

Zehn Jahre Betriebserfahrungen mit Sulzer-Strahlungsheizungen (System Crittall)

Autor(en): **Wirth, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **65 (1947)**

Heft 16

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-55863>

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.

Zehn Jahre Betriebserfahrungen mit Sulzer-Strahlungsheizungen (System Crittall)

DK 697.352

Von Oberingenieur E. WIRTH, Winterthur

1. Einleitung

Vor mehr als zehn Jahren ist von Gebrüder Sulzer im Museum zu «Allerheiligen» in Schaffhausen die erste Deckenheizung in der Schweiz erstellt worden.¹⁾ Wenn jemals gute Erfahrungen den Anreiz zum energischen Weiterverfolgen einer Neuerung gegeben haben, so war es hier der Fall. Die inzwischen erfolgte Verbreitung dieses Heizsystems geht am besten daraus hervor, dass in diesem Dezenium 170 Anlagen mit einer Heizrohrlänge von über 700 km erstellt worden sind. Der Anteil auf verschiedene Gebäudekategorien beträgt nach der Zahl der Anlagen:

Spitäler, Anstalten usw.	20 %
Bürogebäude, Schulhäuser, Museen,	
Werkstätten für Feinmechanik	50 %
Wohnhäuser	30 %

Diese Zahlen widerlegen besser als lange Erklärungen die kritischen und warnenden Stimmen, die, wie bei jeder neuen Entwicklung, anfänglich laut geworden sind. Nach Abschluss dieses Entwicklungsabschnittes dürfte die Bekanntgabe einiger wesentlicher Erfahrungen interessieren.

2. Anwendungsgebiete

Für den Unternehmer war die Ausdehnung der Deckenheizung auf Wohnhäuser in dem oben angegebenen Umfang zunächst etwas unerwartet. Man suchte zu Beginn die Anwendungsgebiete hauptsächlich in Spitälern, Museen, Bürogebäuden, Schulhäusern, Laboratorien, sowie auch in Turn-, Sport- und Badehallen, rechnete aber zuerst nicht mit der eingetretenen Verbreitung in Wohnbauten. Diese ergab sich aber aus dem Bedürfnis nach freierer Raumgestaltung. Die Deckenheizung ermöglicht vor allem grosse Fenster mit tief liegenden Sims, oder direkt bis auf den Boden reichende Fenster (Bild 1) vorzusehen, unter denen Radiatoren von genügender Oberfläche kaum oder gar nicht unterzubringen wären und überdies störend wirken würden. Dann aber haben die guten Betriebserfahrungen und die angenehme Heizwirkung ebenfalls zu dieser Verbreitung beigetragen.

Der Platz unter den Fenstern und Arbeitsplätze an den Fenstern sind auch in Laboratorien, sowie in Räumen für Feinmechanik, Uhren- und Bijouterieherstellung begehrt. Bei besonders feiner Arbeit ist der Wegfall des vom gewöhnlichen Radiator erzeugten Warmluftstromes, der stets auch Staub mitträgt, von Vorteil.

3. Ueber die technischen Vorarbeiten

Eine Heizungsart, die so eng mit dem Bau verbunden ist wie die Strahlungsheizung, muss sorgfältig vorbereitet und nach allen Richtungen hin überlegt sein, wenn sie Erfolg bringen soll. Hierzu gehörten im vorliegenden Fall u. a. auch eingehende Versuche über die Festigkeit und Haltbarkeit der mit den armierten Betondecken kombinierten Heizröhren. Sie



Bild 1. Musikzimmer

wurden in Verbindung mit der EMPA Zürich durchgeführt und sind hier schon eingehend beschrieben worden.²⁾ Später führte man auch ergänzende Messungen in mit der neuen Heizung ausgerüsteten Gebäudedecken durch. Ueber die sich über fünf Jahre erstreckenden Untersuchungen äussert sich Prof. M. Roß zusammenfassend wie folgt:

«Strahlungsheizungsdecken nach dem durch Patente geschützten Ausführungssystem Gebrüder Sulzer, Winterthur, mit zusätzlicher Armierung, zutreffend berechnet, konstruktiv richtig durchgebildet, in hochwertigem Beton erstellt und mit Sonderheizröhren bewehrt, bieten äusserst beachtenswerte bautechnische und wirtschaftliche Vorteile. Infolge einer in Wirklichkeit durch die mitttragenden Heizspiralen im Mittel etwa 30%igen Ueberarmierung werden die Verformungen verringert, der Rissbildungsgefahr vorgebeugt, höhere statische und dynamische Tragfähigkeiten erzielt und der Widerstand gegen abnormale Krafteinwirkungen und höhere Gewalt — Geschosse, herabfallende Massen, Erdbeben — gesteigert.»

Ein tragischer Vorfall hat dieses Urteil bestätigt. Anlässlich der Bombardierung der Stadt Schaffhausen am 1. April 1944 erhielt der Westtrakt des Museums zu «Allerheiligen» den Volltreffer einer Sprengbombe von etwa 50 kg. Diese Bombe durchschlug die Dachhaut und die Decke über dem zweiten Obergeschoss und explodierte über der Decke des ersten Obergeschosses. Bild 7 zeigt die Wirkung: Die

¹⁾ Vgl. SBZ, Bd. 113, S. 163* (1. April 1939).

²⁾ Vgl. SBZ, Bd. 118, S. 161*, 169* (Oktober 1941).

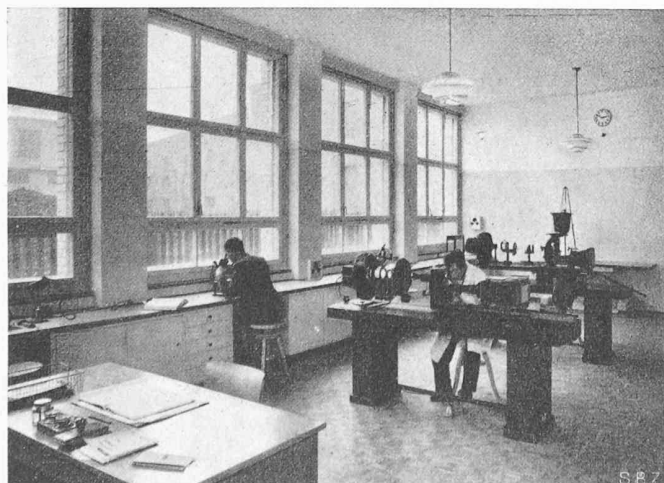


Bild 2. Physikalisches Laboratorium

Bild 3 (rechts). Präzisionsarbeit in einem Uhrenatelier



Decke des zweiten Obergeschosses wurde auf der südlichen Seite aus ihrem Auflager herausgerissen und ist auf die untere Decke herabgesunken. Diese obere Decke, die durch die Rohre der Deckenheizung verstärkt war, hat eigentlich weniger gelitten als die darunterliegende Decke ohne Heizspiralen. Bild 4 zeigt das Loch in der oberen und Bild 5 den Durchbruch in der unteren Decke.

An Ausschnitten aus der herabgesunkenen Decke wurden in der EMPA eingehende Versuche über den Zustand der Heizröhren bezüglich Haftfestigkeit und Korrosionen gemacht. Die statische und Ermüdungshaftfestigkeit im Beton hat sich gegenüber dem ursprünglichen Zustand, trotz dem siebenjährigen Heizbetrieb und der aussergewöhnlichen Beanspruchung durch den Explosionsschock nicht verändert. Prof. M. Roß fasst seinen diesbezüglichen Bericht wie folgt zusammen:

«Siebenjährige Betriebsdauer und erlittene Bombardierung vermochten die bautechnische Solidität der Eisenbetondecke mit Strahlungsheizung System Gebrüder Sulzer nicht nachteilig zu beeinträchtigen. Die Haftfestigkeit der Heizrohre im Beton hat nicht gelitten. Korrosionsangriffe waren nicht vorhanden.»

Unabhängig von dem unglücklichen Fall in Schaffhausen mit der gewaltsamen Beanspruchung sind an verschiedenen ausgeführten Deckenheizungsanlagen nach mehrjährigem Betrieb mehrmals Ueberprüfungen des baulichen Zustandes gemeinsam mit Fachleuten der EMPA durchgeführt worden, die in jeder Beziehung befriedigten. Rissbildungen, die auf die Strahlungsheizung hätten zurückgeführt werden können, sind nicht aufgetreten. Die gemachten guten Erfahrungen rechtfertigen es nunmehr, grössere Spannungen sowohl für die Heizrohre als auch für die zusätzlichen Armierungseisen zuzulassen.

4. Bemerkungen zur Montage

Eine weitere Voraussetzung für den Erfolg bildete das Beobachten aller jener Massnahmen, die eine einwandfreie Durchführung der Montage, vor allem auch das Ausführen zuverlässiger und fehlerfreier Schweissungen, sicherstellen. Der Monteur stellt meistens auf dem Bauplatz, also hin und wieder unter durch Witterung und Platzverhältnisse erschwerten Bedingungen, die einzelnen Heizelemente nach den Montageplänen durch Abbiegen gerader Röhren und Zusammenschweissen der einzelnen Rohrstücke her. Die bisher auf diese Weise in der Schweiz verarbeiteten über 700 km Rohrschlangen erforderten rd. 150 000 Schweisstellen. Diese müssen gegen inneren Wasserdruk dicht sein, die Festigkeit der unverletzten Rohre aufweisen und dürfen den Wasserdurchgang nicht durch ins Innere ragende Schweissperlen u. dgl. behindern. Diese Bedingungen erfordern nicht nur eine sorgfältige fachtechnische Schulung, sowie grosse Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit der Monteure, sondern veranlassen auch gewisse konstruktive Massnahmen vorzukehren und eine zweckentsprechende Montagekontrolle zu organisieren. So sichern die durchwegs verwendeten geschützten Einlageringe, Bild 9, den freien Durchgang an den Schweisstellen. Periodisch werden Montageschweissungen herausgeschnitten und

auf der Zerreißmaschine geprüft. Jedes fertiggestellte Rohrelement prüft man mit einer Kugelprobe auf freien Durchgang. Diese Vorsichtsmassnahmen haben sich ausgezeichnet bewährt, und es sind noch nirgends nach dem Fertigstellen des Baues Undichtheiten oder andere nachteilige Erscheinungen festgestellt worden.

5. Die Zusammenarbeit mit dem Architekten

Die Deckenheizung erfordert schon beim Festlegen des Bauentwurfs die Aufmerksamkeit des bauleitenden Architekten, denn sie bildet einen integrierenden Bestandteil des Baues selbst und beeinflusst damit die ganze Baukonstruktion. Eine enge Zusammenarbeit des verantwortlichen Architekten mit dem Heizungsingenieur und dem Baustatiker ist unumgänglich und muss vom Beauftragten der Bauherrschaft während der Projektierung und der Bauausführung fortwährend aufrechterhalten werden. Ist einmal der Rohbau erstellt, so sind auch die Arbeiten an der Heizung abgeschlossen und der Architekt hat sich nicht mehr mit ihnen zu befassen. Alle die vielen lästigen Fertigstellungsarbeiten, die bei Radiatorenheizungen nötig sind, viel Aufmerksamkeit erfordern, die Fertigstellung des Baues verzögern und erhebliche Kosten verursachen, fallen weg: Es gibt kein Offenlassen und nachheriges Verschliessen von Mauerdurchbrüchen für Heizleitungen, kein Einmauern von Rohrschellen und Radiatorträgern, keine Isolierung von Steigleitungen, kein Abschrauben, Anstreichen und Wiederanschrauben der Radiatoren usw.

Es ist hier nochmals an die elementare Tatsache zu erinnern, dass die Deckenheizung ein integrierender Bestandteil des betreffenden Gebäudes darstellt und demzufolge die gleiche Lebens- und Betriebsdauer hat wie der Bau selbst. Es ist einleuchtend, dass dazu beim Aufrichten des Gebäudes, sowie bei der Montage und beim Betrieb der Heizung eine Summe von Massnahmen getroffen und von Erfahrungsregeln eingehalten werden müssen. Hier ist nicht der Ort, sie alle aufzuzählen.

6. Die physiologische und hygienische Wirkung

Ein guter Teil der Entwicklungsarbeiten musste auf die eindeutige Feststellung der physiologischen Wirkung verwendet werden. Die damals bekannten Behaglichkeitsmassstäbe³⁾ gaben nicht genügend Gewähr, da sie zum Teil auf subjektiven Behaglichkeitsempfindungen aufgebaut waren, so z. B. auf praktischen Versuchen mit verschiedenen Personen, die je nach dem Verwendungszweck des betreffenden Raumes verschiedene Arbeitsleistungen zu verrichten hatten. Schon zu Beginn der Entwicklungsarbeiten hat Gebrüder Sulzer eine Begutachtung durch Prof. W. v. Gonzenbach⁴⁾ eingeholt und in Zusammenarbeit mit ihm ein Instrument entwickelt, das auf physikalischer Grundlage beruht; es stellt gewissermassen einen künstlichen Menschen dar und erlaubt die wirkliche Entwärmung objektiv festzustellen. Das Kata-Thermometer

³⁾ Ueber die Behaglichkeitsmassstäbe hat Ing. M. Hottinger kürzlich sehr übersichtlich berichtet: SBZ, 65. Jg., S. 98*, 107*.

⁴⁾ Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung, LA-Sondernummer 1939 und Gesundheitsingenieur 1938, H. 39 und 1939, H. 3.



Bild 4. Durchschlag in der obern Decke, Loch rd. 0,2 m Ø



Museum Allerheiligen
in Schaffhausen, Bombardierung vom 1. April 1944

Bild 5. Beschädigung in der untern Decke, Loch rd. 1 bis 1,25 m Ø

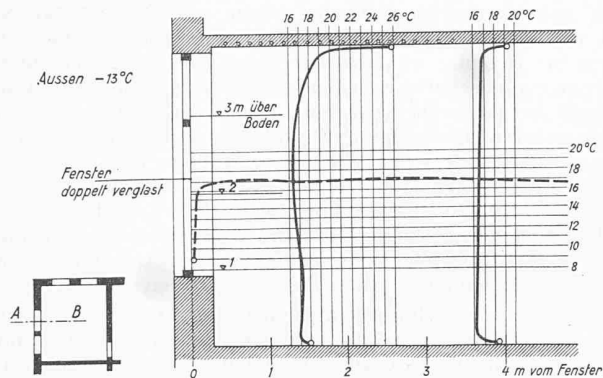


Bild 6. Temperaturmessungen in einem Schulzimmer, Messungen in der Vertikalebene A-B

von Hill wurde zu diesem Zwecke weiter entwickelt, wobei statt der Bluttemperatur die Oberflächentemperatur des bekleideten Menschen eingeführt und die Wärmeabgabe nach Konvektion und Abstrahlung unterteilt wurde. Elektrisch betätigte Stoppuhren erleichtern die Ablesung und damit praktische Messungen in ausgeführten Bauten. Bild 8 zeigt das ganze Instrumentarium. Die schwarze Kugel links misst die gesamte Wärmeabgabe, die glänzende rechts nur die Konvektion. Farben und Oberflächenbeschaffenheit der Kugeln mussten besonders ausprobiert werden, da die stofflichen Eigenschaften «glänzend» und «schwarz» bei verschiedener Wellenlänge der Strahlen verschieden sind und für Licht und Wärme nicht übereinstimmen.

Die Messungen bestätigten zunächst den grossen Wert eines physikalischen, von subjektiven Empfindungen freien Instrumentes. Wenn seinerzeit behauptet wurde, dass Luft von 40°C bei einer Wandtemperatur von 13°C kälter empfunden werde, als Luft von -3°C bei einer Wandtemperatur von 28°C ⁵⁾, so zeigten die Messungen, dass solche Aussagen direkt widersinnig sind. Sie können nur zu Verwirrungen führen.

Hunderte von durchgeführten Messungen mit dem «künstlichen Menschen» ergaben, dass in strahlungsgeheizten Räumen die Wärmeabgabe durch Abstrahlung vom menschlichen Körper immer geringer ist als die durch Konvektion, während die Verhältnisse bei der Radiatorenheizung gerade umgekehrt sind. Das Ergebnis ist begreiflich, denn bei der Strahlungsheizung sind die Decken-, Wand- und Fussbodentemperaturen höher als bei der Radiatorenheizung. Demzufolge ist eine grössere Wärmeabgabe durch Konvektion nötig und die Raumtemperatur kann tiefer gehalten werden. Diese Tatsache ist von grosser Bedeutung, weil niedere Lufttemperaturen hygienisch zuträglicher sind als hohe.

Erfahrungsgemäss werden die selben Entwärmungsverhältnisse des Menschen bei ein bis zwei Grad tieferer Lufttemperatur erreicht. Damit entfernt man sich deutlich vom

⁵⁾ Siehe Fussnote 4).

Begriff und vom Gefühl überheizter Räume, die nicht mehr Komfort und Behaglichkeit, sondern Verweichlichung bedeuten und zu vermehrten Erkältungskrankheiten der Atmungsorgane Anlass geben. Lufttemperaturen von 20°C und mehr waren bei Radiatorheizungen vor dem vergangenen Kriege üblich, haben zu Brennstoffvergeudung geführt, ohne hygienische Vorteile zu bieten. Die Sparmassnahmen während der Kriegszeit mit den beschränkt geheizten Räumen haben dies bewiesen, und wenn die Strahlungsheizung einen neuen Begriff der Behaglichkeit einzuführen imstande ist, der das Gegenteil der mit der Ueberheizung verbundenen Nachteile bringt, dürfen wir dafür nur dankbar sein. Bild 6 zeigt eine der vielen Untersuchungen über Temperaturverhältnisse in einem strahlungsgeheizten Raum.

Am zuverlässigsten dürften in dieser Beziehung wohl die Beobachtungen der Aerzte an sich selbst und an den Kranken sein, die in mit Deckenheizung versehenen Räumen untergebracht sind. Hier liegen durchwegs sehr positive Zeugnisse vor, und zwar aus Anstalten, bei denen alte Teile mit Radiator- und Neubauten mit Strahlungsheizung ausgerüstet sind. Ein direkter Vergleich ist also möglich. Die Aerzte sind der Auffassung, dass die Strahlungsheizung ein gesundes und natürliches Zimmerklima ergibt, während in den mit Radiatorheizung versehenen Räumen die Temperatur meistens höher ist und drückend empfunden wird. Das eine Gutachten geht dahin, dass man allen Spitälern wünschen möchte, der Wohltat dieser neuen Heizung teilhaftig zu werden. In einzelnen Fällen sind weitere Vorzüge, wie die rasche Heilung von Asthmakranken in strahlungsgeheizten Räumen, hervorgehoben worden. Diese hygienischen Vorteile waren zum guten Teil der Grund, warum auch so viele Wohnhäuser mit Strahlungsheizung ausgerüstet worden sind.

Die Feststellung, dass bei der Deckenheizung stets noch eine Abstrahlung vorhanden ist, und zwar bezogen auf die Oberflächentemperatur des bekleideten Körpers mit etwa $24,5^{\circ}\text{C}$, besagt ohne weiteres, dass auch eine Einstrahlung auf den Kopf, der höhere Oberflächentemperaturen besitzt, nicht eintritt. Man kann allerdings durch extreme Ueberheizung Verhältnisse schaffen, bei denen die wärmestrahlende Decke empfunden wird, doch gehen diese weit über die normalen Betriebszustände hinaus.

7. Die Speicherwirkung

Eine grössere Wärmehaltung der Deckenheizung ist unbestritten, und erfahrungsgemäss bedingt sie einen etwas anderen Betriebsfahrplan. Nun erfährt man heute Wetterstürze im Radio-Nachrichtendienst schon am Vortag, während man früher auf die alte Erfahrungsregel angewiesen war, dass die Aussentemperatur abends 9 Uhr einen guten Anhaltspunkt für die Temperaturentwicklung des folgenden Tages gibt. Man kann also bei einiger Aufmerksamkeit die Wetterlage vorausbestimmen — wie es jeder Bauer ja auch tun muss — und seine Massnahmen rechtzeitig treffen.

Auch mit der Strahlungsheizung kann man raschen Änderungen in der Aussentemperatur begegnen. Solche wirken sich übrigens bei gewöhnlichen Bauten, abgesehen



Bild 7. Museum zu Allerheiligen, Schaffhausen. Zerstörungen im Westtrakt

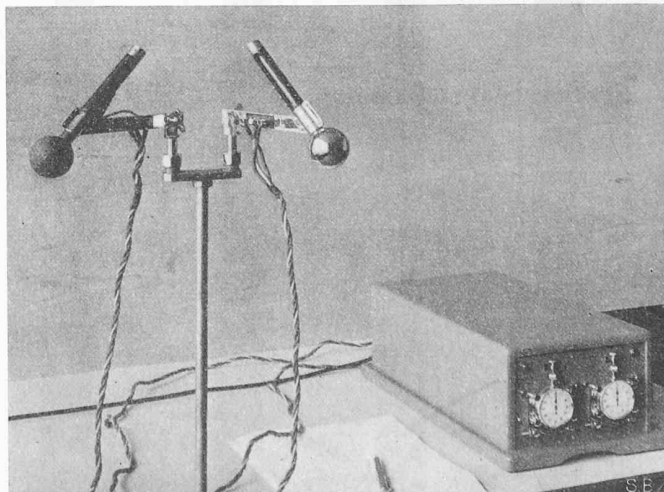


Bild 8. Entwärmungsmesser Sulzer. Links Kata-Thermometer, rechts elektrische Registrierung der Abkühlzeiten

von den Fensterflächen, nicht sofort aus, weil sich schon in einer normalen Mauer die entsprechende Temperaturverschiebung nur mit wesentlichen zeitlichen Verzögerungen vollzieht. Es sind bei Strahlungsheizungen Aufheizgeschwindigkeiten von $1,5^{\circ}\text{C/h}$ gemessen worden⁶⁾, also Werte, die sich nicht sehr weit von der Radiatorenheizung entfernen. Eigentliche Aufheizversuche⁷⁾ bestätigten nicht nur diese Beobachtungen, sondern zeigten, dass auch hier die Raumlufttemperatur allein nicht massgebend ist. Beim erwähnten Versuch war nach fünf Stunden Aufheizung gleichwertiger Räume im strahlungsgeheizten Schulzimmer die Temperatur zwar noch niedriger als im radiatorgeheizten, trotzdem war aber die Entwärmung der anwesenden Menschen etwa 20 % geringer, die Behaglichkeit also grösser, weil bereits Decke und Wände wärmer waren.

Am wenigsten leicht lässt sich unerwartet starker Sonneneinstrahlung begegnen, und zwar gilt dies ebenso sehr für die Radiatorenheizung wie für die Deckenheizung. Verschiedene Vergleichsversuche führten zum Ergebnis, dass die Lufttemperatur bei der einen wie bei der andern Heizart ziemlich genau gleich hoch über die Behaglichkeitsgrenze steigt.

Bedingt die grössere Wärmehaltung der Strahlungsheizung einen etwas anderen, vielleicht besser durchdachten Betriebsfahrplan, so bietet sie auch verschiedene betriebstechnische Vorteile: Sie gestattet Betriebsunterbrechungen von mehreren Stunden, ohne dass solche in den geheizten Räumen spürbar werden. Dabei hat die Deckenheizung psychologisch den grossen Vorteil, dass die Heizflächen normalerweise nicht berührt werden können. Dies spielt bei der subjektiven Empfindung des Heizeffektes eine bedeutende Rolle: Ein vorübergehend kalter Radiator verleitet leicht zum Gefühl, es werde im betreffenden Raum zu wenig geheizt.

Die Möglichkeit der Betriebsunterbrechung über einige Stunden erlaubt, den Betriebsfahrplan für die Wärmeversorgung eines Gebäudes sehr weitgehend ändern, vordringliche Heizaufgaben anzupassen und gleichzeitig Laständerungen in der Wärmeerzeugungsanlage zu mildern. So können z. B. in komplizierten Betrieben, wie Spitälern, bei hohem Wärmebedarf zum Kochen oder für die Frischluftung Heizpausen eingeschaltet werden. Die Bedienung kohlegefeuerter Heizkessel wird dadurch wesentlich vereinfacht und der mittlere Feuerungswirkungsgrad verbessert. Ähnliches gilt auch für Fernheizungen, bei denen die Fernleitungen bekanntlich im Interesse der Wirtschaftlichkeit nicht überdimensioniert werden sollen. Auch bei elektrischen Wärmequellen wirkt

sich das Vermeiden von Lastspitzen günstig auf das Netz aus und rechtfertigt einen günstigeren Stromtarif, besonders wenn die Heizung während der Belastungsspitzen (Licht und Kochen) abgeschaltet werden kann. In besonderen Fällen konnte die Deckenheizung bis zu ziemlich niedrigen Aussentemperaturen überhaupt nur mit billigem Nachtstrom betrieben werden, indem der Wärmebedarf über Tag dem im Gebäude aufgespeicherten Vorrat entnommen wurde. Man ist sich heute allgemein gewohnt, Lastspitzen durch besondere Wärmespeicher auszugleichen. Die Deckenheizung erschliesst eine solche Ausgleichsmöglichkeit in den Gebäuden selber, die keine besonderen Anlagekosten verursacht.

Die eben erwähnten Tatsachen sind durch sehr positive Zeugnisse bestätigt worden, die zum guten Teil aus Spitalkreisen stammen. So wird in einem Spital, das in ausgesprochener Föhnlage steht, gemeldet, dass sich Patienten und Pflegepersonal nie irgendwie über ungenügende oder unangenehm wirkende Erwärmung der Zimmer geäußert hätten, wobei das psychologische Moment mitspielt, dass der Patient keinen Heizkörper sieht und ihn nicht durch Berühren kontrollieren kann. Ein weiterer Vorteil einer gewissen Wärmehaltung ist der Umstand, dass die Räume auch nach ausgiebiger Fensterlüftung rasch wieder durchwärmt sind. In einer Anstalt, deren Heizkessel in der Nacht abgestellt werden, wurde beobachtet, dass jeweilen am Morgen die Temperatur in den deckengeheizten Räumen angenehmer ist als in den Räumen, die durch Heizkörper erwärmt werden, und dass die Temperatur bei der Deckenheizung nach dem Wiederinbetriebsetzen rasch ansteigt.

8. Wirtschaftlichkeit

Einsparungen im Brennstoffverbrauch sind begründet durch die niedrigeren Temperaturen der Luft, der Fenster und des Heizwassers in den Verteilungen, wodurch naturgemäss die Wärmeverluste geringer werden. Solche Einsparungen sind auch durch Betriebsbeobachtungen ausgewiesen. Man darf bei sachgemäss geführten Betrieben bei der Strahlungsheizung mit einer Brennstoffersparnis von rd. 15 % rechnen.

9. Verbindung mit der Wärmepumpe

Die niedrigen Heizwassertemperaturen der Deckenheizung sind nicht nur vorteilhaft wegen der Behaglichkeit, des Wegfalles der Staubversengung und Verminderung der Wärme-

⁶⁾ SBZ, Bd. 113, S. 163* (1. April 1939).

⁷⁾ Schweiz. Blätter für Heizung und Lüftung 1946, H. 1, S. 16.

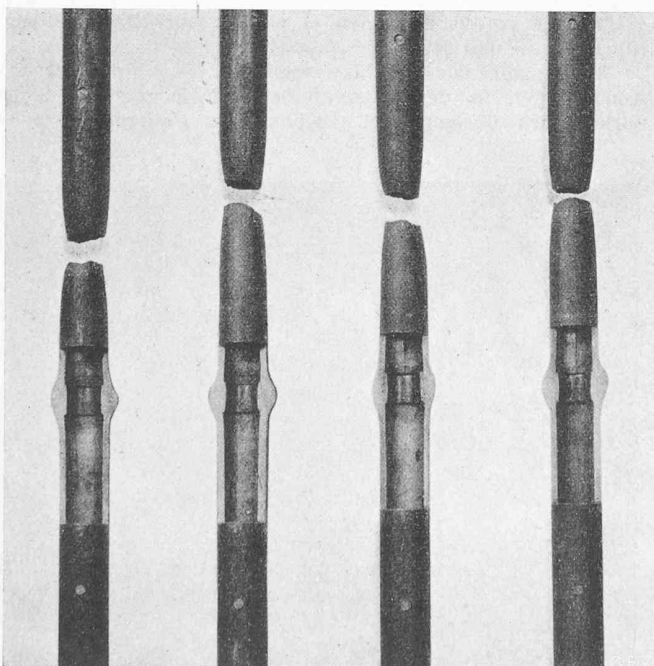


Bild 9. ZerreiBproben an Rohrausschnitten mit Schweißungen

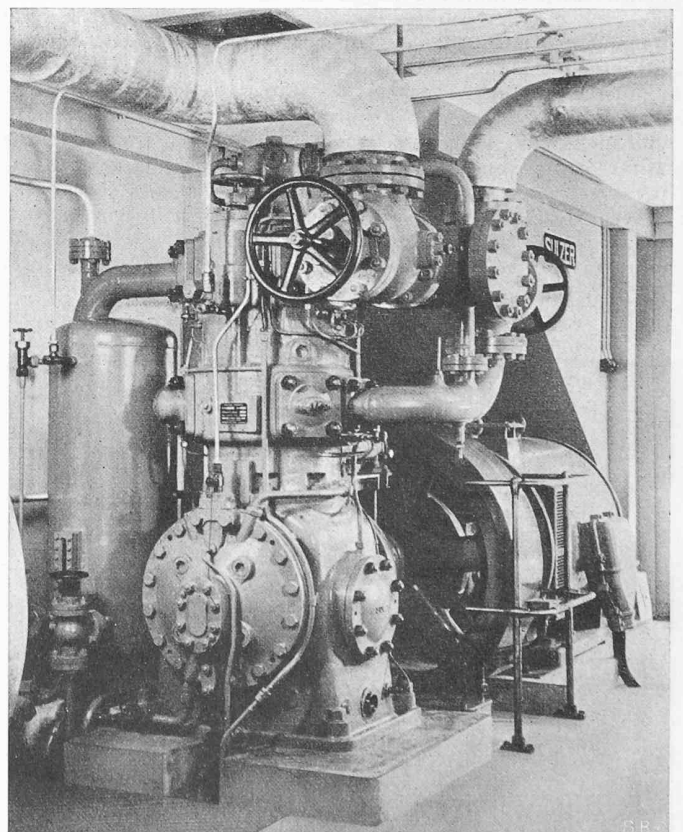


Bild 10. Wärmepumpe für 360 000 kcal/h Heizleistung für Deckenheizung und Luftkonditionierung

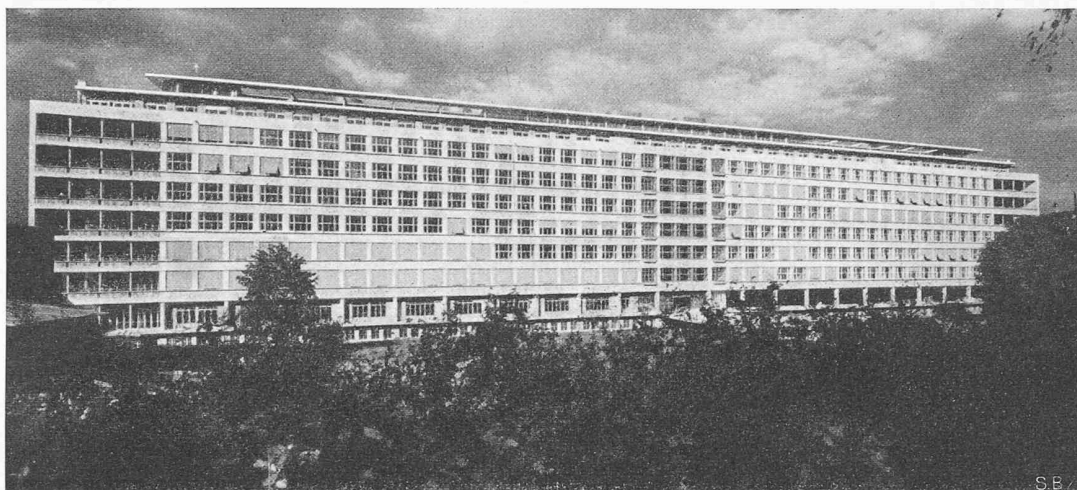


Bild 11. Südfassade des Bettenhauses des Bürgerspitals Basel mit Deckenkühlung

verluste im Rohrleitungsnetz, sondern auch in Verbindung mit einer Wärmepumpenanlage. Der Ausdruck «Pumpe», der aus Analogie zur Wasserpumpe entstanden ist, deutet an, dass eine solche Einrichtung für eine gegebene Wärmetransportleistung umso weniger Antriebsenergie benötigt, je kleiner das Temperaturgefälle ist, um das die Wärme hinaufgepumpt werden muss. Während man bei gewöhnlichen Radiatorheizungen mit der Wasser-Vorlauftemperatur schon bei mittleren Heizleistungen die Grenze von 50°C überschreiten muss, bedeutet diese Temperatur für die Strahlungsheizung das oberste Maximum, während die mittleren Vorlauftemperaturen um 30°C liegen. Solche Temperaturen sind für eine Wärmepumpe ausserordentlich günstig und führen zu einer guten Wirtschaftlichkeit.

Besonders vorteilhaft wirkt sich die Wärmehaltung der Deckenheizung in Verbindung mit der Wärmepumpe aus. Reine Wärmepumpenheizungsanlagen erfordern Winterstrom, der während der Licht- und Kochspitzen möglichst ausgeschaltet werden sollte. Die Wärmehaltung der Deckenheizung erlaubt nicht nur, solche Sperrzeiten ohne Nachteil zu überbrücken, sondern bis zu Aussentemperaturen von $\pm 0^\circ\text{C}$ überhaupt nur mit billigem Nachtstrom zu heizen.

10. Verbindung mit der Abwärmeverwertung

Analoge Verhältnisse trifft man in Fällen, wo Abwärmequellen von 40 bis 50°C zur Verfügung stehen, die zur Bedienung von industriellen oder gewöhnlichen Radiatorheizungen nicht mehr ausreichen. In der Deckenheizung können sie

kommt. Die Wärmehaltung der Deckenheizung hilft auch hier mit, den Ausgleich zu schaffen und vorteilhafte Betriebsfahrpläne festzusetzen. In diese können auch gewöhnliche Radiatorheizungen einbezogen werden.

Der vergangene Winter hat uns die wichtige Aufgabe thermischer Spitzenwerke in trockenen Wintern eindrücklich vor Augen geführt. Die Verwendung der in solchen Werken anfallenden Abwärme zur Winterheizung ist wirtschaftlich von Bedeutung, gilt es doch heute, wie in Zukunft den importierten Brennstoff möglichst weitgehend auszunützen. Hierzu würde sich die Deckenheizung aus den genannten Gründen besonders gut eignen.

11. Kühlen im Sommer

Ueber die Verwendung von Deckenheizungsanlagen zur Kühlung der Raumluft im Hochsommer ist hier bereits eingehend berichtet worden⁸⁾. Inzwischen ist dieses Verfahren in der Schweiz in verschiedenen grösseren Bauten, so auch in Bürogebäuden und Spitälern, mit ausgezeichnetem Erfolg angewendet worden. Man leitet dabei das Betriebswasser statt durch den Heizkessel durch einen Kühlapparat, in dem es durch Leitungs- oder Grundwasser auf das richtige Mass abgekühlt wird. In den Räumen auf der Sonnenseite, die vor allem in Spitälern, dann aber auch in Bureaugebäuden bevorzugt werden, kann auf diese Weise, in den verhältnismässig wenigen heissen Tagen unseres Klimas, eine sehr angenehme Raumtemperatur geschaffen werden, die rund 3° unter der Schattentemperatur im Freien liegt.

Ohne künstliche Kühlung ist es an solchen Tagen unangenehm schwül, wobei es wegen der geringen Häufigkeit nicht immer wirtschaftlich ist, eine eigentliche Klimaanlage aufzustellen. Die unbehagliche Schwüle kann besonders für die Kranken schädlich sein oder die Arbeitsleistung des Bureaupersonals empfindlich beeinträchtigen. Aber auch in Wohnräumen wird die Deckenkühlung sehr geschätzt.

Neu ist die Verbindung der Deckenkühlung mit einer unserem Klima angemessenen Luftkonditionierungsanlage, wie sie z. B. für ein Bureaugebäude ausgeführt wurde, von dem Bild 12 einen Raum zeigt. Die Kühlwirkung der Decke wird hier durch Einführen einer verhältnismässig bescheidenen Menge Frischluft ergänzt. Als Kühlmittel kann das selbe Leitungswasser dienen, das zunächst zum Kühlen der Luft und dann zum Kühlen des Wasserinhaltes der Deckenkühlung benützt wird. Trotz der grossen Fensterflächen und auch bei starker Sonnenbestrahlung wird mit dieser Kombination eine sehr weitgehende Kühlwirkung erzielt. Auch das auf Bild 3 dargestellte Uhren-



Bild 12. Bureau mit Deckenkühlung und Luftkonditionierung

⁸⁾ SEZ, Bd. 112, S. 237* (12. Nov. 1938).

macheratelier ist mit Deckenheizung im Winter und mit Deckenkühlung, verbunden mit Lüftung durch gekühlte Frischluft im Sommer, ausgerüstet.

Von welchem Standpunkt aus man die Strahlungsheizung auch betrachtet und in welcher Verbindung man sie immer anpackt, stets bietet sie eine interessante Seite.

Elektrokinetische Erscheinungen und ihre Anwendung in der Bodenmechanik

DK 624.138.37

Von Dipl. Ing. W. SCHAAD und Ing. Dr. sc. techn. R. HAEFELI, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E. T. H., Zürich

1. Einleitung

Seit dem Jahre 1935 beginnt sich in der Erdbaumechanik ein neues Teilgebiet abzuzeichnen, in dem neben der bis dahin üblichen mechanischen Betrachtung, Behandlung und Beurteilung der Bodenarten eine weitere physikalische Grösse, die Elektrizität, Anwendung fand. Dass dabei auch zwangsläufig der Chemismus der Bodenarten mitbeachtet werden muss, ergibt sich von selbst, da mit der Einwirkung elektrischer Ströme auf Lockergesteine auch chemische Reaktionen auftreten.

Ein erstes Anwendungsgebiet ergab sich aus dem Versuch, durch elektro-chemische Einwirkung und die damit verbundenen Umsetzungen gewisser Ionengruppen die Böden zu verfestigen und somit durch Anlagerung unlöslicher bzw. schwer löslicher Substanzen den chemischen Kornaufbau der Böden dauernd zu stabilisieren [1 bis 8]¹⁾. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit elektrischer Gleichströme besteht in der damit erzielten Entwässerung feinkörniger Bodenarten, die nachfolgend als *Elektroentwässerung* bezeichnet wird [8 bis 16].

Die in der Praxis bei der Entwässerung feinkörniger Bodenarten angetroffenen Schwierigkeiten, sowie die in Deutschland durchgeführten Versuche, solcher Schwierigkeiten auf elektrokinetischem Wege Herr zu werden, führten die Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E. T. H. dazu, den ganzen Fragenkomplex systematisch zu behandeln. Die Ueberzeugung, dass es sich dabei um das Studium von Vorgängen und Methoden handelt, denen eine allgemeinere Bedeutung zukommt, berechtigte zur Anfrage um finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten durch die Eidg. Stiftung zur Förderung der Schweizerischen Volkswirtschaft durch wissenschaftliche Forschung. Nachdem ein namhafter Beitrag zur Durchführung eines konkreten Programms bewilligt worden war, wofür wir auch an dieser Stelle der Stiftung unseren besten Dank aussprechen möchten, wurde als erstes Gebiet das Studium der Elektroentwässerung in Angriff genommen.

Die theoretischen Grundlagen der Elektrokinetik waren im Zeitpunkt des Beginns unserer Untersuchungen der Literatur des Bauingenieurwesens ziemlich fern oder fehlten teilweise überhaupt. Das 1943 aufgestellte Versuchsprogramm hatte deshalb — von elementaren Versuchen an Kapillaren ausgehend — die Abklärung aller Fragen, die mit diesem Gebiet zusammenhängen, zum Ziele, wie z. B. die Fragen des Einflusses der Elektrizität auf die Zähigkeit des Wassers, der Gültigkeit des Gesetzes von Darcy, der Beeinflussung der Kapillarspannungen durch elektrische und atmosphärische Vorgänge und deren Bedeutung für die Bodenmechanik, der Mechanik des Abtropfvorganges, sowie der Einwirkung der Elektrizität auf die Porenwasserströmung nebst der dadurch bedingten Beschleunigung von Setzungen. Damit verbunden war auch ein eingehendes Studium über die bisherigen Forschungen im Gebiet der Elektromose, welche die massgebende Ursache der Elektroentwässerung darstellt. Die theoretischen Fragen dieses letztgenannten Gebietes wurden durch die bisherige Arbeit ziemlich weitgehend abgeklärt und werden deshalb im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung in erster Linie behandelt.

Der Braunkohlengesellschaft Zell A.-G. und ihrem Ing. C. Baessler, wie auch der Firma Swissboring, die dem Problem rege Aufmerksamkeit schenken, sind wir zu besonderem Dank verpflichtet. Die erstgenannte Firma ermöglichte es, in einem für die Anwendung des Elektroentwässerungsverfahrens geeigneten Gebiet praktische Versuche durchzuführen, die durch Dir. Ch. Blatter von der Swissboring in Zusammenarbeit mit dem Erdbaulaboratorium überwacht wurden. Die Swissboring ist Lizenzinhaberin eines speziellen Elektroentwässerungsverfahrens.

¹⁾ Die in eckigen Klammern enthaltenen Nummern beziehen sich auf das am Schluss angefügte Literaturverzeichnis.

2. Grundlagen der Elektroentwässerung

Das Prinzip der Aktivierung des Grundwassers durch einen elektrischen Gleichstrom sei anhand von Bild 1 erläutert. Wird in einen Filterbrunnen eine Elektrode, z. B. ein Gasrohr eingetaucht, an einem andern Punkt eine weitere Elektrode in den Boden eingerammt und beide Elektroden an eine Gleichstromquelle angeschlossen, so entsteht im Boden ein elektrisches Feld. Dabei fliesst ein Teil des elektrischen Stromes von der positiven zur negativen Elektrode durch das Grundwasser bzw. das im Grundwasser befindliche Bodenmaterial. Bei feinkörnigen Böden, die normalerweise nicht

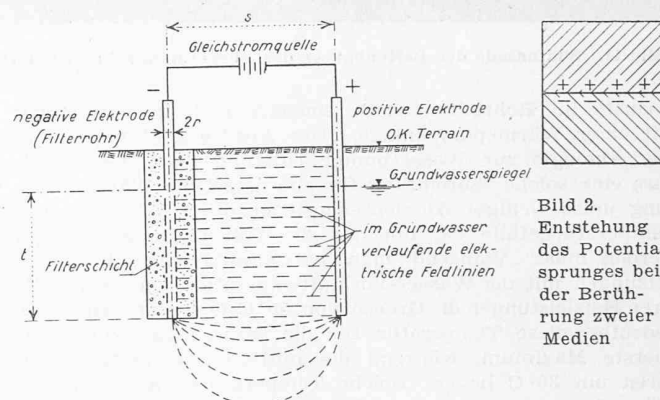


Bild 1. Schema eines elektromotisch betriebenen Filterbrunnens

mehr oder nur schwer mit den üblichen mechanischen Verfahren der Grundwasserabsenkung entwässert werden können, entsteht in den Kapillaren die Erscheinung der Elektromose, die später erläutert wird. Dadurch werden bei geeigneter Wahl der Stromrichtung die Wasserteilchen durch die Poren in Richtung der elektrischen Feldlinien zum Brunnen transportiert, wodurch eine weit grössere Wasserförderung als unter dem natürlichen hydraulischen Gefälle entsteht.

Der Grund dieses Transportes liegt in der Berührungselektrizität (Bild 2). Beim Zusammentreten zweier verschiedener Körper entstehen zwischen den gebundenen, aber doch um ein gewisses Mass beweglichen Elektronen bzw. Ionen des einen und des andern Materials elektrische Kräfte. An der Trennfläche wirkt eine elektrische Spannungsdifferenz, wobei die sich berührenden Körper mit einem Plattenkondensator vergleichbar sind. Eine analoge Erscheinung prägt sich namentlich stark aus, wenn zwei verschiedene Metalle mit relativ grossem Potentialsprung durch einen Elektrolyten (zum Beispiel Leitungswasser) leitend verbunden sind, der die Stromleitung vom einen zum andern Metall ermöglicht. Infolge des Potentialsprunges entsteht ein elektrolytischer Prozess, der zu den bekannten, an Berührungsstellen ver-

Tabelle 1. Normalpotentiale von Metallen (aus [17])

Metall	Normalpotential Volt	Lösungsbestreben
Magnesium	— 1,80	Hohes Lösungsbestreben
Aluminium	— 1,34	
Zink	— 0,77	
Eisen	— 0,44	
Kadmium	— 0,42	
Kobalt	— 0,23	
Nickel	— 0,20	
Zinn	— 0,14	
Blei	— 0,13	
Wasserstoff	± 0,00	
Kupfer	+ 0,34	Geringes Lösungsbestreben
Silber	+ 0,80	
Gold	+ 0,99	