

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115/116 (1940)
Heft: 7

Artikel: Eine Lücke im Gebäudeblitzschutz: Schutz gegen Blitzgefährdung durch Freileitungsnetze
Autor: Roth, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-51228>

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: 17.05.2025

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

INHALT: Eine Lücke im Gebäudeblitzschutz: Schutz gegen Blitzgefährdung durch Freileitungsnetze. — Die Wärmepumpen-Heizung des renovierten zürcherischen Rathauses. — † Konrad Hippenmeier. — Zur Erweiterung zürcherischer Friedhöfe. — Die statische Berechnung der neuen Kräzernbrücke bei St. Gallen. — Arbeitsbeschaffung im Jura. — Mitteilungen: Doppelverglasung und Doppelfenster, neben Fugendich-

tungen als zeitgemässe Sparmassnahmen und Arbeitsbeschaffung. Verfahren zur Hebung und Senkung von Bauwerken. Das Rohwasserpumpwerk der Wasserversorgung Milwaukee. Das schweizer. und ausländische Flugwesen. Wirkung der Einschränkung der Warmwasserabgabe in grossen Wohnkolonien. Trolleybus. — Nekrologe: Paul Gysi. Eugen Derron. — Literatur.

Band 116

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

Nr. 7

Eine Lücke im Gebäudeblitzschutz: Schutz gegen Blitzgefährdung durch Freileitungsnetze

Von Ing. Dr. A. ROTH, Direktor der Fabrik elektrischer Apparate Sprecher & Schuh A.-G., Aarau

Ueber den Nutzen von Blitzableiteranlagen für Gebäude, die wegen ihrer Lage Blitzschlägen ausgesetzt sind, sind sich die Fachleute einig. Eine neue statistische Arbeit¹⁾ bringt Tatsachen, die einen wertvollen Beleg für diese Anschauung bilden: An den statistisch erfassten ungeschützten Gebäuden im Versicherungswert von 280 Mio Fr. entstand im Zeitraum 1925/37 durch Blitzschläge ein Schaden von 5 Mio, während er an den durch Blitzableiter geschützten Gebäuden im Wert von 140 Mio im selben Zeitraum nur 500 000 Fr. betrug, wobei aber beinahe die Hälfte dieser Summe (230 000 Fr.) auf Gebäude mit mangelhaften Blitzableitern entfällt. Auch der Umfang der Schadenfälle war weit geringer: durchschnittlich 900 Fr. in den geschützten Anlagen, 1400 Fr. in den ungeschützten.

Die selbe Statistik bestätigt in überraschendem Umfang die von Fachleuten schon lange vertretene Ansicht über die Erhöhung der Blitzgefährdung der Gebäude durch ungeschützte elektrische Anlagen, sofern die Energie durch Freileitungen zugeführt wird. Von den 5828 bekannten Schadenfällen durch Blitzschlag in Gebäuden ohne Blitzableiter waren nämlich 2901, d. h. die Hälfte auf Ueberspannungen zurückzuführen, die das elektrische Freileitungsnetz im Gebäude hervorrief, ohne dass das Haus selbst vom Blitz getroffen worden wäre. Ganz gleich ist das Verhältnis in Gebäuden mit Blitzableitern, wo von 1220 Schadenfällen 634 von Ueberschlägen infolge solcher Blitzüberspannungen in den elektrischen Anlagen herrührten. Diese Fälle sog. «indirekten Blitzschlags» verlaufen allerdings harmloser, betrug doch der Schadenwert im Einzelfall im Mittel rd. 200 Fr. gegenüber 1500 Fr. bei Blitzeinwirkung auf das Gebäude selbst²⁾.

Aus dieser gründlichen, sich über 13 Jahre erstreckenden Statistik ergibt sich also die interessante Tatsache, dass in Gebäuden mit an Freileitungen angeschlossenen elektrischen Anlagen nur die Hälfte der zufolge von Blitzschlägen zu erwartenden Schadenfälle durch Blitzableiter verhindert werden kann; soll die andere Hälfte ebenfalls verhindert werden, so sind besondere, übrigens einfache Vorkehren an der elektrischen Anlage erforderlich, über die wir im Folgenden sprechen werden.

Zuerst müssen wir uns darüber klar werden, wie solche Blitzüberspannungen zu Stande kommen. Dabei sind zwei gänzlich verschiedene Arten zu unterscheiden: die Ueberspannungen durch Blitzschlag in die Leitung und die in der Leitung durch Aenderung des Wolkenfeldes bei Blitzschlag induzierten Ueberspannungen.

Die letztgenannten entstehen, wenn das zwischen elektrisch geladener Wolke und Erde bestehende elektrostatische Feld bei der Entladung der Wolke durch einen Blitz plötzlich verschwindet, sodass auf der in diesem Felde (d. h. unter der Gewitterwolke) befindlichen Freileitung die entsprechenden, vorher gebundenen Ladungen plötzlich frei werden³⁾. Der Blitz trifft also in diesem Falle weder Leitung noch Gebäude. Die so entstandenen Ueberspannungen werden in den an die Leitung angeschlossenen Anlagen, wenn diese nicht geschützt sind, Ueberschläge, also Zerstörung der Isolation und damit durch die Betriebspannung gespeiste Erd- oder Kurzschlüsse hervorrufen, die ihrerseits die Sicherungen zum Durchschmelzen bringen. Die Gesamtenergie dieser frei werdenden Ladungen ist aber sehr gering; der Entladestrom wird allerhöchstens einige 100 A betragen und je nach der Grösse des Netzes und der Ausdehnung seines unter der Wolke befindlichen Teiles nicht mehr als eine oder ganz wenige μ s (Millionstel Sekunden) andauern. Deshalb sind auch über die geschilderte Beschädigung der elektrischen Anlage hinausgehende Zerstörungen an Gebäuden nicht zu erwarten, es sei denn, dass die Ueberschläge in explosiblen Gasen oder Stoffen (Benzindämpfen) auftreten. Dagegen können solche Entladungen Lebewesen gefährlich werden.

¹⁾ Gen. Sekr. SEV und VSE (Ch. Morel): Blitzschläge und Gebäudeblitzschutz. Statist. Untersuchung der 1925 bis 1937 in der Schweiz erfolgten Gebäudeblitzschläge. «Bulletin SEV» Bd. 31 (1940), S. 178. Zusammengefasst in «SBZ» Bd. 116, Nr. 1, S. 10.

²⁾ S. a. Ch. Morel: La foudre et les installations électriques intérieures. «Bulletin SEV» Bd. 30 (1939), S. 13.

³⁾ Einzelheiten siehe z. B. A. Roth, Hochspannungstechnik, 2. Auflage, S. 334 (Verlag Springer, Berlin).

Die weitaus grössere Gefahr stellen Blitzschläge in die Freileitung selbst dar: der Hauptstrahl oder ein Nebenzweig des Blitzes treffen auf die Leitung und führen ihr gewaltige elektrische Energiemengen zu. Ihre Grösse wird durch Stromstärke und Dauer gekennzeichnet; jene beträgt einige 100 bis 100 000 A, im Mittel 30 000 A, diese 10 bis 50, ausnahmsweise bis zu 200 μ s.

Diese am Einschlagpunkt der Leitung zugeführten Ladungen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit (300 000 km/s) auf der Leitung und im Netz aus, aber nicht rasch genug, um eine Aufladung der Leitung auf riesige Spannungswerte verhindern zu können (bis zu mehreren Mio Volt). Es ist klar, dass dadurch die Isolation der Leitungen und Hausanlagen mit den daran angeschlossenen Apparaten aufs Höchste gefährdet ist. Verringert wird die Höhe der Ueberspannungen, wenn im Netz, insbesondere zwischen Einschlagstelle und dem gefährdeten Anlagenteil Ueberschläge nach Erde auftreten. An Holzmasten treten solche Ueberschläge erst bei über 3 Mio V auf, schützen also vor geringeren Spannungen nicht. Ist aber ihnen entlang eine Erdleitung geführt (Erdung des Nulleiters), oder sind sie mit Ankerseilen abgespannt, so sinkt ihre elektrische Festigkeit auf Bruchteile herunter, im Grenzfall bis auf den Wert der Ueberschlagspannung der Isolatoren, d. h. etwa 80 000 V (Scheitelwert bei Stossbeanspruchung). Dasselbe gilt für Eisenmaste, Dachständer usw.

Es darf übrigens nicht damit gerechnet werden, dass nach Eintreten eines solchen Ueberschlages die Spannung am Ueberschlagsort und später im Netz verschwinde. Die grosse an der Ueberschlagstelle sich ausbildende Stromstärke wird nämlich beim Uebertritt nach Erde entsprechend dem Ohm'schen Gesetz im Erdwiderstand einen Spannungsabfall hervorrufen, der wieder beträchtliche Werte erreichen kann (in ungünstigen Fällen mehrere 100 000 V).

Diese Ueberlegungen zeigen also, dass bei Blitzschlägen in Freileitungen in den daran angeschlossenen elektrischen Anlagen Ueberspannungen zu erwarten sind, deren Höhe auch in günstigen Fällen 80 000 V erreichen, aber auch ein Mehrfaches davon betragen kann. Dabei sind grosse Energiemengen im Spiel, die unter ungünstigen Umständen (Nähe der Einschlagstelle, keine weiteren Ueberschläge im Netz) in den Gebäuden schwere Zerstörungen und Brände hervorrufen können⁴⁾.

Es ist nämlich selbstverständlich, dass die Hausinstallationen und elektrischen Apparate Ueberspannungen dieser Höhe nicht gewachsen sind. Ihre Festigkeit bewegt sich in der Grössenordnung von 5 bis 15 kV (neue Gummileiter 50 kV) und kann aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und des Raumbedarfes nicht vergrössert werden. Diese Orte bilden somit die schwächsten Stellen des Netzes, Ueberschläge des Blitzstromes treten deshalb vorzugsweise hier, also in Gebäuden auf, gerade da, wo wir sie am wenigsten wünschen.

Die Abhilfe ist grundsätzlich sehr einfach: es wird eine Funkenstrecke verwendet, deren eine Elektrode mit der Leitung, die andere mit einer guten Erdung verbunden ist. Der Luftspalt zwischen den Elektroden wird so eingestellt, dass Ueberschlag erfolgt für Spannungen, die kleiner sind als die elektrische Festigkeit der Hausinstallation, z. B. auf 0,25 mm, was einer Spannung von $1200/\sqrt{2}$ V entspricht. Damit wird hier der schwächste Punkt der Anlage geschaffen, der Ueberschlag wird also hier erfolgen, die Spannung abgesenkt, die hinter dem Ableiter liegenden Anlagenteile, d. h. die Hausinstallation, werden elektrisch nicht mehr übermässig beansprucht.

Praktisch stellen sich aber noch eine Reihe von Aufgaben. Einmal wird, da das Netz ja unter der Betriebspannung von $380/\sqrt{3} = 220$ V gegen Erde liegt, der durch die Ueberspannung zwischen den Elektroden der Funkenstrecke gezündete Lichtbogen auch bei Verschwinden des Blitzstromes nicht erlöschen, sondern durch diese Betriebspannung weiter unterhalten werden, was schliesslich zur Zerstörung der Funkenstrecke führen würde.

⁴⁾ Einzelheiten siehe A. Roth: Ueber die Gefährdung von Freileitungsnetzen für Niederspannung durch Gewitter. «Bulletin SEV» Bd. 25 (1934), Seite 93.

Die Funkenstrecke muss also mit einer Vorrichtung zum Löschen dieses Bogens versehen werden, das Ganze bildet dann einen *Ueberspannungsableiter* oder *Ableiter*.

Weitere Aufgaben stellt die Ausführung der Erdung des *Ableiters*. Auch die beste Erdung besitzt einen gewissen Widerstand R_e , davon herrührend, dass der aus dem in Erde gebetteten metallischen Leiter austretende Strom eine Erdschicht von begrenztem Querschnitt und dazu hohem spezifischen Widerstand durchlaufen muss. Der nach Erde fließende Blitzstrom i erzeugt nach dem Ohm'schen Gesetz in diesem Widerstand einen Spannungsabfall $\Delta u = i R_e$, für $R_e = 10 \text{ Ohm}$ und $i = 3000 \text{ A}$ z. B. also 30000 V . Die ganze elektrische Anlage wird also unter dieser Spannung gegen Erde stehen (Abb. 1) und es besteht die Gefahr, dass trotz *Ableiter* wieder Ueberschläge nach «Erde» entstehen, z. B. im Hausteil rechts, beim Kochherd, der von der Erdungsanlage entfernt ist. Um dies zu vermeiden, kann der Erdwiderstand R_e kleiner gehalten werden: bei 2 Ohm werden nur noch 6000 V auftreten. Die volle Wirksamkeit des *Ableiters* wird damit zu einer Wahrscheinlich-

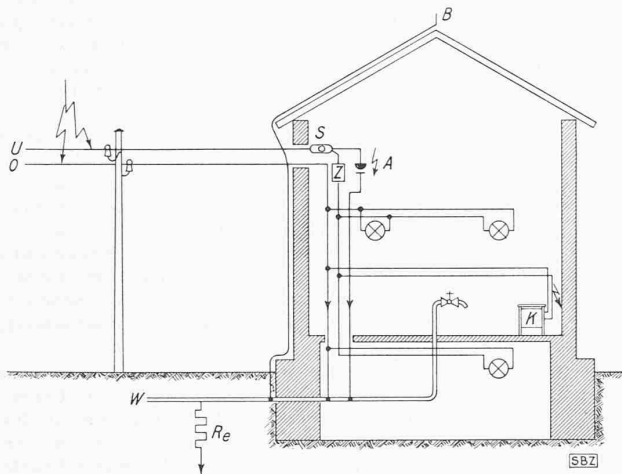


Abb. 1. Schema von elektrischer Anlage und Blitzschutz-Anlage eines Gebäudes (Elektrische Anlage genullt)
Legende: A Ueberspannungs-Ableiter, B Blitzableiter, K Kochherd, S Sicherung, Z Zähler, W Wasserleitung

keitsfrage: Sind die Blitzströme sehr gross, d. h. die Blitzeinschläge sehr nahe, was aber sehr selten sein wird, so können trotz *Ableiter* noch Ueberschläge auftreten. Eine vollständige Lösung bietet dagegen das Auslegen einer Ringelektrode, die das ganze Gebäude umschliesst, oder noch besser eines unter dem Gebäude gelegenen weitmäschigen (rd. 5 m) Elektroden-Gitters. Dadurch wird erreicht, dass das ganze Gebäude die selbe Spannung nach Erde aufweist, ebenso seine elektrische Anlage.

Diese zweite Lösung ist in stark blitzgefährdeten Orten unbedingt vorzuziehen. Dieselbe Frage stellt sich übrigens bei der Anlage des Gebäudeblitzableiters, kommt es doch auf dasselbe heraus, ob der Blitzstrom über den Blitzableiter oder über die Freileitung in die für Blitzableiter und Ueberspannungsableiter gemeinsame Erdungsanlage gelangt⁹⁾. Es ergibt sich: *Kein Ueberspannungsableiter ist besser als seine Erdungsanlage. Eine Erdungsanlage für den Gebäudeblitzschutz genügt auch für guten Ueberspannungsschutz.*

Die heute bekannten *Ableiter* verwenden ausnahmslos Funkenstrecken und zwar in Luft unter Atmosphärendruck. Dagegen unterscheiden sie sich weitgehend in der Art der Lichtbogenlöschung. Abb. 2, 3 und 4 zeigen einen sehr verbreiteten *Ableiter*, bei dem die Löschung elektromagnetisch erfolgt. Die Funkenstrecke wird durch die kalottenförmige, mit der zu schützenden Leitung verbundene Elektrode 3 und die Platte 4 gebildet. 4 ist über eine Blasspule 5 mit Erde verbunden. Diese erzeugt zwischen den Platten 1 und 4 ein Magnetfeld mit radial verlaufenden Kraftlinien, die den zwischen 3 und 4 entstandenen Lichtbogen mit ungeheurer Geschwindigkeit (rd. 100 m/s) um die *Ableiter*-axe rotieren lassen. Durch die so entstehende Berührung mit kalter Luft wird der Lichtbogen gekühlt, er verlöscht beim nächsten Nullwerden des Stromes — es handelt sich ja um Wechselstrom — also spätestens nach $0,01 \text{ s}$. Obschon die Blasspule nur aus wenigen Windungen besteht, könnte bei sehr grossen, rasch ansteigenden Blitzströmen ihre Induktivität verzögernd wirken. Darum ist sie durch eine weitere Funkenstrecke

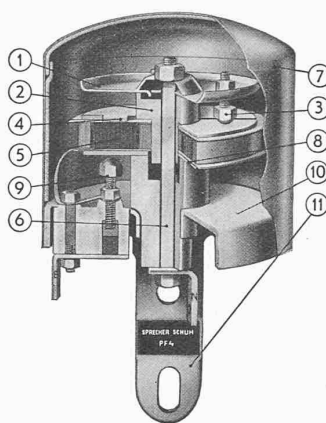


Abb. 2. Ueberspannungsableiter mit elektromagnetischer Lichtbogenlöschung 380 und 500 V (Sprecher & Schuh)
Legende im Text



Abb. 4. Desgl. Ansicht

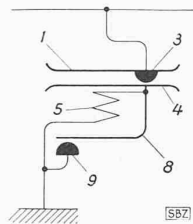


Abb. 3. Schema des Ableiters nach Abb. 2/4

8-9 überbrückt, die in solchen Fällen anspricht, und gleich wieder verlöscht, wenn die rasche Aenderung des Blitzstromes aufhört.

Der *Ableiter* spricht an bei $1200/\sqrt{2} \text{ Volt}$ und ist bis zur Grenze der in der Versuchsanlage der FKH verfügbaren Stromstärke, d. h. bis zu 12000 A Blitzstrom geprüft worden, ohne dass er beschädigt worden wäre. Er ist für Verwendung in Innenräumen und im Freien gebaut.

Andere Bauarten verwenden zur Löschung mit der Funkenstrecke in Reihe geschaltete

Widerstände, deren Widerstandswert mit steigender Spannung stark sinkt (Abb. 5). Bei Betriebsspannung lassen diese Widerstände nur einen kleinen Strom hindurch, der beim Nulldurchgang verlöscht, während bei hohen Spannungen (Ueberspannungen) sehr grosse Ströme durchtreten.

Für die Prüfung von *Ableitersystemen*, wie übrigens auch aller andern mit dem Gebäudeblitzschutz zusammenhängenden Fragen, besteht in der Schweiz eine eigene, reich ausgestattete Prüfstation. Sie steht unter Leitung von Dr. K. Berger und gehört der FKH (Forschungskommission für Hochspannungsfragen), einer vom SEV und VSE vor 13 Jahren gegründete Vereinigung.

Beim *Einbau von Ableitern* sind eine Reihe von Punkten zu beachten, die aus obigen Betrachtungen folgen:

1. Anzahl der *Ableiter*: Jeder nicht im Gebäude geerdete Leiter ist mit einem *Ableiter* zu versehen, bei Verwendung von nur 1 Phase mit im Hause geerdetem Nulleiter (Nullung) also nur die eine Phase, bei 3 Phasen mit geerdetem Nulleiter alle 3 Phasen, bei 3 Phasen mit ungeerdetem Nulleiter alle 4 Leiter.

2. Der *Ableiter* kann vor oder nach der Hauptsicherung S (Abb. 1) eingebaut werden. Der Verfasser empfiehlt Einbau nach der Hauptsicherung (wie in Abb. 1). Dadurch wird bei zwar unwahrscheinlichen, aber immerhin möglichen *Ableiter*-defekten das Abtrennen des defekten Apparates gewährleistet, genau wie bei andern Defekten in der Anlage. Allerdings ist bei einem allfälligen Durchgehen der Sicherung aus irgendwelchen Ursachen das kurze Leitungstück bis zur Sicherung nicht mehr gegen Ueberspannung geschützt.

3. Die Erdleitung soll bis zur Erdung isoliert geführt werden ($4000/\sqrt{2} \text{ V}$) und einen Mindestquerschnitt von 16 mm^2 aufweisen (im Boden liegende Teile 25 mm^2). Die Leitungslänge Leitung-*Ableiter*-Erdung soll möglichst kurz sein.

4. Als Erdung ist jene des Gebäudeblitzableiters zu verwenden. Genügt diese den heutigen Erkenntnissen und Anforderungen nicht (Leitsätze für Gebäudeblitzschutz SEV), so soll sie verbessert werden. Es sei daran erinnert, dass sämtliche Erdungen (Gebäudeblitzschutz, Ueberspannungsableiter für Starkstrom, für Telefon, Radio-Schutzterdung) zusammengeschlossen werden sollten. Bei Neuanlagen wird am besten eine einzige, aber gute gemeinsame Erdung vorgesehen. Die Erdung soll entweder kleinen Widerstandswert aufweisen (wenig Ohm) oder dann die ganze Grundfläche des Gebäudes umfassen (Ringelektrode, wenn nötig mit Querverbindungen), sodass grössere Spannungsunterschiede im Gebäude selbst vermieden werden. Sie soll wenn irgend möglich die Wasserleitung benutzen oder mitbenutzen, wobei diese auf einige 100 m keine elektrischen Unterbrechungen (isol. Schraubmuffen) aufweisen darf.

⁹⁾ Leitsätze für Gebäudeblitzschutz. Publikation 113 des SEV.



Abb. 5. Ableiter mit Lichtbogenlöschung durch spannungsabhängigen Widerstand (Brown Boveri)

ten, die Anlage beschädigt wurde. Mit dem Einbau von Ableitern hörten die Störungen auf.

Ferner möchten wir den Einbau empfehlen bei allen alleinstehenden Gebäuden. In Ortschaften mit dichter Bebauung ist ein Schutz im allgemeinen nicht notwendig, Ausnahmen sind aber durchaus möglich. Den Entscheid wird man auf Grund von Umfragen bei Werken, Einwohnern und Behörden über bisher aufgetretene Blitzschläge und Störungen treffen. Gebäude mit besonderer Feuersgefahr (Brennstofflager, Sprengstoffmagazine) wird man in der Regel schützen. Hier ist der Ableiter an der Aussenseite des Gebäudes anzubringen, um die Entzündung von Dämpfen durch den Lichtbogen der Funkenstrecke zu vermeiden. Gebäude mit Energiezuführung durch Kabel sind natürlich nicht zu schützen.

Zusammenfassend sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die Hälfte aller durch Blitzschlag bewirkten Schadenfälle durch ausserhalb der Gebäude entstandene Ueberspannungen entstehen, die durch das elektrische Leitungsnetz in die Gebäude hineingeführt werden, dass diese Ueberspannungen aber durch einfache Schutzmassnahmen unschädlich gemacht werden können. Die Gesetze dieser Erscheinungen sind dank langjähriger Forschung zum allergrössten Teil bekannt.

Die Wärmepumpen-Heizung des renovierten zürcherischen Rathauses

Von Dipl. Ing. MAX EGLI, Zürich

(Schluss von S. 64)

Es ist selbstverständlich, dass für eine derartige Anlage die Erlangung einwandfreier Erfahrungsgrundlagen durch zuverlässige Messresultate von ausschlaggebender Wichtigkeit ist, gilt es doch nicht nur für neue Anlagen die Grundelemente zu erforschen, sondern auch alle bestehenden Widerstände durch unwiderlegbare Betriebsresultate zu entkräften. Die Hauptaufgabe stellt die Erforschung der spezifischen Antriebsleistung, d. h. die pro kWh abgegebene Kalorienzahl dar.

Nachdem die ganze Anlage eine vollständige Heizperiode in Betrieb gestanden hatte, wurden an ihr von Prof. Dr. Eichelberg von der E. T. H. im Auftrag des Kantonalen Hochbauamtes die Abnahmeversuche durchgeführt. Dabei wurde eine Messdisposition entsprechend Abb. 14 in Anwendung gebracht. Beim Kaltwasserkreislauf, bei dem Limmatwasser aus dem Fluss in den Verdampfer und von ihm wieder in den Fluss zurück befördert wird, erfolgte die Bestimmung der Wärmemenge Q_L durch die Messung der umgewälzten Wassermenge W_L mit einer Wasseruhr, und die der Wassertemperatur vor und nach Verdampfer mit Thermometern. Beim Freonkreislauf wurden der Druck p_V und die Temperatur t_V auf der Saugseite und p_K und t_K auf der Druckseite des Kompressors gemessen. Im Heizwasserkreislauf wurde gleichfalls die Wärmemenge Q_H bestimmt und zwar wiederum durch die Messung der durchfliessenden Wassermenge W_K und der Wassertemperaturen t_{K_1} vor und t_{K_2} nach Verflüssiger. Hier wurde die Wassermenge W_K vermittelst einer geprüften Staudüse gemessen. Auch die Temperaturen t_{H_1} und t_{H_2} vor und nach Heizwasserbehälter wurden festgehalten, doch hatten die Messungen im Heizwasserkreislauf lediglich die Aufgabe einer Kontrollmessung, weil die hier vorhandenen, grossen Wassermengen für die Erreichung des Gleichgewichtszustandes zu viel Zeit erforderten. Die elektrische Leistung wurde durch die Strom- und Spannungsmessung über alle Phasen ermittelt.

Die erhaltenen Messergebnisse sind in Tabelle I zusammengestellt, und es muss dazu bemerkt werden, dass die vorgerichtete Heizsaison die Durchführung von Versuchen mit extrem niedrigen Limmatwassertemperaturen nicht mehr ermöglichte; es wurde jedoch durch Drosseln der Limmatwassermenge ein künstlicher Betriebszustand herbeigeführt, der durch erhöhte Abkühlung des Limmatwassers die gewünschte tiefe Durchschnittstemperatur erwirkte, sodass scheinbare Ausflusstemperaturen bis zu $2,75^\circ\text{C}$ erreicht wurden, was allerdings an einigen Stellen des Kaltwasserkreislaufes zur Eisbildung führte. Es muss aber festgehalten werden, dass Limmatwassertemperaturen unter 3°C nur in selten kalten Wintern wie dem von 1939/1940 auftreten,

Abb. 14. Versuchsanordnung für die Abnahmeversuche an der Wärmepumpenanlage

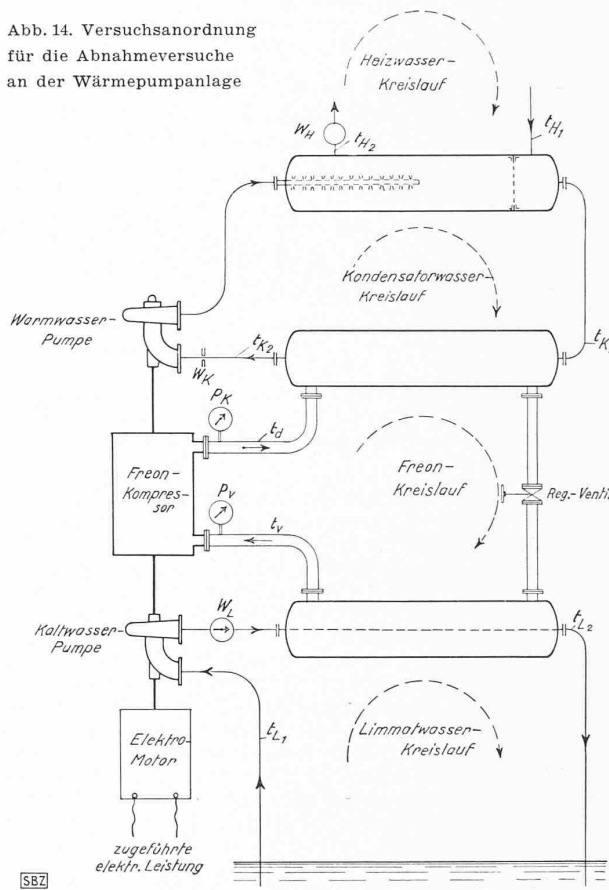


Tabelle 1

	Versuche				
	1	2	3	4	5
Limmatwasserkreislauf					
Eintrittstemp. t_{L_1} $^\circ\text{C}$	9,3	9,4	9,5	9,8	9,8
Austrittstemp. t_{L_2} $^\circ\text{C}$	7,65	7,1	6,5	6,55	6,84
Wassermenge W_L m^3/h	22,1	22,38	22,38	14,09	12,0
Wärmemenge Q_L kal/h	36 600	51 000	66 300	46 000	(36 500)
Kondensatorwasserkreislauf					
Eintrittstemp. t_{K_1} $^\circ\text{C}$	52,74	42,32	30,22	33,9	33,2
Austrittstemp. t_{K_2} $^\circ\text{C}$	57,47	47,7	36,58	38,8	37,8
Wassermenge W_K m^3/h	15,8	15,95	15,85	15,88	16,2
Wärmemenge Q_K kal/h	74 700	85 700	100 200	77 500	74 500
Heizwasserkreislauf					
Eintrittstemp. t_{H_1} $^\circ\text{C}$	51,7	39,62	29,5	32,28	32,22
Austrittstemp. t_{H_2} $^\circ\text{C}$	57,17	48,06	36,76	38,55	38,23
Wassermenge W_H m^3/h	13,32	10,0	14,62	11,8	11,9
Wärmemenge Q_H kal/h	72 400	84 400	106 000	74 000	71 500
Freonkreislauf					
Verdampfendruck p_V atü	2,65	2,49	2,21	2,0	1,815
Verdampfertemp. t_V $^\circ\text{C}$	3,0	1,61	0,5	-3,2	-5,0
Kondensatordruck p_K atü	15,70	12,73	10,0	10,19	9,9
Kondensatortemp. t_K $^\circ\text{C}$	102,5	84,6	76	60	56,3
Antriebsleistung L kW	47,67	42,78	36,96	36,11	34,99
Wärmeäquivalent A_L kal/h	36 500	32 900	28 500	27 800	27 000
Wärmeausbeute $\frac{Q_K}{L}$ $\frac{\text{kal}}{\text{kWh}}$	1570	2000	2720	2145	2130
Leistungsziffer $\frac{Q_K}{A_L}$	1,81	2,32	3,16	2,49	2,47