0	28	2,55	91,2	11,4
März	12,5	13,0	14,0	15,5	14,0	31	2,38	77,0	9,6
April	9,0	9,5	9,5	0,5	8,5	30	1,44	48,0	6,0
Mai	6,5	7,0	3,5		3,9	31	0,66	21,3	2,7
Juni	4,0	1,0			0,5	19	0,08	4,2	0,5

Schweiz. Centralheizungsindustrieller herausgegebenen «Gradtagtabellen für die Schweiz» (Ausgabe 1936, S. 17) entnommen. Die gleichen Angaben sind daselbst für Orte mit andern mittleren Jahrestemperaturen, sowie für Gebäude mit 20, 12 und 5° Innentemperatur zu finden. Wenn ich der Zahlentafel 5 Gebäude mit 18° Innentemperatur zugrunde gelegt habe, so geschah es, weil sich dadurch gute Mittelwerte ergeben, indem diese Gebäude weitaus in der Mehrzahl sind und den höher zu heizenden (z. B. Krankenanstalten) auch tiefer zu heizende gegenüberstehen. Weiter habe ich zur Gewinnung der gewünschten allgemeinen Uebersicht angenommen, dass die Gegenden mit 1, 4 und 12° mittlerer Jahrestemperatur mit schätzungsweise je 10 %, jene mit 7° mittlerer Jahrestemperatur mit 70 % am Heizwärmeverbrauch beteiligt seien. Derart ergab sich die in Zahlentafel 5 für die ganze Schweiz angegebene Durchschnittsverteilung. Sie zeigt, daß z. B. im Januar, der die grössten Heizanforderungen stellt, zur elektrischen Heizung sämtlicher Gebäude 18 % des vorstehend berechneten Jahresbedarfes von 17 Mia, d. h. 3,06 Mia kWh ab Werk erforderlich wären.

Bekanntlich verteilt sich der Heizwärmebedarf nun aber noch sehr ungleich auf die einzelnen Tage eines Monats. Im Durchschnitt wären nach Zahlentafel 5 im Januar pro Tag 98,7 Mio kWh ab Werk erforderlich. An besonders kalten Tagen kann der Bedarf aber leicht auf die doppelte Höhe ansteigen, wobei sich diese Menge zudem noch ungleich auf die einzelnen Tagesstunden verteilt. Der grösste Wärmebedarf besteht am Morgen zum Aufheizen der Gebäude. Setzt man ihn gleich dem 1½fachen des durchschnittlichen Stundenbedarfes an, so stellt er sich nach dem Vorstehenden an einem kalten Januartag auf $\frac{98,7 \cdot 2 \cdot 1,5}{24} = 12,4$ Mio kWh ab Werk. Dieses Ergebnis

weicht nur wenig von der unter Abschnitt IV errechneten erforderlichen Spitzenleistung von 13 Mio kW ab. Ebenfalls nach Abschnitt IV beträgt die geschätzte Spitzenleistung der voll ausgebauten Wasserkraftwerke der Schweiz im Winter aber nur 2 bis 2,5 Mio kW, woraus sich ergibt, dass, selbst wenn die gesamte Energieerzeugung in den Dienst der Raumheizung gestellt werden könnte, sich an solchen besonders kalten Vormittagen nur etwa 1/5 des erforderlichen Heizwärmebedarfes auf elektrischem Wege decken liesse. Man wird einwenden, dass Wärmespeicher zur Deckung der Spitzenanforderungen und Wärmepumpen zur Herabminderung des Energiebedarfes anwendbar seien. Das ist richtig; andererseits ist zu beachten, dass ein grosser Teil der verfügbaren Energie zu andern Zwecken benötigt wird und daher auch bei der Anwendung von Wärmespeichern und Wärmepumpen das Ergebnis in Wirklichkeit kaum günstiger, als wie vorstehend berechnet, ausfallen wird. Diese einfache Ueberlegung zeigt klar, dass die Schweiz immer auf eine grosse Brennstoffeinfuhr aus dem Ausland angewiesen sein wird; es sei denn, dass es gelingt, an Stelle der festen und flüssigen Brennstoffe elektrischen Strom, der unmittelbar bei den Kohlenfeldern erzeugt wird, einzuführen. Im Kleinen ist hiervon schon Gebrauch gemacht worden, indem man durch die selben Drähte, die im Sommer überschüssigen Strom ins Ausland ausführten, im Winter Energie bezog. Ob dieses Prinzip einmal wirtschaftlich ins Grosse übertragbar sein wird, lässt sich heute noch nicht überblicken, jedenfalls müssten dazu noch mancherlei Widerstände überwunden werden.

VI. Die heute bestehende Möglichkeit, elektrisch zu heizen

Während man für die Zukunft auf Mutmassungen angewiesen ist, liegen über die derzeitige Erzeugung und Verwendung elektrischer Energie in der Schweiz Angaben vor, die gestatten, in bezug auf die heutigen Möglichkeiten genauere Schlüsse zu ziehen. Es sei insbesondere auf eine diesbezügliche Veröffentlichung des Eid. Amtes für Elektrowirtschaft im Bulletin des S. E. V. Jahrgang 1939, Nr. 1, für das hydrographische Jahr (1. Oktober bis 30. September) 1937/38 verwiesen¹¹⁾. Die daraus entnommene Energieerzeugung ist in Zahlentafel 6 der nach dem Statistischen Jahrbuch möglichen Höchstproduktion monatweise gegenübergestellt. Die in Kolonne 3 ermittelten Unterschiede wären im Betriebsjahr 1937/38 für Raumheizung verfügbar gewesen. In Kolonne 5 sind sie mit der unter 4 angegebenen Energie-Ausfuhr zusammengezählt in der Ueberlegung, dass schliesslich auch diese Mengen zur Raumheizung hätten aufgewendet werden können. Dadurch ergibt sich, dass für die Heizmonate Oktober bis und mit April die nicht ausgenutzte Energieerzeugungsmöglichkeit 311 Mio kWh, die Ausfuhr 826 Mio kWh betrug, was zusammen 1,14 Mia kWh ab Werk ergibt, die unter Berücksichtigung einer um 12 % kleineren Abgabe an die Verbraucher, ferner eines mittleren Heizwertes der Kohle von 7500 kcal/kg, eines durchschnittlichen Feuerungswirkungsgrades von 70 % und eines angenommenen Wirkungsgrades der elektrischen Heizeinrichtungen von 90 % einer Kohlenmenge von 0,147 Mio t entsprochen haben würden. Aus der letzten Kolonne der Zahlentafel 6 geht schliesslich hervor, dass auf die genannte Weise vom Juni bis September 100 %, im Mai 28,6, im Oktober

¹¹⁾ Vgl. auch «SBZ» S. 174 lfd. Bds.

Zahlentafel 6. Angaben (kWh ab Werk), bezogen auf die schweizerischen Elektrizitätswerke mit Energieabgabe an Dritte im hydrographischen Jahr 1937/38

Monat	1	2	3	4	5	6	7
	Mögliche Energieerzeugung Mio kWh	Wirkliche Energieerzeugung Mio kWh	Unterschied zwischen 1 und 2 Mio kWh	Ausfuhr Mio kWh	Summe von 3 und 4 Mio kWh	siehe unten Mio kWh	siehe unten %
1937							
Okt.	552	474,1	77,9	129,9	207,8	1440	14,4
Nov.	496	461,6	34,4	114,9	149,3	2300	6,5
Dez.	495	474,2	20,8	116,2	137,0	2900	4,7
1938							
Jan.	495	436,8	58,2	109,6	167,8	3060	5,4
Febr.	451	407,3	43,7	109,8	153,5	2550	6,0
März	495	441,9	53,1	121,0	174,1	2380	7,3
April	473	449,9	23,1	124,7	147,8	1440	10,2
Mai	502	443,2	58,8	130,2	189,0	660	28,6
Juni	582	425,8	156,2	137,7	293,9	80	100,0
Juli	605	445,3	159,7	148,9	308,6	—	100,0
Aug.	602	463,2	138,8	154,8	293,6	20	100,0
Sept.	528	462,2	65,8	150,5	216,3	170	100,0

Kolonne 6: Zur Deckung des ganzen schweiz. Heizwärmebedarfes erforderliche Energiemenge ab Werk (nach Zahlentafel 5)

Kolonne 7: Prozentsatz, der durch die in Kolonne 5 angegebenen Mengen gedeckt werden kann

14,4 und in den übrigen Monaten der Heizzeit 4,7 bis 10,2% unseres gesamten schweizerischen Heizwärmebedarfes hätten gedeckt werden können. Für diese verhältnismässig kleinen Energiemengen hätte die verfügbare Spitzenleistung der Werke zweifellos genügt.

Das ist selbstverständlich eine rein technische Ueberlegung. In wirtschaftlicher Beziehung ist es begreiflich, wenn die Elektrizitätswerke die Energie zu bessern Preisen, als wie sie zu Heizzwecken im Inland erzielbar wären, ans Ausland abgeben, umso mehr, als es sich dabei um Ganzjahrabnehmer handelt.

Auf die Preisfrage wird unter Abschnitt VII noch kurz eingetreten. Vorgängig seien an Hand der genannten Veröffentlichung des Eidg. Amtes für Elektrizitätswirtschaft noch folgende hier interessierende Angaben über die derzeitige und in der nächsten Zukunft zu erwartende Energieliefermöglichkeit der schweizerischen Wasserkraftwerke gemacht: Darnach war die Energieerzeugung der Bahn- und Industriewerke, die die erzeugte Energie zur Hauptsache selber verbrauchen, im Betriebsjahr 1937/38 1,648 Mia kWh, die gesamte, in allen Wasserkraftwerken der Schweiz erzeugte Energiemenge 7,01 Mia kWh, während in Jahren mittlerer Wasserführung die technisch mögliche Erzeugung 8,1 Mia kWh (3,6 im Winter- und 4,5 im Sommerhalbjahr) beträgt. Die Werke mit Energieabgabe an Dritte sind beim heutigen Ausbauzustand in der Lage, im Winterhalbjahr 2,87 und im Sommerhalbjahr 3,33 Mia kWh abzugeben. Von diesen insgesamt 6,2 Mia sind im Betriebsjahr 1937/38 5,385 Mia oder 87 % bezogen worden. In einem extrem trockenen Winter (wie 1920/21) kann die Wintererzeugungsmöglichkeit auf 2,4 Mia zurückgehen und in einem besonders nassen Winter auf etwa 3,3 Mia kWh ansteigen. Da bis zum Jahre 1941 kein grösseres Kraftwerk in Betrieb kommen wird, so ist bis dahin, wenn nicht besonders günstige Wasserverhältnisse eintreten, kaum mit einer Zunahme der angegebenen Energieerzeugung zu rechnen. Durch das Hinzukommen der z. Zt. im Bau befindlichen Werke Reckingen (Schweizeranteil 50 %) und Verbois der Stadt Genf, ferner des in Aussicht genommenen Kraftwerkes Innertkirchen wird sich die Liefermöglichkeit im Winterhalbjahr um rd. 0,325 Mia, im Sommerhalbjahr um rd. 0,45 Mia kWh erhöhen.

VII. Preisgestaltung

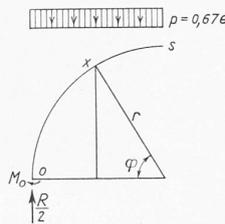
Elektrische Heizung hat, sofern nicht andere Gründe ausschlaggebend sind, nur dann Aussicht auf Anwendung, wenn sich der Heizbetrieb ebenso billig stellt wie bei Verwendung fester oder flüssiger Brennstoffe. Der äquivalente Energiepreis kann dabei je nach den Umständen sehr verschieden ausfallen, wie folgende Ueberlegung zeigt:

Zählt man die sechs ersten Positionen der Zahlentafel 1 in bezug auf das Jahr 1938 zusammen, so ergibt sich, dass in diesem Jahr rd. 3,34 Mio t Kohlen und 0,17 Mio t Heizöl im Betrage von 143,9 Mio Fr. in die Schweiz eingeführt worden sind. Der entsprechende Wärmewert ist rd. 26 740 Mia kcal, die unter Annahme eines Feuerungswirkungsgrades von 70 % und eines Wirkungsgrades der elektrischen Heizeinrichtungen von 90 % 24,2 Mia kWh entsprechen. Die kWh dürfte somit nur rd. 0,6 Rp. kosten. Diese Berechnung ist indessen noch unvollständig, weil sich der Preis der eingeführten Brennstoffe bis zu ihrer Abgabe an die Verbraucher zufolge der Grenzspesen, des Inlandtransportes, der Zwischenlagerung, der Zwischenhändlergewinne usw. noch wesentlich erhöht. Führt man die Rechnung in gleicher Weise, z. B. in Bezug auf Zürich durch, wo im Sommer 1938 100 kg Zürcher Brechkoks 40/60 mm bei Bezügen zwischen 3000 und 10 000 kg Fr. 8.20 und 100 kg Heizöl II ab 1. August bei Bezügen von 8001 bis 12 000 kg Fr. 12.10 kosteten, so ergibt sich, daß die kWh daselbst, bezogen auf Koks, rd. 1,3 Rp., bezogen auf Heizöl, sofern bei Oelfeuerung mit 80 % Wirkungsgrad gerechnet wird, rd. 1,2 Rp. hätten kosten dürfen. Dabei ist indessen immer noch nichts eingeschlossen für die ungleichen Bedienungskosten, die Auslagen für elektrische Energie bei Oelfeuerung, die ungleichen Beträge für Verzinsung und Abschreibung der Anlagekosten der Heizeinrichtungen usw. Ausserdem ist zu beachten, dass die Brennstoffpreise an andern Orten, beispielsweise im Engadin, des längern Inlandtransportes wegen, z. T. noch höher sind als in Zürich. Aus diesen Gründen ist es ausgeschlossen, einen allgemein gültigen Vergleichspreis angeben zu wollen, es bleibt nichts übrig, als derartige Untersuchungen unter Einbezug aller Nebenumstände von Fall zu Fall durchzuführen¹²⁾. Dass dabei oft Lösungen gefunden werden, die sowohl die Elektrizitätswerke als die Energieabnehmer befriedigen, wodurch auch der Volkswirtschaft bestens gedient ist, dürfte aus dem Vorstehenden einwandfrei hervorgegangen sein.

¹²⁾ Vgl. diesbezüglich Hottinger M., Die Heizkosten in Zürich vor und nach der Frankenabwertung, «Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung», H. 3, S. 46 bis 58.

Berechnung der Wandstärke von Senkbrunnen

Die Bestimmung der Wandstärke von Senkbrunnen erfolgt häufig noch nach Faustformeln, die auf eine genauere Berechnung der auftretenden Spannungen verzichten und mehr auf den Erhalt eines reichlichen Brunnengewichtes zur Erleichterung der Absenkung hinzielen. Besonders bei der Verwendung hochwertiger Baustoffe wie etwa Eisenbeton erhält man dabei vielfach unwirtschaftliche Abmessungen. Die Absenkung des Brunnens wird heute, abgesehen von dem schon immer üblichen Anzug der Aussenwand, wirkungsvoller durch zweckmässige Grabgeräte, Pumpen und Spüleinrichtungen, allfällig noch durch zeitweise Auflast erreicht. Für die Bestimmung der Wandstärke ist dann im wesentlichen nur noch die statische Beanspruchung durch den Erddruck massgebend. Die Annahme allseitig gleichmässig (zentralsymmetrisch) wirkenden Erddrucks ist zu günstig; den Grenzfall nach der ungünstigen Seite



hin bildet der axensymmetrische Erddruck. Dieser Fall lässt sich leicht in Erweiterung einer bei Föppl, «Technische Mechanik», Band 3, Seite 216 ff. gegebenen Berechnung untersuchen.

Bezeichnet e den Erddruck in einer bestimmten Tiefe, so ist der Druck p auf ein Ringelement von 1 m Höhe $p = 0,67 e t/m^2$. Damit ergibt sich nach beistehender Abbildung:

$$M_x = M_0 + \frac{R}{2} (r - r \cos \varphi) - \frac{p (r - r \cos \varphi)^2}{2}$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} M_x ds = 0 = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[M_0 + \frac{Rr}{2} (1 - \cos \varphi) - \frac{pr^2}{2} (1 - \cos \varphi)^2 \right] d\varphi$$

$$= -0,18 Rr - \frac{pr^2}{2} \left(\frac{\pi}{2} - 2 + \frac{\pi}{4} \right)$$

Mit $R/2 = pr$ erhalten wir schliesslich $M_0 = -0,18 pr^2$ (1) und das Scheitelmoment zu $M_s = 0,32 pr^2$ (2)

Diese Werte sind halb so gross, als wie sie Föppl am a. O. mittels einer konzentrierten Einzellast errechnet.

Die praktische Bedeutung sei an einem Beispiel erläutert. Es handelt sich um einen vom Verfasser 12 m tief ins Grundwasser abgesenkten Sammelbrunnen von 5 m Durchmesser für eine Wassergewinnungsanlage in den Dünen der Haifa-Bay. Nach der gebräuchlichen Formel von Brinkhaus hätte sich bei der Ausführung in Eisenbeton eine Wandstärke von $w = 8d + 5$ bis 10 cm = 45 bis 50 cm ergeben. Ausgeführt wurde eine Wandstärke von nur 30 cm. Nach unserer Berechnung erhalten wir mit $e_{max} = 6,0 t/m^2$ bzw. $p_{max} = 0,67 \cdot 6,0 = 4,0 t/m^2$

$$M_s = 0,32 \cdot 4,0 \cdot 2,65^2 = 9,0 \text{ mt}$$

$$h = 30 - 3 = 0,285 \sqrt{9000}; \sigma_b/\sigma_e = 70/1500$$

$$f_e = 0,271 \sqrt{\quad} = 25,7 \text{ cm}^2 (8 \Phi 20 = 25,2 \text{ cm}^2)$$

Die Beanspruchungen sind verhältnismässig hoch gewählt, da wir einen Grenzzustand untersuchen, der in Wirklichkeit nie ganz erreicht wird.

Zur Aufnahme des negativen Momentes wird eine Ringbewehrung gleich der Hälfte der positiven angeordnet, da dies für die Ausführung praktisch ist. Das negative Moment ist zwar etwas grösser als die Hälfte des positiven, es tritt jedoch eine Entlastung der Zugeisen durch die Normalkraft $R/2$ auf. Eine Nachprüfung in unserem Falle ergibt:

$$M_0 = -0,18 \cdot 4,0 \cdot 2,65^2 = -5,05 \text{ mt}$$

$$R/2 = 4,0 \cdot 2,65 = 10,6 \text{ t}$$

$$e = \frac{5,05}{10,6} = 0,48 \text{ m}; f_e = 12,6 \text{ cm}^2; f_e' = 25,2 \text{ cm}^2$$

$$x = 8,5 \text{ cm}; \sigma_b = 41 \text{ kg/cm}^2; \sigma_e = 1340 \text{ kg/cm}^2$$

Die Spannungen sind also niedriger als bei positiver Beanspruchung.

Schwierigkeiten bei der Absenkung infolge zu geringen Gewichtes des Brunnens, der in drei Schichten von je 4 m Höhe gegossen und abgesenkt wurde, traten nicht auf, obgleich die Wand nur auf 1,50 m Höhe einen Anzug 1 : 5 erhielt. Allerdings waren ein leistungsfähiger Bagger und eine gute Pumpe, sowie eine Spüleinrichtung vorhanden. Die Absenkgeschwindigkeit schwankte zwischen 30 bis 70 cm pro 8-Stundenschicht, obgleich die örtliche Arbeiterschaft in dieser Arbeit völlig unerfahren war und in rd. 5 m Tiefe eine etwa 4 m starke Meeres-Sandsteinschicht durchfahren werden musste.

Dr. Ing. J. Pietrkowski, Haifa.