

Industrielle Wärmeversorgung und Fernheizung mit und ohne Wärmekraftkupplung

Autor(en): **Ruegg, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **77 (1959)**

Heft 45

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84352>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Seit Mai 1949 ist Max Berchtold in der I. T. E. Circuit Breaker Company in Philadelphia tätig, wo er eine Arbeitsgruppe zur Entwicklung von Einrichtungen aufzubauen hatte, welche das Prinzip der nicht stetigen Strömung verwerten. Das Problem wurde von der Marine gestellt. Es handelte sich zunächst darum, die Gültigkeitsgrenzen der theoretischen Untersuchungen experimentell festzulegen. Dazu wurde eine kleine Maschine gebaut. Die ermutigenden Versuche liessen erkennen, dass das Verfahren am besten zur Leistungssteigerung von Dieselmotoren, hauptsächlich von kleinen Traktionsmotoren, verwendbar ist. Die Einrichtung gleich in verschiedenen Beziehungen einer bei der AG. Brown, Boveri & Cie. unter Direktor C. Seippel entwickelten Maschine und führte zu einem Austausch von Erfahrungen und

Patenten zwischen den beiden Firmen. Die gemeinsamen Anstrengungen, die sehr erfreulich und fruchtbar wurden, ermöglichten Max Berchtold, diese Arbeiten in der Schweiz weiterzuführen. Zugleich brachten sie ihn in enge Berührung mit führenden amerikanischen Firmen für Dieselmotorenbau. Als Chef der Entwicklungsabteilung für Aufladegruppen der genannten amerikanischen Firma wurde er diesen Sommer an die ETH berufen, wo er seine Tätigkeit demnächst aufnehmen wird.

Wir alle gratulieren unserem G. E. P.-Kollegen aufs wärmste zu seiner ehrenvollen Wahl und wünschen ihm recht viele Jahre eines erfolgreichen und glücklichen Wirkens in seiner neuen hervorragenden Stellung.

Dr. Henry Ruegg, Paterson, N. J.

Industrielle Wärmeversorgung und Fernheizung mit und ohne Wärmekraftkupplung

Von Dr. sc. techn. R. Ruegg, Zürich

DK 662.6:697.34

Einleitung

Untersuchungen über die Vorteile, die sich bei gekuppelter Wärme- und Elektrizitätserzeugung ergeben, waren Gegenstand vieler Arbeiten und Veröffentlichungen in der Fachliteratur. Aus ihnen geht einerseits die Wichtigkeit dieses Fragekomplexes in der praktischen Anwendung und andererseits die Vielzahl der möglichen Ausführungsformen hervor. Grundlegend für die Ausführung von Projekten sind in der Regel die heiztechnischen Gegebenheiten, an die sich die Heizkraftzentrale anzupassen hat. Es sollen daher im folgenden den Betrachtungen über Wärmekraftkupplung einige Erörterungen mehr heiztechnischer Natur vorausgeschickt werden.

Wärmeträger

Als Wärmeträger werden flüssige, dampf- und gelegentlich auch gasförmige Stoffe verwendet. Am wichtigsten sind Wasser und Wasserdampf, wobei Wasser nicht nur für Fernheizungen, sondern auch für industrielle Wärmeversorgungsanlagen immer mehr an Bedeutung gewinnt. Nachstehend seien einige typische Anwendungsbeispiele einander gegenübergestellt, bei denen Wasser als Wärmeträger verwendet wird (Tabelle 1).

Fall A: Warmwasser (50/40° C)

Für neuere Gebäude wird die Strahlungsheizung (Fussboden-, Wandflächen- oder meist Deckenstrahlungsheizung) häufig angewendet. Die obere Grenze der Behaglichkeit in einem strahlungsbeheizten Wohnraum liegt bei einer Temperatur der Strahlungsheizfläche von etwa 40° C. Je nach Ausführungsart der Heizung wird man höchste Vorlauftemperaturen von rd. 50° C anwenden. Die Verwendung so niedriger Vorlauftemperaturen ergibt die Möglichkeit, die Wärmepumpe wirtschaftlich einzusetzen, oder Abwärme niedriger Nutzungstemperaturen noch wirtschaftlich verwenden zu können.

Fall B: Warmwasser (90/70° C)

Die allgemein bekannte Radiatorenheizung mit einer höchsten Vorlauftemperatur von 90° C und einer Rücklauftemperatur von 70° C ist eine der häufigsten Heizungsarten. Die kleine Temperaturdifferenz wurde gewählt, um die Radiatorenheizfläche möglichst klein zu halten. Beim Anschluss an eine Fernheizung ist sie jedoch nachteilig, weil grosse Wassermengen und somit auch grosse Rohrdurchmesser benötigt werden.

Beim Anschluss solcher Heizungen an eine Fernheizung muss man sich daher überlegen, ob man die genannten Nachteile in Kauf nehmen will, oder ob man entsprechend einem Vorschlag von Junge [1] «gespreizte Temperaturen» anwenden will. In diesem Fall ist in der Regel eine Vergrößerung der Heizkörper vorzusehen.

Fall C: Warmwasser mit «gespreizten Temperaturen».

Bei dieser Heizungsart beträgt bei grösster Leistung die Temperatur-Differenz zwischen Vor- und Rücklauf 50

bis 60° C anstelle von 20° C bei der gewöhnlichen Warmwasserheizung (Fall B). Wie später noch erwähnt wird, eignet sich dieses Heizsystem auch besonders in Verbindung mit Heissluft-Turbinenanlagen. Es sind bereits verschiedene Fernheizwerke mit gespreizten Temperaturen gebaut worden, so dass auch diesbezügliche Erfahrungen vorliegen.

Fall D: Heisswasser (Vorlauf 110—140° C, Rücklauf 40 bis 90° C).

Verwendet man als Wärmeträger unter Druck stehendes Wasser mit einer Vorlauftemperatur von über 100° C, so spricht man nicht mehr von Warmwasser-, sondern von Heisswasser-Heizung. Heisswasserheizungen haben seit rd. 30 Jahren eine grosse Verbreitung gefunden und verdrängen die Wärmefernleitung mit Dampf immer mehr.

Der Bereich der meist angewendeten Vorlauftemperaturen für Heisswasserheizung wurde hier in zwei Gebiete (Fall D und E) unterteilt. Ist die Vorlauftemperatur nicht höher als etwa 140° C (entsprechend 3,7 ata Satttdampfdruck), so können Warmwasserheizungen gemäss A, B und C in der Regel direkt angeschlossen werden, wobei man in jeder Hausstation lediglich eine Rücklaufbeimischung benötigt, um die der Heizungsart angepasste Vorlauftemperatur einstellen zu können.

Die Hauptvorteile der Heisswasserheizung liegen darin, dass sich infolge grosser Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf kleine Leitungsdimensionen und geringe Pumpenleistungen (vergleiche Fall C) ergeben. Ferner kann mit dem gleichen Fernleitungssystem auch technische Wärme höherer Nutzungstemperatur geliefert werden. Diese Heizungsart bewährt sich daher auch ganz besonders für die industrielle Wärmeversorgung in verschiedensten Zweigen wie Färbereien, Ziegeleien (Trocknungsöfen), Nahrungsmittelindustrie usw.

Fall E: Heisswasser (Vorlauf 160 bis 180° C, Rücklauf 40 bis 120° C)

Noch stärker prägen sich die oben genannten Vorteile aus, wenn die Vorlauftemperatur weiter gesteigert wird. Bei 180° C beträgt der Satttdampfdruck jedoch schon rd. 10 ata. Die Uebertragung der Wärme in den einzelnen Unterstationen ist daher im allgemeinen nur über Wärmeaustauscher an Heizsysteme entsprechend Fall A, B und C möglich.

Es stellt sich die Frage, ob noch höhere Vorlauftemperaturen zweckmässig sind. Die Satttdampfdrücke steigen jedoch mit höheren Temperaturen sehr rasch an, so dass etwa 200° C (rd. 16 ata) sicherlich die obere Grenze für eine Heisswasserheizung sein dürfte. Bei höheren Temperaturen müsste man auf andere Wärmeträger, die weniger hohe Drücke ergeben, übergehen.

Solche flüssige Wärmeträger bestehen meist in einem Gemisch von Diphenyl und Diphenyloxyd und sind unter den Markenbezeichnungen Dowtherm, Gilotherm usw. bekannt; sie werden vorläufig jedoch nicht für die Fernübertragung

Tabelle 1. Typische Anwendungsformen von Wasser als Wärmeträger

	A	B	C	D	E
höchste Vorlauf-temp. rd. 0° C	50	90	90	140	180
zugehörige Rücklauf-temp. rd. 0° C	40	70	40	70—110	70—120
Heizungsart	Warmwasserheizung			Heisswasserheizung	
Anwendungszweck	Raumheizung ← evtl. auch Brauchwassererzeugung →			Industrielle Wärmeversorgung, meist kombiniert mit Raumheizung, evtl. auch als Raumfernheizung allein	
Anwendungsgebiet	Strahlungs- oder Radiatoren-Heizung, oft auch in Verbindung mit Wärmepumpe	übliche Radiatorheizung	Für Fernheizungen mit «gespreizten» Temperaturen besonders auch geeignet in Verbindung mit Heissluftturbine	Für Fernheizungen und industrielle Wärmeversorgung	
Betriebsweise	Meist mit konstanter Vorlauftemperatur. Absenkung der Vorlauftemperatur im Sommer häufig möglich		Sonderfall mit konstanter Vor- und Rücklauftemperatur	Meist mit variabler Vorlauftemperatur entspr. der jeweiligen Aussentemperatur	
Anschlüsse in den Unterstationen bei Fernheizung	← direkt →			direkt mit Rücklaufbeimischung	über Wärmeaustauscher

von Wärme, sondern für die Beheizung von Apparaten angewendet, in denen hohe Temperaturen (200 bis 400° C) verlangt werden.

Wärmespeicherung

Die Möglichkeit einer wirtschaftlichen Wärmespeicherung ist eng verbunden mit der Wahl des Wärmeträgers. Ein wichtiger Vorteil der Heisswasserheizung liegt in der Möglichkeit, Wärme auf wirtschaftliche Weise zu speichern. Dies soll nachstehend an einem Beispiel gezeigt werden. Ein industrieller Betrieb mit Dampfkesseln von 8 atü und einem Dampfversorgungsnetz von 7 atü mit sehr schwankendem Wärmeverbrauch stand anlässlich der Erneuerung der wärmetechnischen Einrichtungen vor der Frage der Eingliederung eines Speichers. Es standen zwei Möglichkeiten zur Erwägung:

1. Ersatz der Kessel durch solche mit höherem Druck und Zwischenschaltung eines Dampfspeichers.
2. Ersatz der Kessel durch solche mit höherem Druck, Umstellung des Dampfversorgungsnetzes auf Heisswasser und Einschaltung eines Heisswasserspeichers.

Die beiden Möglichkeiten sind in vereinfachter Form in den Bildern 1 und 2 schematisch dargestellt. Nach Bild 1 ist der Speicher b (Dampfspeicher) vor den Wärmeverbraucher c geschaltet. Die spezifische Speicherfähigkeit (kcal/m³) hängt somit von der Differenz der Drücke vor und nach dem Speicher ab. Bei Bild 2 ist der Speicher f (Heisswasser-Verdrängungsspeicher) zwischen Vor- und Rücklauf des Heisswassernetzes geschaltet. Die spezifische Speicherfähigkeit hängt somit vom Temperaturgefälle im Heisswassernetz ab.

In Bild 3 sind für die beiden Fälle die spezifischen Speicherfähigkeiten dargestellt. Nimmt man für das Heisswassernetz eine Rücklauftemperatur von 90° C an, so ergibt sich für das erwähnte Beispiel, dass die spezifische Speicherfähigkeit beim Heisswasserspeicher nach Bild 2 rund dreimal grösser ist als beim Dampfspeicher nach Bild 1.

Art des Wärmebedarfes

Die beim Wärmebezüger zu erfüllenden Bedingungen spielen für die Auslegung und die Wirtschaftlichkeit einer Anlage eine wesentliche Rolle. Es sind namentlich folgende Punkte von Wichtigkeit: Lage des Wärmebezügers im Verhältnis zur Zentrale, höchster Heizbedarf (Anschlusswert), Nutzungstemperatur und Ausnutzungsfaktor, bzw. Benutzungsdauer des Anschlusswertes.

Nach dem bereits Gesagten dürfte einleuchten, dass die Verhältnisse um so günstiger liegen, je näher sich der

Wärmebezüger bei der Zentrale befindet und je niedriger die Temperatur ist, bei der er die Wärme benötigt. Für nahe an der Zentrale liegende Wärmebezüger wird die Wärme meist in Form von Warmwasser geliefert. Gelegentlich kommt auch gleichzeitige Lieferung von Wärme bei verschiedenen Nutzungstemperaturen in Frage, z. B. Warmwasser für Raumheizung und Heisswasser für technische Zwecke. Aber auch für entfernt liegende Wärmebezüger, für die aus Gründen einer wirtschaftlichen Wärmeübertragung Heisswasser angewendet wird, ist eine niedrige Nutzungstemperatur von Vorteil, weil dann die Wärmeübertragungsflächen der Wärmeaustauscher (Wärmeumformer) in den Unterzentralen klein ausfallen. Schliesslich ist der Ausnutzungsfaktor, d. h. das Verhältnis der jährlich gelieferten Wärmemenge zur maximal möglichen Wärmelieferung auf Grund des Anschlusswertes von wesentlicher Bedeutung.

Für die Berechnung von Raumheizanlagen wird als Ausgangspunkt die Häufigkeit der Aussentemperaturen verwendet. In Bild 4 sind einige Häufigkeitskurven für verschiedene Orte in der Schweiz dargestellt. Diese Häufigkeitskurven stellen Mittelwerte über viele Jahre dar.

Der tägliche Heizwärmebedarf eines Gebäudes ist dem Unterschied der Raum-Innentemperatur und der Aussentemperatur proportional, Bild 5. Zwar können Sonnenbestrahlung, Nebel und Windausfall Abweichungen bewirken; diese gleichen sich aber über längere Perioden aus. Für die weiteren Untersuchungen legen wir die für Zürich gültigen Häufigkeitskurven der Aussentemperaturen (Bild 6, Kurve a) zu Grunde und zeichnen die im Tagesmittel stündlich ab-

Bild 1 (rechts). Heiznetz mit Wärmespeicher vor dem Wärmeverbraucher

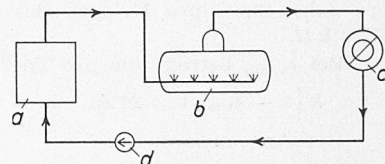
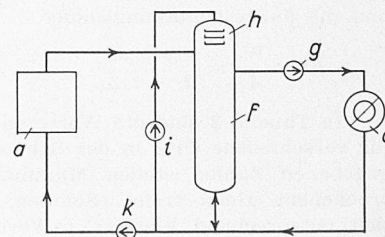


Bild 2 (unten). Heiznetz mit Wärmespeicher zwischen Vorlauf und Rücklauf



- a Dampfkessel
- b Dampfspeicher
- c Wärmeverbraucher
- d Umwälzpumpe
- f Heisswasserspeicher
- g Heisswasserumwälzpumpe
- h Kaskade
- i Ladepumpe
- k Rückspeisepumpe

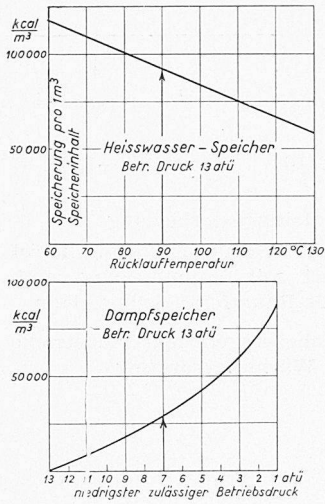


Bild 3. Vergleich der Speicherkapazität von Heisswasserspeicher und Dampfspeicher

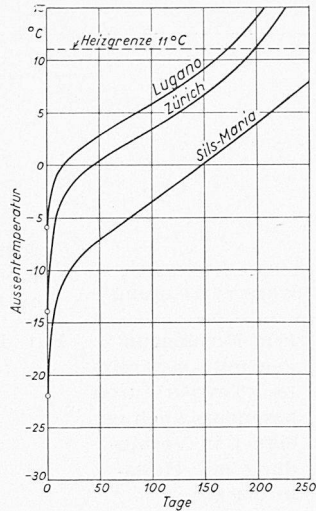


Bild 4. Temperaturhäufigkeiten (Tagesmittel) von Lugano, Zürich und Sils Maria

zugebende Wärmeleistung (Kurve b) auf, indem wir beispielsweise eine Rauminnentemperatur t_i von 18°C annehmen. Die bei einer Aussentemperatur von $t_a = -14^\circ\text{C}$ (mittleres Temperaturminimum = im Tagesmittel) abzugebende Wärmeleistung beträgt demnach A_m . Eine Heizanlage wird jedoch nicht für diesen Wert A_m , sondern für den sog. Anschlusswert A ausgelegt, der aus folgenden Gründen grösser als der Wert A_m ist:

1. Die Aussentemperatur von -14°C gemäss Häufigkeitsdiagramm stellt einen Mittelwert über viele Jahre dar. Oft treten auch tiefere Temperaturen auf. Für die weiteren Überlegungen wird eine minimale Temperatur ($t_{a\min}$) von -20°C zu Grunde gelegt. Wir gelangen so zum Wert A'_m .

2. Im Laufe eines Tages wird die Wärmeleistung nicht mit konstantem Wert abgegeben, sondern es tritt eine ausgesprochene Morgenspitze (Punkt A) und möglicherweise auch eine Nachmittagsspitze (vergleiche auch Bild 7) auf. Dafür ist die Heizleistung während der übrigen Zeit kleiner als A'_m .

Nachstehend wird der Begriff des Spitzenfaktors f_{sp} eingeführt. Er gibt an, wieviel mal kleiner die tägliche mittlere Belastung bei -20°C als die maximale Spitze ist. Im dargestellten Beispiel beträgt $f_{sp} = 0,75$. Die Kurve c (tägliche Heizspitzen) zeigt, dass bei höheren Aussentemperaturen diese Heizspitzen im Verhältnis zur mittleren Tagesleistung grösser werden, wie dies auch aus Bild 7 hervorgeht, in welchem typische Tagesdiagramme für verschiedene Aussentemperaturen dargestellt sind.

Die hier vorgeschlagene Einführung des Begriffes des Spitzenfaktors ermöglicht, eine Beziehung zwischen der Benutzungsdauer (h) und dem Wert der Heizgradtage (H) abzuleiten. Dieser Wert ist bekanntlich gleich der Summe aller Heiztage, multipliziert mit dem jeweiligen Unterschied zwischen Innen- und Aussentemperatur. Die Wärmemenge pro Jahr (bzw. pro Heizperiode) ist proportional H , also $W = k H$.

Bei $t_{a\min}$ beträgt die pro Tag benötigte Wärmemenge:

$$k(t_i - t_{a\min}) = 24 A'_m$$

Der Anschlusswert ist:

$$A = A'_m / f_{sp}$$

und die Jahresbenutzungsdauer

$$h = \frac{W}{A} = \frac{24 f_{sp} H}{t_i - t_{a\min}}$$

In Tabelle 2 sind die Werte der Jahresbenutzungsdauer für verschiedene Orte in der Schweiz ausgerechnet; die angegebenen Zahlen stellen Maximalwerte dar. Bei unterbrochenem Heizbetrieb (Schulen, Kirchen usw.) ergeben sich entsprechend kleinere h -Werte. Wie ersichtlich, sind

diese Werte bei Raumheizanlagen verhältnismässig klein.

Die in Bild 7 dargestellten Tagesdiagramme gelten für ein einzelnes Gebäude. Sind mehrere Gebäude an einer Fernheizung angeschlossen, so ergibt sich meist der erfreuliche Umstand, dass nicht alle Wärmespitzen gleichzeitig auftreten, so dass ein gewisser Ausgleich erfolgt. Der Gleichzeitigkeitsfaktor, der meist etwa 0,8 bis 0,9 beträgt, gibt an, wieviel mal die totale Leistungsspitze A_{tot} kleiner ist als die Summe aller einzelnen Anschlusswerte:

$$f_g = \frac{A_{\text{tot}}}{\sum A}$$

Je kleiner der Gleichzeitigkeitsfaktor ist, umso grösser wird die Jahresbenutzungsdauer.

Bei der Lieferung von technischer Wärme ergeben sich im allgemeinen günstigere Werte von h bzw. des Ausnutzungsfaktors f_a . Beispielsweise hat eine Papierfabrik während 24 Stunden durchgehend einen verhältnismässig konstanten Wärmebedarf. Der Idealfall einer konstanten Leistung während des ganzen Jahres (Fall A, Bild 8) ergäbe einen Ausnutzungsfaktor von $f_a = 1$. Praktisch sieht das Häufigkeitsdiagramm für eine Papierfabrik z. B. nach Fall B (Bild 8) aus (Abzug der Sonn- und Feiertage und der Betriebsferien, Annahme von Produktionsunterbrüchen wegen Revisionen an den Papiermaschinen). Im allgemeinen wird technische Wärme selten allein benötigt, sondern es ist gleichzeitig auch ein Bedarf an Raumheizwärme zu decken. Durch Überlagern der verschiedenen Häufigkeitsdiagramme gelangt man damit zum allgemeinen Fall C in Bild 8.

Bei industriellen Wärmebezugern liegt die Jahresbenutzungsdauer je nach den besonderen Verhältnissen zwischen 2000 und 5000 Stunden.

Grenzen der Wirtschaftlichkeit der Wärmefernleitung

Bei der Projektierung von Fernheizanlagen stellt sich in erster Linie die Frage nach den wirtschaftlichen Grenzen der Wärmefernleitung. Die Kosten der Wärmefernleitung werden ausser durch den Aufwand für das Umwälzen des Wärmeträgers und für das Decken der Wärmeverluste ganz besonders durch den Kapitaldienst der Anlagekosten der Fernleitung (Rohre mit Zubehör, Isolation und bauliche Kosten, vor allem Rohrkanäle) beeinflusst. Diese Kosten hängen sehr stark von den örtlichen Verhältnissen ab. Sie wachsen aber auf jeden Fall mit der Fernleitungslänge und sind ausserdem umso grösser, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf ist, da die Kosten der Fernleitung infolge grösser werdender Durchmesser höher sind. Ausserdem wird auch die benötigte Leistung für die Umwälzpumpen grösser.

Die Wärmekosten beim Verbraucher setzen sich zusammen aus den Wärmekosten ab Zentrale und den durch die Fernleitung bedingten Zusatzkosten. Der erstgenannte Anteil ist umso höher, je grösser die Vorlauftemperatur ist, sofern die Kessel für höhere Drücke ausgelegt werden müssen. Ausserdem wird im Falle der Heizkraft-Kupplung bei höherer Vorlauftemperatur die Menge der im Gegendruck erzeugbaren elektrischen Energie stark eingeschränkt.

Auf Grund eines durchgeführten Fernheizprojektes mit Dampf als Wärmeträger sind in Bild 9 die Wärmepreise loco Wärmeverbraucher in Abhängigkeit der Fernleitungslänge und der Benutzungsdauer dargestellt. Man erkennt daraus die Verteuerung durch die Leitungslänge sowie den starken Einfluss der Jahresbenutzungsdauer. Bei Wasser

Tabelle 2. Jahresbenutzungsdauer für ein einzelnes Gebäude an drei verschiedenen Orten in der Schweiz bei einer Innentemperatur von 18°C

Ort	$t_{a\min}$	$t_{a\min}^1$	H	h für f_{sp}		
	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{C}$		$^\circ\text{C}$ Tage	0,7	0,75
Lugano	-11	-6	2240	1300	1390	1485
Sils-Maria	-29	-22	5570	2000	2140	2280
Zürich	-20	-14	3020	1330	1430	1520

1) Mittlerer Wert

Bild 5 (links). Zusammenhang zwischen mittlerer täglicher Wärmeleistung und mittlerer Aussentemperatur

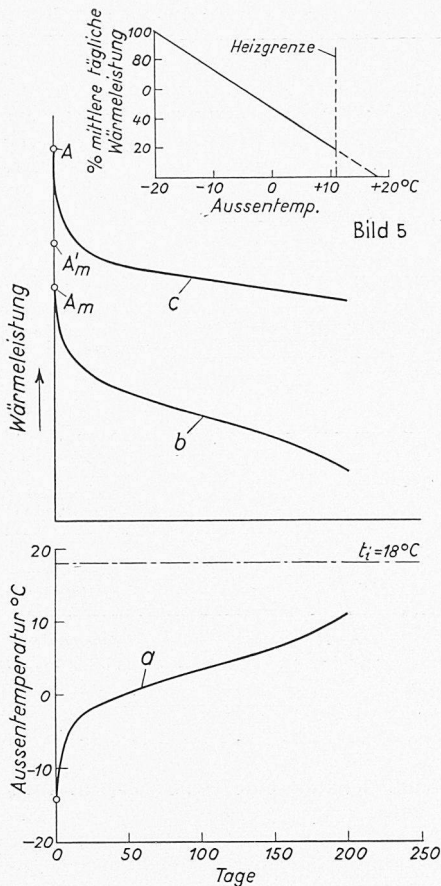


Bild 5

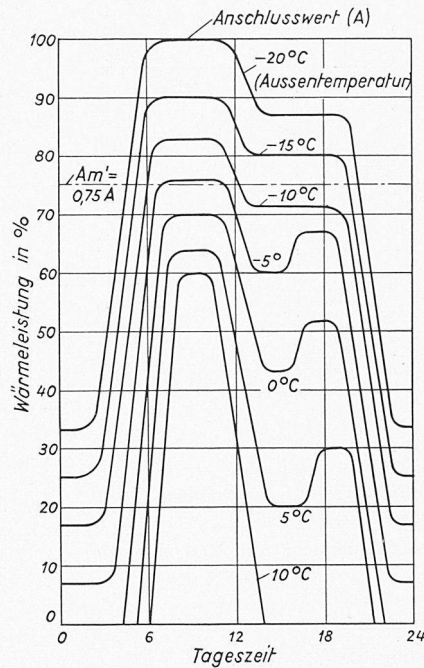


Bild 7. Typische Tagesdiagramme des Wärmebedarfes eines Gebäudes

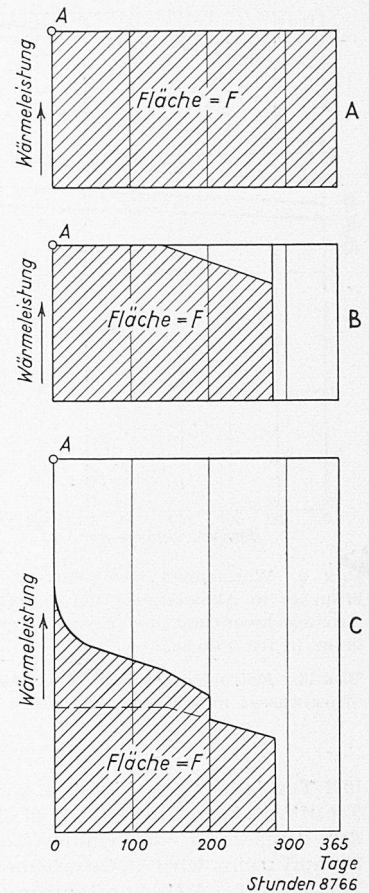


Bild 8. Zur Berechnung des Ausnutzungsfaktors f_a . Oben: Fall A, volle Ausnutzung; Mitte: Fall B, Häufigkeitsdiagramm für eine Papierfabrik ($f_a = 0,73$; $h = 6400$ h/J). Unten: Fall C, Kombination von Raumheizung und technischer Wärme nach Fall B; $f_a = 0,32$, $h = 2800$ h/J.

Bild 6. Diagramm zur Berechnung der Wärmeleistung: a Häufigkeit der Aussentemperatur, b Kurve der mittleren täglichen Wärmeleistung, c Kurve der täglichen Spitzenleistung

als Wärmeträger ergeben sich grundsätzlich ähnliche Kurven. Für die in Tabelle 1 aufgeführten Wärmeträger sind in Bild 10 die Wärmekosten für einen durchgerechneten Fall unter Zugrundelegung einer Benutzungsdauer von 1000 Stunden pro Jahr angegeben.

Da einerseits die Wärmekosten ab Zentrale umso tiefer zu stehen kommen, je niedriger die Temperatur ist, mit der die Wärme geliefert wird, und da andererseits bei niedriger Temperatur des Wärmeträgers, bzw. bei kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf, die Energiekosten für die umzuwälzende Wassermenge und der Kapitaldienst der Fernleitung hoch sind, ergeben sich überschneidende Linien. Aus dieser Darstellung kann man den Schluss ziehen, dass die Wärmeträger A und B nur für die Uebertragung auf kurze Distanzen zweckmässig sind, während für grosse Distanzen die Wärmeträger C, D und E günstiger ausfallen.

Die Bilder 9 und 10 zeigen, dass durch die Fernleitung der Wärme eine bedeutende Verteuerung beim Wärmebezüger entsteht, und es stellt sich die Frage, wieviel mehr ein Wärmeverbraucher zu bezahlen bereit ist. Eine gewisse Verteuerung des Wärmepreises durch die Wärmefernleitung ist wirtschaftlich tragbar, da der Wärmebezüger bei Eigenherzeugung der Wärme in der Regel mit höheren Brennstoffkosten und mit zusätzlichen Bedienungskosten zu rechnen hätte.

Die «anlegbaren Wärmepreise» sind diejenigen Werte, die ein Wärmeverbraucher gewillt ist zu zahlen. In der Schweiz dürften sie gegenwärtig etwa 4 bis 4,5 Rp./Mcal für Wohnungen und kleinere Gewerbebetriebe betragen. Bei Industrieunternehmen liegen sie jedoch meist tiefer, so dass eine Belieferung durch ein Fernheizwerk unter Umständen unwirtschaftlich wird.

In Bild 10 ist ein anlegbarer Wärmepreis von 4,25 Rp./Mcal angenommen und als Horizontale eingetragen. Die Schnittpunkte mit den Linien A, B, C, D und E geben an, bis zu welchen Distanzen für die verschiedenen Wärme-

träger der Anschluss an ein Fernheizwerk wirtschaftlich möglich ist.

Heizkraftzentrale mit Dampf

Die meisten bisher gebauten Heizkraftwerke arbeiten mit Dampf. Für die Festlegung des Gegendruckes an der Dampfturbine ist bei Anwendung von Wasser zur Wärmefernleitung die Vorlauftemperatur massgebend. Erfolgt die Wärmeübertragung in einem Kaskadenumformer, so ist der Dampfdruck durch die Vorlauftemperatur unmittelbar bestimmt (Sattdampfdruck). Bei Wärmeübertragung über eine Wärmeaustauschfläche ist noch die Endtemperaturdifferenz (Δt_p) im Wärmeaustauscher zu berücksichtigen. Ueber die möglichen Schaltungen der Wärmeumformung (Dampf-Heisswasser) ist früher berichtet worden [3].

Da die elektrische Energie im Gegensatz zu Heizwärme eine hochwertige Energieform darstellt, ist anzustreben, ein möglichst günstiges Verhältnis von erzielbarer elektrischer Energie zu gelieferter Heizwärme zu erreichen, d. h. die Stromkennzahl in kWh/Gcal soll möglichst hoch sein. Unter Voraussetzung eines inneren Turbinenwirkungsgrades von 80 % und eines Generatorwirkungsgrades von 94 % (einschliesslich mechanischer Verluste der Turbine und eines Getriebes) sind in Bild 11 die erreichbaren Stromkennzahlen für verschiedene Frischdampfdrücke und -Temperaturen und für verschiedene Gegendrucke bzw. Vorlauftemperaturen dargestellt. Daraus geht hervor, dass mit steigendem Gegendruck die Stromkennzahl rasch abnimmt. Eine gewisse Kompensation kann durch Steigern der Frischdampf-temperatur und des Druckes vor der Turbine erfolgen.

Heissluftprozesse

Die Anwendung der Heissluftturbine mit geschlossenem Kreislauf im Heizkraftbetrieb ist für kleinere und mittlere Leistungen sehr aussichtsreich. Der Wirkungsgrad der Heiss-

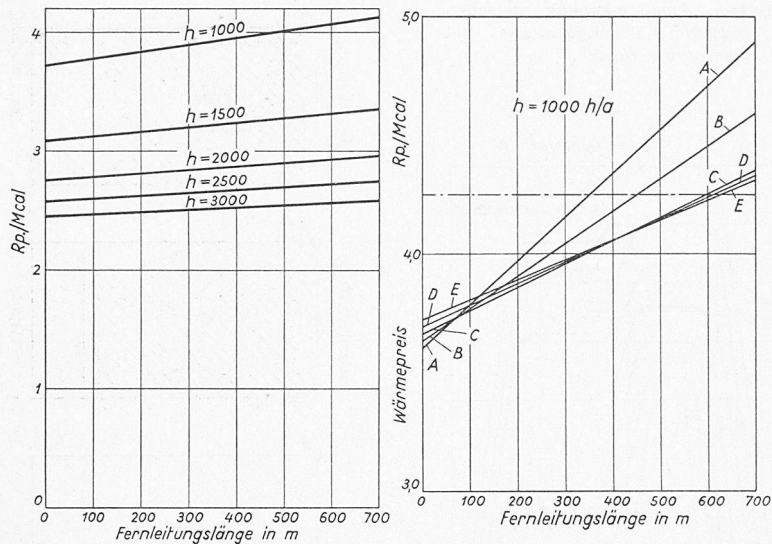
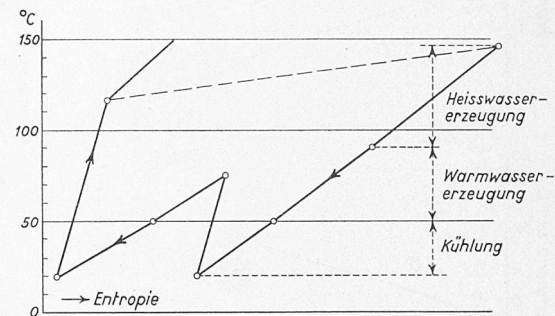
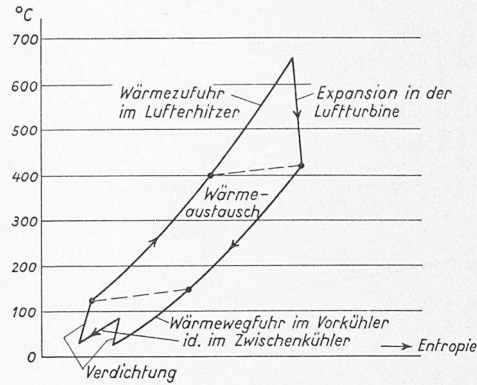


Bild 9. Wärmepreis loco Wärmeverbraucher in Abhängigkeit der Jahresnutzungsdauer und der Fernleitungslänge in Rp./1000 kcal

Bild 10. Wärmepreis loco Wärmeverbraucher in Abhängigkeit der Fernleitungslänge für verschiedene Wärmeträger in Rp./1000 kcal

Bild 13. Entropiediagramm einer Heissluftturbinenanlage mit Erzeugung von Warmwasser und Heisswasser



luft-Turbinenanlage hängt u. a. in starkem Masse von der Eintrittstemperatur der Luft in die Verdichter und damit von der Temperatur des Kühlwassers ab. Im Gegensatz zur Dampfturbine wird die Abwärme jedoch nicht bei konstanter Temperatur (Sattdampf Temperatur), sondern in einem gewissen Temperatur-Intervall, entsprechend der Abkühlungskurve der Kreislauf Luft, abgegeben. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, wie dies vom Verfasser schon 1942 gemäss Schweiz. Patent Nr. 227 667 vorgeschlagen wurde, durch stufenweise Aufteilung der Kühler die Gewinnung von Wärme von verschieden hoher Nutzungstemperatur zu erreichen. So ist es beispielsweise möglich, in der unteren Stufe zu kühlen (Verlustwärme), während in der oberen Stufe Warmwasser für eine Raumheizung erzeugt wird. Durch diese Massnahme wird also die Erzeugung elektrischer Energie durch die Heissluftturbine nicht beeinflusst. Da die in den Vorkühler eintretende Luft eine wesentlich höhere Temperatur aufweist als die in den Zwischenkühler gelangende Luft, ist es auch möglich, den Vorkühler in drei Stufen zu unterteilen und in der untersten Stufe zu kühlen, in der mittleren Stufe Heisswasser auf z. B. 60° C zu erwärmen und in der obersten Stufe Heisswasser von z. B. 130° C zu erzeugen. Dadurch wird der Aktionsradius einer Fernheizung mit Heissluft-Turbinenanlage bedeutend erweitert, indem für naheliegende Gebäude eine Warmwasserheizung

und für entfernt liegende Gebäude eine Heisswasserheizung (Bild 10) vorgesehen wird.

Nach dem vorstehend beschriebenen Vorschlag können, ohne dass man den Wirkungsgrad oder die elektrische Leistung beeinflusst, beträchtliche Mengen Heizwärme in Form von Warmwasser oder sogar teilweise in Form von Heisswasser bereitgestellt werden, und zwar ohne zusätzlichen Brennstoffverbrauch, da es sich um eine reine Abfallwärme handelt. Im Gegensatz dazu erfolgt beim Dampfheizkraftwerk beim Uebergang von der Kondensationsanlage zur Entnahme-Kondensationsturbine oder zur Gegendruckturbine eine Verringerung der erzeugbaren Menge an elektrischer Energie bei sonst gleichen Verhältnissen (gleiche Frischdampfmenge, gleicher Druck usw.).

In Bild 12 ist das Schema einer solchen Anlage dargestellt. Der Zwischenkühler ist in zwei Stufen unterteilt, in denen gekühlt und Warmwasser von z. B. 60° C erzeugt wird, während der Vorkühler in drei Stufen unterteilt ist, wobei in der untersten Stufe gekühlt, in der mittleren Stufe Warmwasser von z. B. 60° C und in der oberen Stufe Heisswasser von z. B. 130° C erzeugt wird. Bild 13 zeigt das zugehörige Entropiediagramm. Es geht daraus hervor, dass die Ausnutzung der auf diese Weise verwertbaren Abwärme und damit der totale Wirkungsgrad der Heizkraftanlage um so grösser ist, je tiefer die Rücklauf Temperatur ist. Es liegt

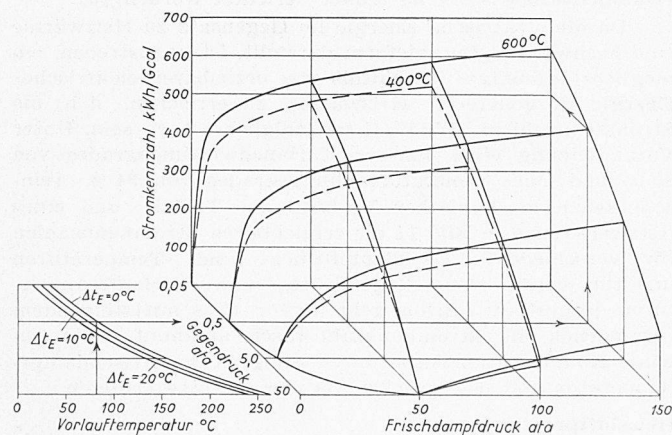


Bild 11. Stromkennzahl in Abhängigkeit von Vorlauf-temperatur, Endtemperaturdifferenz im Wärmeaustauscher, Frischdampfdruck und -Temperatur vor der Turbine

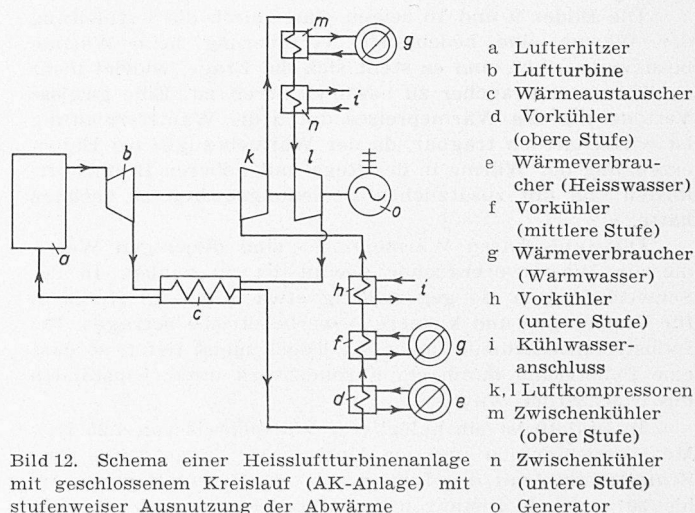


Bild 12. Schema einer Heissluftturbinenanlage mit geschlossenem Kreislauf (AK-Anlage) mit stufenweiser Ausnutzung der Abwärme

deshalb nicht nur im Interesse einer Verkleinerung der Fernleitungsquerschnitte, sondern auch im Interesse der Wirtschaftlichkeit der Anlage, die Spreizung zwischen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen möglichst gross zu halten. Dabei wird, wie die Erfahrung gezeigt hat, der Mehrpreis für die grösseren Radiatoren in den zu heizenden Räumen weit mehr als ausgeglichen. Ferner besteht bei tiefer Rücklauftemperatur, wenn diese gleichzeitig durch Reguliereinrichtungen an den Heizkörpern konstant gehalten wird, die Möglichkeit einer einfachen Bestimmung der abgegebenen Wärme durch Messung der Rücklaufwassermenge.

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil der Heissluftturbine im Heizkraftwerk besteht in der Möglichkeit, in Zeiten der Wärmespitze die Abgabe der Heizwärme in gewissen Fällen ohne Zusatzeinrichtungen bis zu 50 % zu vergrössern. Dies kann nach einem Vorschlag des Verfassers (Schweiz. Patent Nr. 244 684) durch Anheben der Kreislauftemperatur auf der «kalten» Seite geschehen, hat aber eine gewisse Absenkung der elektrischen Energieproduktion und eine geringe Verschlechterung des Kreislauf-Wirkungsgrades zur Folge, was jedoch in den meisten Fällen ohne weiteres in Kauf genommen werden kann, da die Wärmespitze meist nur während verhältnismässig kurzer Zeit auftritt (Bild 6) und da durch diese Massnahmen teure und wenig benützte Zusatzeinrichtungen unnötig sind.

Auch bezüglich Stromkennziffer sind Heissluftanlagen mit Abwärmegewinnung sehr günstig, wie von Bammert [5] anhand ausführlicher Vergleichsrechnungen nachgewiesen wurde. Verschiedene solcher Anlagen sind in letzter Zeit erstellt worden oder befinden sich gegenwärtig im Bau [6], [7], [8].

Literaturverzeichnis

- [1] M. Wolf: Städteheizung und städtische Stromversorgung rationeller durch die Heissluft-Turbine, «Energie» 1955, Heft 8.
- [2] R. Ruegg: Escher-Wyss-Wasserrohrkessel. «SBZ» 1958, Nr. 14.
- [3] R. Ruegg: Dampf- und Heisswasserkessel für die Wärmeversorgung von Fabrikationsbetrieben «SBZ» 1957, Nr. 16.
- [4] K. Bammert: Vergleich von Dampf- und Heissluftturbinen in Heizkraftwerken kleiner und mittlerer Leistung. «B. W. K.» 1956, Heft Nr. 7.
- [5] K. Bammert, C. Keller und H. Kress: Heissluftturbineanlage mit Kohlenstaubfeuerung für Stromerzeugung und Heizwärme-lieferung. «B. W. K. 1956», Heft 10.
- [6] W. Gaehler: Die erste kohlenstaubgefeuere Heissluftturbine-anlage mit geschlossenem Kreislauf, «Escher Wyss Mitteilun-gen» 1956, Heft 2.
- [7] R. Stroehlen: Die neuere Entwicklung der Gasturbinen, «B. W. K.» 1957, Heft 5.
- [8] F. Taigun: Heissluft-Turbinenanlagen mit geschlossenem Kreis-lauf. «SBZ» 1957, Nr. 24 und Nr. 25.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. R. Ruegg, Oberingenieur bei Escher, Wyss AG., Zürich.

Nekrologe

† Alfred Lüthy, dipl. Masch.-Ing., S. I. A., G. E. P., von Basel, geb. am 24. September 1872, verlor früh seinen Vater, erwarb die Maturität der Basler Oberrealschule, absolvierte eine Volontär-Lehre in der Maschinenfabrik Burckhardt & Cie. in Basel und studierte hierauf an der mechanisch-technischen Abteilung des Polytechnikums in Zürich. Sein bedeutendster und hochverehrter Lehrer war Prof. Stodola, dessen Bild noch über seinem Totenbett hing. Seinen Studienfreunden, insbesondere Prof. W. Kummer, blieb er treu, solange es seine geistigen und körperlichen Kräfte zuliessen.

Nach dem Diplom-Abschluss am Poly trat Alfred Lüthy zuerst bei der Maschinenfabrik Bell & Cie. in Kriens ein, wodurch auch seine langjährige Freundschaft mit dem nachmaligen Oberingenieur Ackermann begründet wurde. Nach kurzer Tätigkeit trat Alfred Lüthy zu Escher Wyss & Cie. in Zürich über, konstruierte dort unter Zuppinger 1898 eine der ersten schweizerischen Vertikal-Kolben-Dampfmaschinen und arbeitete unter Zoelly im Wasserturbinenbau. Dann ging er für etwa drei Jahre zu Bollinckx nach Brüssel und kam hierauf zu Westinghouse nach Manchester, wo er sich sehr erfolgreich im Gasmotorenbau betätigte. Er verliess —

nach denkbar bescheidenstem Start — das Grossunternehmen Westinghouse nach fünf Jahren als Cheffingenieur der Gasmotoren-Abteilung, um wegen geschwächter Gesundheit in die Schweiz zurückzukehren.

In Basel eröffnete Alfred Lüthy 1907 ein eigenes Ingenieurbüro. Neben der baslerischen und schweizerischen Kundschaft erwarb er sich gar bald auch eine weltweite Klientel und war, seiner sachlichen und unbestechlichen Expertisen wegen, bei seinen Auftraggebern, ja sogar bei deren Gegnern, wie auch bei den behördlichen Instanzen hochgeachtet. Er wirkte als Ingenieur im Maschinenbau in allen erdenklichen Gebieten. Keine Aufgabe war ihm zu gross und keine zu gering, ob es sich um Schiffbau, Mühlenbau, komplizierten Apparatebau oder eine Bodenfräse handeln mochte. Auf allen Gebieten fand er originelle, einmalige und für die Weiterentwicklung grundlegende Lösungen.

Alfred Lüthy blieb Junggeselle. Dessen ungeachtet betrachtete er es aber als seine hohe Pflicht, der Erziehung der Jugend seine ungeteilte Aufmerksamkeit zu widmen. Daher bildete er in seinem Ingenieurbüro eine namhafte Zahl von Lehrlingen aus und übernahm er auch aus völlig freien Stücken das Amt eines Lehrers an der Gewerbeschule in Basel von 1907 bis 1938. Seine straffe und zielbewusste Methode, die ihm anvertrauten Jünglinge zu eigener Ueberlegung, Selbständigkeit und Selbstvertrauen, gepaart mit Logik und Gewissenhaftigkeit — also zu den schönsten Mannestugenden — zu erziehen, trug gute Früchte. Die Anhänglichkeit und Dankbarkeit seiner Schüler wuchs sich in vielen Fällen zu einem dauernden Freundschaftsverhältnis aus, das Alfred Lüthy in jeder Lebenslage mit Rat und Tat, oft als Gönner und Wohltäter, in uneigennützigster Weise vergolten hat.

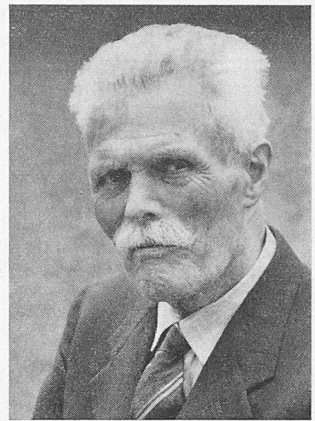
In seiner Antwort zur Gratulation zu Alfred Lüthys 70. Geburtstag an den Schreiber dieser Zeilen stehen folgende Worte: «Es ist nun einmal so, dass man gerne Revue in seinem engen Freundeskreis hält über den zurückgelegten Lebensweg, ehe es unverhofft dunkel um uns werden sollte.» Die Seele des Menschen weiss es im voraus, auch wenn der Verstand es noch nicht erfasst hat. Es ist um Alfred Lüthy dunkel geworden! Am 9. Juni 1959 hat er in stiller Abgeschiedenheit das lichte Tor der Geisteswelt durchschritten. Jene die ihn kannten, hätten ihm hellere Abendstunden gewünscht. Nun können wir Alfred Lüthy nur noch mit guten Gedanken verehren und ihm ein liebes Andenken bewahren — und das tun viele aus vollem Herzen.

Für seine Mitschüler: Emil Emer, Zürich

† Alfred J. Büchi, dipl. Masch.-Ing., Dr. sc. techn. h.c., von Winterthur, geb. am 11. Juli 1879, ist am 27. Oktober gestorben (in Heft 28, S. 445 haben wir die Leistungen des hochverdienten Pioniers anlässlich seines 80. Geburtstages hier gewürdigt).

Mitteilungen

Die moderne Menschheit und Schiller. Die moderne Menschheit strebt nach ökonomischer, innerer Einheit, als einer Folge der modernen Forschungen und Erfindungen der westlichen Völker und der so entstandenen technischen Entwicklung. Diese innere Einheit kommt dadurch zum Ausdruck, dass nirgends mehr etwas Wesentliches entstehen kann, das nicht ökonomisch wirksam wäre. Als einen der edelsten Lehrer der Menschheit ehren wir am 10. Nov., seinem 200. Geburtstag, Friedrich Schiller. Er ist der erlauchte Ver-



A. L Ü T H Y

Dipl. Masch.-Ing.

1872

1959