

Aus der Entwicklungsgeschichte der Wärmepumpe

Autor(en): **Wirth, Elias**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **73 (1955)**

Heft 42: **100 Jahre Eidg. Technische Hochschule**

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-62006>

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.

Aus der Entwicklungsgeschichte der Wärmepumpe

Von Elias Wirth, Dipl. Masch.-Ing. ETH, Aarau

Bei Anlass des hundertsten Geburtstages der Eidgenössischen Technischen Hochschule dürfte es angezeigt sein, die Entwicklung eines technischen Verfahrens rückblickend kurz zu verfolgen, das in unserem Land besonders gefördert wurde und dessen Anfänge auf die Gründungszeit unserer alma mater zurückgehen. Am Anfang aller technischen Entwicklung steht die Not; sie gibt dem Menschen Kraft, trotz Schwierigkeiten neue Erkenntnisse zu verwirklichen. Auch die Wärmepumpe ist ein Kind der Not. Sie erfuhr gerade in unserem Lande seit 1917 eine starke Förderung, weil uns eigene Brennstoffe praktisch weitgehend fehlen und wir unsere Wasserkräfte als unseren grössten Naturreichtum so wirtschaftlich als möglich ausnützen müssen, um die Lebensbedürfnisse unserer dichten Bevölkerung trotz der sonstigen Kargheit des Bodens befriedigen zu können. Der Verfasser beschränkt sich im vorliegenden Aufsatz auf die Bekanntgabe einiger persönlicher Erinnerungen, die zeigen sollen, wie man auch mit sehr einfachen Mitteln wertvolle Lösungen schaffen kann.

J. A. Ewing, ehem. Professor für Maschinenlehre und angewandte Mechanik an der Universität Cambridge, fasste die von ihm vor der «Society of Arts» gehaltenen Vorträge über «Mechanische Kälteerzeugung» zu einem Buch mit demselben Titel zusammen, das 1908 in englischer Sprache und 1910 in deutscher Uebersetzung [1] erschienen ist. Ein Hauptwert dieses Buches besteht in der elementaren Darlegung des Temperatur-Entropie-Diagramms und im Aufzeigen einiger Anwendungen auf den Kreislaufprozess der Kältemaschine. Es vermittelt eine gute Uebersicht und einen tieferen Einblick in die damals noch wenig bekannten Vorgänge mechanischer Kälteerzeugung. An zwei Stellen (S. 3 und S. 24) wird auf die Anwendung des Kompressions-Kälteprozesses zum Heben von Wärme auf ein höheres Temperaturniveau, also auf die Wärmepumpe hingewiesen, worauf Lord Kelvin schon im Jahre 1852 aufmerksam gemacht hat [2]. Wie aus Bild 1 hervorgeht, das dem zitierten Buch entnommen ist (Fig. 13 und Fig. 14 auf S. 13), dachte J. A. Ewing an die Erzeugung der Antriebsenergie für die Wärmepumpe auf thermischem Wege, z. B. durch eine Dampfmaschine, die die durch das Rechteck $R T_0 O N$ dargestellte Wärme von der Temperatur T_0 ausnützt, wodurch bei verlustfreiem Prozess die durch das Rechteck $R T_0 T_1 Q$ dargestellte Wärme in Arbeit umgesetzt und damit die Wärme $T_2 P N M$ von der tieferen Temperatur

T_2 der Umwelt auf die gewünschte höhere Temperatur T_1 gehoben werden kann. Diese Wärmemenge ist so gross, dass die schraffierten Rechtecke gleichen Inhalt haben. Das waren die theoretischen Grundlagen, die damals für die Behandlung unseres Problems zur Verfügung standen.

In der Schweiz erschien vor dem Ersten Weltkrieg der Gedanke der Heizungswärmepumpe mit elektrischem Antrieb in der schweizerischen Patentschrift Nr. 59 350, die auf den Namen Heinrich Zoelly lautete und am 13. Februar 1912 erteilt wurde. Der Hauptanspruch hatte folgenden Wortlaut: Heizverfahren, dadurch gekennzeichnet, dass man durch einen Elektromotor einen Kompressor treibt, welcher einen Wärmeträger in einem Kreisprozess fördert, dessen Verlauf gleichartig ist mit demjenigen, den der Kälte-träger durch die Tätigkeit einer Kompressionskältemaschine erfährt, wobei Mittel vorgesehen sind, um den Wärmeträger aus dem Erdboden Wärme aufnehmen zu lassen.

Eine erste praktische Verwirklichung ergab sich im Laufe des Ersten Weltkrieges in der Färberei Jenny-Kunz in Aarau. Wir suchten damals Anwendungen, die einen ganzjährigen Betrieb erlaubten, weil diese für das Elektrizitätswerk, das die Antriebsenergie liefern sollte, interessanter waren und auch grössere Brennstoffersparnisse ergaben als Raumheizanlagen, die nur in der kalten Jahreszeit betrieben werden müssen. Wir verzichteten daher damals auf die Entwicklung von Wärmepumpen, die nach dem auf Bild 1 dargestellten Verfahren arbeiten. Beim Studium der Anwendungsmöglichkeiten stiessen wir zunächst auf die Nebelbildung über den offenen Kufen in der Färberei. Daraus entstand damals die Idee der Trocknung feuchter Luft durch Kühlen, Auskondensieren des Wasserdampfes und anschliessendes Erwärmen mit Hilfe der im Kondensator der Kühlanlage freiwerdenden Wärme. Diese Idee führte zum schweizerischen Patent Nr. 73 706 vom 8. Dezember 1915, das auf den Namen der AG Kummler & Matter, Aarau, lautete, in deren Auftrag die Studien gemacht wurden. Bilder 2 und 3 sind der Patentschrift entnommen. Dabei bezieht sich die Anordnung nach Bild 2 auf eine Anlage zur Lufttrocknung und Luftkonditionierung, bei der der Luftkühler (Verdampfer S_2) und der Luftherhitzer (Verflüssiger S_1) von der zu behandelnden Luft durchströmt werden und grosse Austauschflächen benötigen. Um die dadurch bedingten hohen Anlagekosten zu senken, versuchte

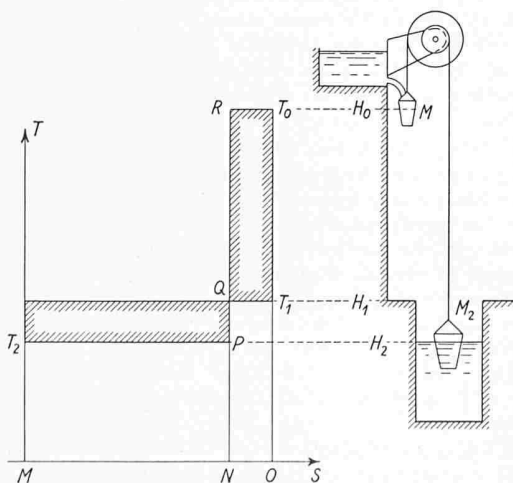


Bild 1. Zum Prinzip der Wärmepumpe. Links Entropie-Temperaturdiagramm der Wärmeumsätze, rechts Vergleich mit dem Heben von Wasser (aus J. A. Ewing, Mechanische Kälteerzeugung)

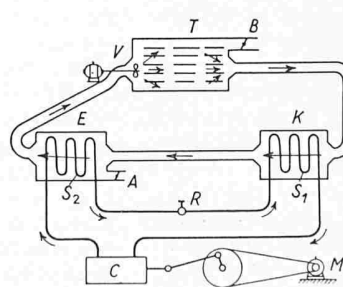


Bild 2. Prinzipschema einer Anlage zum Trocknen von flüssigkeitshaltigen Waren mit Hilfe eines geschlossenen Arbeitsmittel-Kreislaufes. T Trockenkammer, V Ventilator zum Umwälzen der zum Trocknen erforderlichen Luft, K Luftkühler, dient zugleich zum Ausscheiden von Feuchtigkeit, E Luftherhitzer, A Frischlufteintritt, B Abluftaustritt, S Kondensator, C Kompressor, S₂ Kondensator, R Regulierventil, M Antriebsmotor zu C

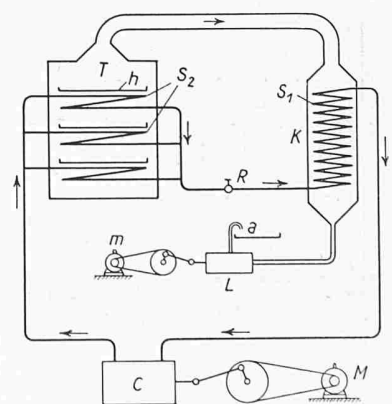


Bild 3. Prinzipschema einer Anlage zum Trocknen unter Vakuum. T Trockenkammer, h Behälter für das Trockengut, K Kühler zum Kondensieren der Brüden, L Luftpumpe, a Ablauf für das Kondensat, m Motor zum Antrieb von L, S₁ Verdampfer, C Kompressor, S₂ Kondensator, R Regulierventil, M Antriebsmotor zu C

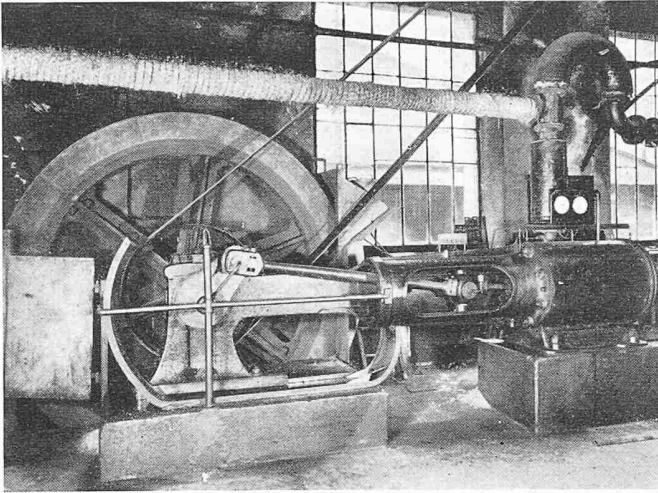


Bild 4. Die «verkehrt laufende Dampfmaschine» von Ing. P. Piccard in der Saline Bex

man, die Trocknung in einem Vakuumapparat ohne Luftkreislauf zu verwirklichen, was zur Anordnung nach Bild 3 führte. Das Trockengut wird hier in der Heizkammer *T* unter Vakuum durch kondensierendes Kältemittel wärmt, während die Brüden in der Kammer *K* zum Verdampfen des Kältemittels dienen.

Der nächste Schritt bestand in der Anwendung dieser Idee auf Eindampfprozesse. In der genannten Färberei bestand eine Eindampfpfanne zum Eindicken von Natronlauge, die bei der Mercerisierung verdünnt wurde. Wir erkannten bald, dass hier der Wärmeaustauscher *S*₁ (Bild 3) überflüssig wurde, indem der Kompressor *C* die Brüden aus dem Eindampfgefäss direkt absaugen und in die Heizschlangen *S*₂ fördern konnte. Ein Hilfswärmeträger wird unnötig. Damit war die Eindampf-Wärmepumpe im Prinzip erfunden, die sich von da an ein grosses Anwendungsgebiet erschliessen sollte.

In Wahrheit war es aber keine Neuerfindung, sondern das Wiederfinden einer bereits schon früher verwirklichten Idee. Es zeigte sich nämlich bei der Vorprüfung von Patentanmeldungen, dass die Brüdenverdichtung in der Salinenindustrie schon seit 1855 bekannt war. Damals schrieb Oberbergrat *P. Rittinger*, Wien, in der Vorrede zu einer Abhandlung über ein neues Abdampfverfahren [3]: «Dampf kann mechanische Arbeit erzeugen. Aber auch an der Richtigkeit des obigen umgekehrt ausgesprochenen Erfahrungssatzes: ‚Mechanische Arbeit kann Dampf erzeugen‘, dürfte wohl kaum ein Physiker zweifeln.» 1857 kam auf der österreichischen Saline Ebensee ein solches Abdampfverfahren, bei dem ein und dieselbe «Wärmemenge» (Stoffgewicht) durch Wasserkraft in ununterbrochenen Kreislauf versetzt wird, in Betrieb.

Wahrscheinlich war diese Ausführung der waadtländischen Saline Bex bekannt, in der der Genfer Ingenieur *Paul Piccard* in den Jahren 1870 bis 1880 eine Eindampfanlage für Sole mit Kolben-

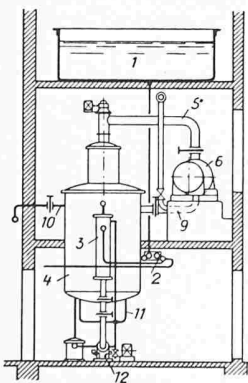
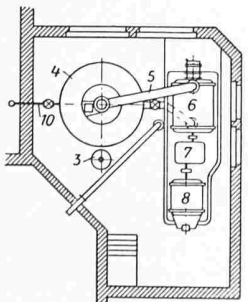


Bild 5. Erste Eindampfanlage nach dem Thermokompressionsprinzip, ausgeführt 1917 von der Firma Kummeler und Matter in Aarau und aufgestellt in der Färberei Jenny-Kunz in Aarau

- 1 Behälter für Dünnlauge
- 2 Vorwärmer
- 3 Schwimmgefäss
- 4 Eindampfer
- 5 Saugleitung
- 6 Kompressor
- 7 Getriebe
- 8 Motor
- 9 Druckleitung
- 10 Frischdampfleitung zum Anheizen und Regeln
- 11 Ablassleitungen für Kondensat
- 12 Pumpe zum Entfernen der Dicklauge



kompressor zur Entwicklung brachte, die noch 1943 im Betrieb stand. Denn aus diesem Jahr stammt die Aufnahme Bild 4. Sie zeigt die «verkehrt» laufende, d. h. als Kompressor wirkende und durch einen Riemen direkt von einem Wasserrad angetriebene Dampfmaschine. Offenbar war die Schwungmasse des gusseisernen Schwungrades nicht genügend gross, um das ungleichmässige Drehmoment des Kolbenkompressors genügend auszugleichen, wie aus dem Betonmantel mit Blechring geschlossen werden muss, der um das gusseiserne Rad gelegt ist.

Die Brüdenverdichtung in Aarau war also eine Wiedergeburt, und zwar mit einem Turbokompressor an Stelle der Kolbenmaschine. Uebrigens erwähnte bereits Rittinger in seiner Abhandlung: «Eine wesentliche Vereinfachung des ganzen Abdampf-Apparates lässt sich dadurch erzielen, dass man statt der Dampfpumpe einen Ventilator in Anwendung bringt.»

Die praktische Verwirklichung der Eindampf-Wärmepumpe zur Konzentration von Mercerisationsablauge in der Färberei Jenny-Kunz in Aarau wurde von der Firma Kummeler & Matter, Aarau, in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung für Kompressorenbau der Firma Escher Wyss, Zürich, durchgeführt und zwar für eine Wasserverdampfung von 1000 kg/h. Sie kam 1917 in Betrieb, arbeitete seither ausgezeichnet und besteht heute noch. Bild 5 zeigt die Anordnung der ganzen Apparatur. Anfangs 1918 führte Prof. Dr. A. Stodola, ETH, Zürich, eingehende Messungen an ihr durch. Sein Bericht vom 17. Februar 1918 machte ihm sichtlich so viel Freude wie den Erstellern; die Zusammenfassung lautet: «In der untersuchten Anlage wurde mit einem Aufwand von 1 kWh im Mittel 16,38 bis 17,11 kg Dampf pro Stunde aus einer Natronlauge von 7° Baumé erzeugt und diese während der Versuchsdauer auf ca. 23° Baumé eingedampft. In Wärmemass ausgedrückt bedeutet dies, dass vermöge des angewendeten Verfahrens das 11,2- bis 11,7-fache derjenigen Wärmemenge, die bei unmittelbarer Umwandlung der elektrischen Energie in Wärme verfügbar wäre, für die Verdampfung nutzbar gemacht wird.»

Die Verwendung eines Turbokompressors war mit Rücksicht auf die grossen abzusaugenden Dampfvolumen aus wirtschaftlichen Gründen nötig. Sie setzte aber eine genaue Kenntnis der Wärmeübergänge im Verdampfer voraus. Wenn nämlich bei Verwendung von Kolbenkompressoren das berechnete Kompressionsverhältnis zur Ueberwindung des Wärmedurchgangswiderstandes durch die Heizflächen nicht genügt, so stellt sich im Betrieb automatisch ein etwas grösseres Druckverhältnis ein, ohne dass dadurch die abgesaugte Dampfmenge wesentlich kleiner würde. Der Turbokompressor reagiert hingegen sehr viel empfindlicher auf eine solche Vergrösserung. Schon eine Zunahme von nur 10% gegenüber dem normalen Druckverhältnis kann eine Verringerung des Fördervolumens auf etwa 60% bewirken. Dann beginnt aber die Gefahr des «Pumpens», d. h. eines sehr unstabilen Betriebs mit Abnahme der Förderleistung praktisch auf Null. Man kann wohl dem Pumpen durch Drosseln oder durch einen Dampfumlauf oder schliesslich durch Erhöhen der Drehzahl begegnen. Die ersten beiden Massnahmen ergeben aber eine starke Verringerung der Verdampferleistung und die dritte erfordert einen kostspieligen Umbau.

Wenn die Anlage in Aarau als erste neuzeitliche Eindampf-Wärmepumpe von Anfang an befriedigte, so gilt der Dank in erster Linie einem guten Geschick. Aber ebenso sehr gebührt er der hervorragenden Ausbildung, die dem angehenden Maschineningenieur an der Eidgenössischen Technischen Hochschule zuteil wurde. Es war vor allem Prof. Dr. A. Stodola, der «Herr unter den Ingenieuren», der es verstand, die grundlegenden Vorgänge mechanischer und wärmetechnischer Art in einer Weise zu schildern und ihre Anwendungen in der Technik zu zeigen, dass man in der Lage war, auch Spezialprobleme, die nicht gelehrt wurden, zu überblicken und befriedigend zu lösen.

Einige interessante Besonderheiten des Wärmepumpenbetriebs, die teilweise schon damals erkannt und berücksichtigt wurden, mögen hier angeführt werden. Ein auf dem Gebiete der Eindampfprozesse sehr erfahrener Fachmann stellte nach dem Turbokompressor der Aarauer Anlage eine Dampfüberhitzung von etwa 50° C fest. Er befürchtete, der sehr schlechte Wärmeübergang zwischen überhitztem Dampf (Gas)

und Wand ergäbe eine schlechte Ausnützung der verfügbaren Heizfläche, indem schätzungsweise rund zwei Drittel dieser Austauschfläche zur Abkühlung des Dampfes auf Sättigung verwendet werden müssten. Nach ihm hätte die vorher vorzunehmende Abkühlung des Dampfes auf den Sättigungspunkt, z. B. durch Einspritzen von Wasser, eine wesentliche Senkung des Verflüssigungsdruckes bringen sollen. Durch provisorische Wassereinspritzung war es leicht möglich, nachzuweisen, dass die ganze Heizfläche mit dem hohen Wärmeübergang arbeitet, der bei kondensierendem Dampf auftritt: Die vermutete Verbesserung liess sich nicht erzielen. Vielmehr blieb die spezifische Verdampferleistung bei der von Stodola gemessenen hohen Zahl von rund $40 \text{ kg/m}^2\text{h}$, hoch deshalb, weil das Temperaturgefälle nur etwa 20°C brutto betrug, was unter Abzug von Siedepunkterhöhung und Flüssigkeitsdruck netto etwa 16 bis 18°C für den Wärmedurchgang ausmacht. Nur dank diesem kleinen Temperaturgefälle, das eine entsprechend geringe Druckerhöhung im Kompressor bedingte, liess sich die günstige Leistungsziffer von etwa 11,5 bei dieser verhältnismässig kleinen Anlage erreichen.

Der Eindampffachmann hatte übrigens nicht so unrecht. Wenig später erfuhren wir, dass Eindampfapparate vom Typ Kestner auf Dampfüberhitzung sehr empfindlich sind. Nun lässt sich eine Wassereinspritzung wohl mit einfachen Mitteln verwirklichen, sie erfordert aber Aufsicht, die bei einer kleineren Anlage nicht erwünscht ist. Eine Automatik war damals für einen solchen Fall noch nicht entwickelt. Für uns war daher sehr weitgehend der kluge Ausspruch massgebend, den Prof. W. Wyssling in seiner Vorlesung tat: «Eine selbsttätige Regelung ist eine Regelung, die man selbst betätigen muss.» Bei einer Erstlingsanlage verfährt man immer besser nach dem Grundsatz: Warum kompliziert machen, so lange man es einfach haben kann. Das wird nicht widerlegt durch die Tatsache, dass bei grossen Kompressorenanlagen mit Fachbedienung mit stufenweiser Wassereinspritzung gearbeitet wird, womit man den Wirkungsgrad der Verdichtung noch etwas erhöhen kann.

Die Vorstudien und das Verfolgen der Fachliteratur über die damaligen Vorstellungen betreffend Verdampfungs- und Verflüssigungsvorgänge hatten zur Einsicht geführt, dass bei beiden Vorgängen sich möglichst ungehemmte Strömungen ausbilden sollen. Dementsprechend mussten die Heizflächen geformt werden. Mit Rücksicht auf das im Kompressor zu überwindende Druckgefälle und den damit verbundenen Kraftaufwand musste man sich bestreben, die Temperaturdifferenz zwischen Verflüssigung und Verdampfung möglichst klein zu halten, was in erster Linie durch genügend grosse Heizflächen zu erreichen war. Man erkannte aber auch, dass der Wärmeübergang auf der Verdampfungsseite mit abnehmender Flächenbelastung von einem bestimmten Wert an stark abfiel und eine weitere Vergrösserung der Heizfläche praktisch keine Erniedrigung der Temperaturdifferenz mehr brachte. Für grössere Anlagen musste man auch wegen des Umfanges der Apparate und deren Erstellungskosten das Maximum an Ausnützung der Heizfläche zu treffen suchen.

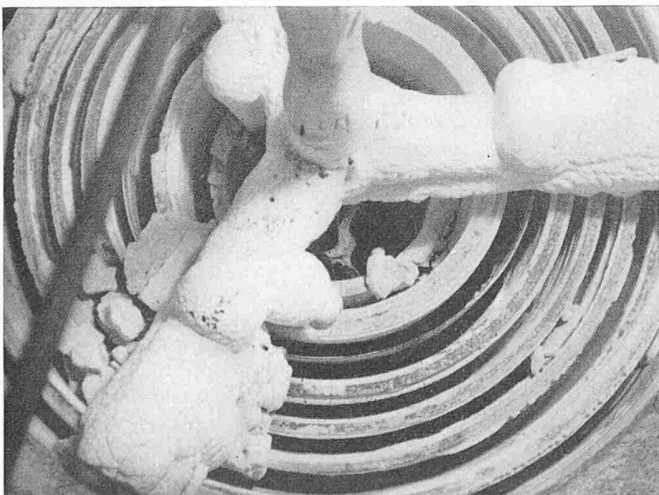


Bild 6. Starke Verkrustungen am Verdampfer der Versuchsanlage im Werk Reichenhall nach rd. 90 Betriebsstunden

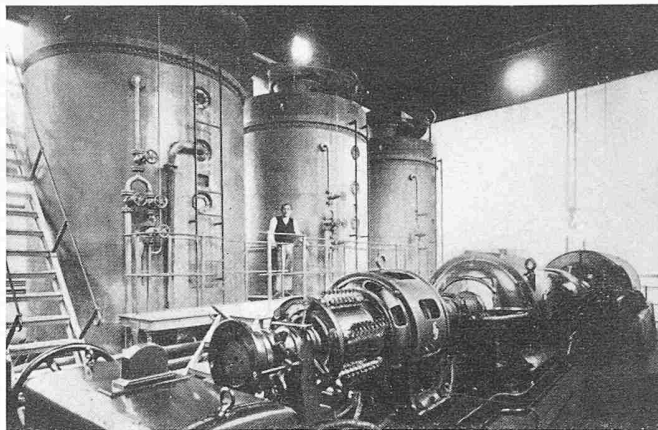


Bild 7. Erste grössere Eindampfanlage in der Saline Reichenhall; vorn die Wärmepumpe, hinten drei Verdampfer. Anfängliche Erzeugung 8000 t Salz pro Jahr

Der Wärmeübergang wird auf der Verdampfungsseite massgebend beeinflusst durch die Siedepunkterhöhung der Lösungen, durch Siedepunktverzögerungen, durch Schäumen und durch Verkrustungen der Heizflächen, auf der Heizdampfseite durch Kondensatfilme und Gasanteile (also hauptsächlich durch Luft und überhitzten Dampf). Die Vorstudien führten dazu, die Heizfläche als konzentrisch in einander angeordnete hohle Ringe auszubilden. Bild 8 zeigt die spätere Grossausführung eines solchen Apparates. Diese Konstruktion erlaubte einen ungehemmten Strom von Dampf und Flüssigkeit von unten nach oben und ein Zurückfallen der siedenden Flüssigkeit im innersten Ring. Sie bietet auch die Möglichkeit einer einfachen Reinigung der Heizflächen. Wo nötig, liess sich diese Reinigung ständig und mechanisch mit rotierenden Abstreifern durchführen. Hierauf gründen sich die Erfolge im ersten Ausbaubauabschnitt bei der Soleversiedung. Ebenso ungestört ist der Fluss der Wasserdampfkondensation im Hohlraum ohne Schädigung durch die Ueberhitzungswärme und mit sinngemässer Abführung der Luftanteile dort, wo keine wesentliche Dampfströmung auf der Heizdampfseite mehr vorhanden ist.

Der Siedeverzug, der leicht zu unstabilem Betrieb führt, konnte durch Einführen von sog. «Kitzeldampf» in einfacher Weise ausgeschaltet werden. Was Luft im Heizdampf trotz der «flüssigen» Anordnung der Kondensationswege ausmachen kann, ergab eine Anlage mit Vakuum im Verdampfer: Ein Anteil von 3,5 % Luft im Kondensat bewirkte eine Leistungsverminderung von 1250 auf 800 kg/h, womit man an die Grenze des «Pumpens» kam. Die Störung konnte durch Sperrdampf behoben wer-

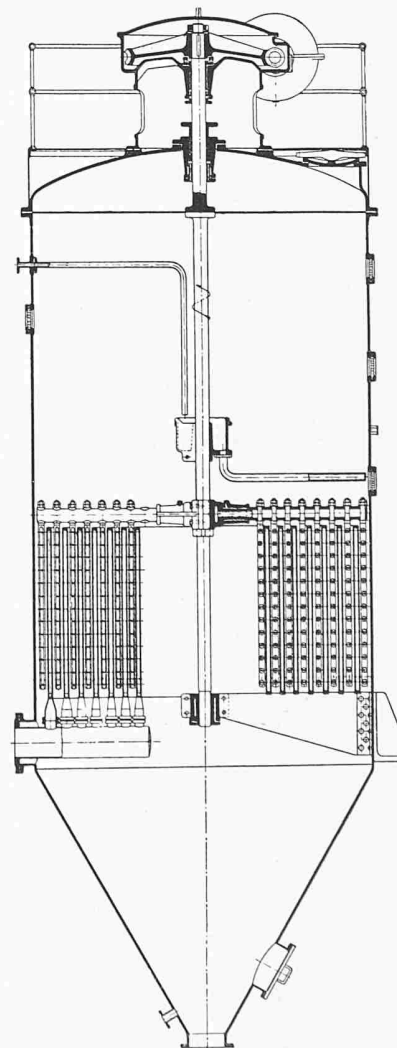
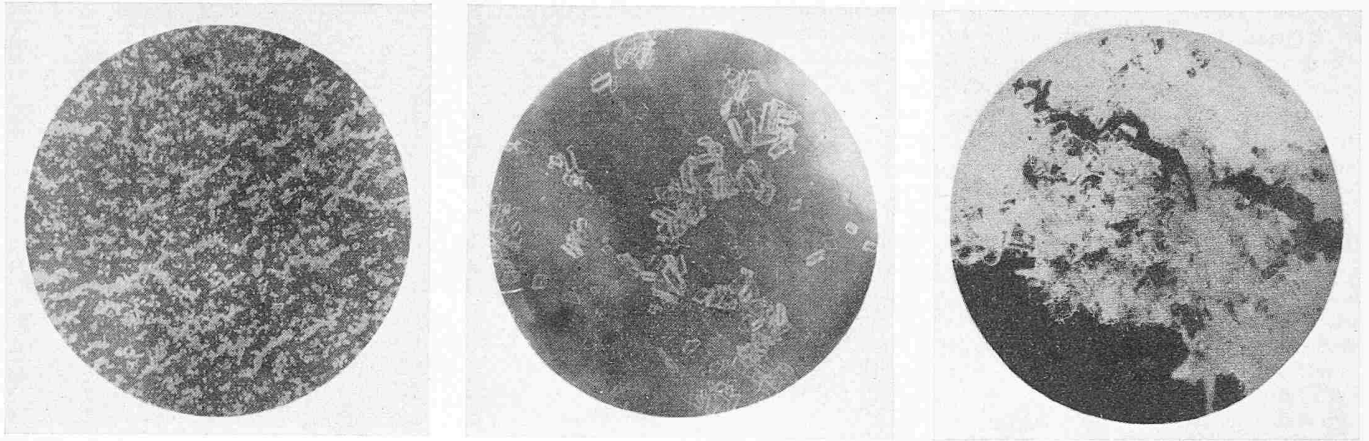


Bild 8. Sole-Eindampfungsapparat mit Ringheizkörper und Abstreifer der Anlage in Reichenhall nach Bild 7



a. Niederschlag aus einer Fällung von Kalkmilch

b. reiner Gipsniederschlag aus Sulfitlauge

c. Ausschnitt aus einer beim Eindampfen gebildeten Kruste, die infolge Armierung durch monokline Gipskristalle so stark verfestigt ist, dass sie von den Abstreifern nicht abgelöst werden kann.

Bild 9. Mikroaufnahmen des Verfassers aus dem Jahre 1917, Vergrößerung etwa 100fach

den, den man in die Stopfbüchse auf der Kompressoren-saugseite einführte.

Diese wenigen Bemerkungen mögen genügen, um das erwähnte gute Geschick zu belegen, das über der ersten Wiedergeburt der Eindampfungswärmepumpe gewaltet hat. Ohne dieses Glück wäre sie wohl kaum längere Zeit am Leben geblieben. So aber bildete diese erste neuzeitliche Anlage mit Turbokompressor den Ausgangspunkt einer bedeutsamen Entwicklung für die einheimische Maschinenindustrie. Stolz berichtete das «Bulletin SEV», Nr. 12 vom Dezember 1919: «Die praktische Durcharbeitung von Apparaten für Eindampfung von salzabscheidenden Lösungen ist nach mehr als einjährigen Versuchen fertig, so dass weitere Gebiete erschlossen werden können, und es ist zu hoffen, dass diese sehr wirtschaftlichen Anlagen besonders in der Schweiz weite Verbreitung finden werden.»

Das traf für die Eindampfung elektrolytischer Natronlauge zu, wofür auch in Norwegen zwei Anlagen errichtet wurden. Erhofft wurde es auch für die Salzgewinnung aus Sole als eines der grössten Absatzgebiete für Eindampfanlagen. Die «Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen» hatten Versiedeapparate für Sole mit dreifacher Ausnützung des Heizdampfes, den sog. Tripel-Effekt entwickelt und schon seit längerer Zeit mit Erfolg in Betrieb genommen. Diesen Anlagen gegenüber war die Brüdenverdichtung nicht so interessant wie gegenüber dem einfachen Eindampfprozess, wie er z. B. in den alten Salzpflanzen vorgenommen wurde.

Allein die Arbeiten von Rittinger lebten nicht nur in der Erinnerung der alpenländischen Salinen. Auf der württembergischen Saline Jagstfeld stand eine Piccardanlage mit Kolbenkompressoren im Betrieb, und auch die mächtige deutsche Maschinenindustrie interessierte sich bereits für die Weiterentwicklung. Da war es ein glücklicher Umstand, dass die Versuche von Prof. Stodola in Aarau in Süddeutschland bekannt wurden. Im Jahre 1921 kam eine kleine Studienkommission aus Bayern und Württemberg in die Schweiz, um an einem Eindampfversuch mit Sole aus Schweizerhall teilzunehmen, der in einer Eindampfanlage mit Brüdenverdichtung für Sulfitlauge in der Papierfabrik Perlen bei Luzern durchgeführt wurde. Das Ergebnis der kurzen Versuche war ermutigend. Die Sole aus Schweizerhall war wohl etwas vorgeeignet, wie es für die Durchführung des Tripel-Effektes nötig war. Daraufhin wurde die «Siedeverfahren GmbH» zwischen den bayerischen und württembergischen Salinen und der AG. Kummeler & Matter mit Sitz in München gegründet. Es war eine kleine aber wirksame «europäische Salzunion», von der eine richtige Versuchsanlage in der Saline Reichenhall aufgestellt wurde. Ein erster Versuch war nicht überzeugend, der Eindampfapparat versalzte bei Verwendung von Rohsole innen sehr rasch, der Kompressor «pumpt», die Abstreifer brachen ab. Dieser Versuch führte zur wertvollen Erkenntnis, dass die Entwicklung der Wärmepumpe auf diesem grossen Gebiet weit über den Rahmen und die Kräfte der Firma Kummeler & Matter hinausging und deshalb der weit grösseren Maschinen-

fabrik Escher Wyss, Zürich, übergeben werden sollte. Die Abtretung fand im Jahre 1923 statt. Mit einer beschränkten Vorreinigung konnte man in der Versuchsanlage an die 90 Stunden ohne Unterbruch eindampfen. Bild 6 zeigt die Ringheizkörper mit Abstreifer von oben, wie sie nach einer solchen Eindampfperiode aussahen.

Die erste grosse Wärmepumpe für Salzgewinnung entstand 1925/26 für die Saline Reichenhall (Bayern), deren Konstruktion auf den mit der Versuchsanlage gesammelten Erfahrungen aufbaute, Bilder 7 und 8. Sie blieb während längerer Zeit die glückliche Vorstufe, bis dann später noch einfachere Apparate für noch grössere Leistungen gebaut wurden, die nun aber mit vollständiger Solereinigung nach dem Verfahren der Vereinigten Schweizerischen Rheinsalinen arbeiteten.

Diese Entwicklung erforderte insgesamt rund 20 Jahre; sie vollzog sich unter ständiger Zusammenarbeit mit den bayerischen Salinen, vor allem mit deren initiativem Direktor in Reichenhall, dem heute noch lebenden Ing. Spiess. Dieser Zusammenarbeit ist es zu verdanken, dass unsere einheimische Maschinenindustrie gründlich vorbereitet war, als durch die Brennstoffverknappung im Zweiten Weltkrieg eine neue gewaltige Nachfrage nach wirtschaftlicher Verwendung elektrischer Energie für Wärmeprozesse einsetzte, besonders auch zur Gewinnung des lebensnotwendigen Kochsalzes. So wurden die schweizerischen Salinen Ryburg und Schweizerhalle in den Kriegsjahren 1941 und 1943 auf Thermokompression umgestellt. Heute arbeiten im Jura- und Alpengebiet zehn Salinen nach diesem Verfahren, nämlich die Salinen Montmorot und Pomblière in Frankreich, Bex, Schweizerhalle, Ryburg und Zurzach in der Schweiz, Hall, Hallein, Ebensee in Oesterreich und Reichenhall in Deutschland.

Gleichzeitig mit der Soleversiedung wurde auch die Eindampfung von Sulfit- und Sulfatablauge aus der Zellulosefabrikation verfolgt. In beiden Fällen werden grosse Eindampfleistungen während des ganzen Jahres benötigt. Bei dem in der Schweiz üblichen Sulfitverfahren führten die Abstreifer in den Eindampfapparaten nicht zum Ziel. Die beim Konzentrieren ausfallenden Nebenbestandteile der Lauge setzten sich als harte Kruste auf den Heizflächen ab und waren mechanisch nicht zu beseitigen. Wie aus Bild 9 ersichtlich, wirken die monoklinen Gipskristalle wie eine Armierung. Die beschränkte Vorreinigung bei der Sole betraf auch die Ausfällung des Calciumsulfatgehaltes der Rohsole. Bei der Salzgewinnung sind die Kosten für diese Reinigung tragbar, nicht aber bei der Eindampfung der Sulfitablauge. Erst in den letzten Jahren gelang es, die Bildung von Gipskrusten durch Impfen der gipshaltigen Ablauge mit feinsten Gipskristallen zu vermeiden. Damit wird heute auch die Eindampfung von Sulfitablauge wirtschaftlich tragbar.

Abschliessend seien nur noch einige wenige Bemerkungen zur Wärmepumpe mit eigenem Betriebsmittelumlauf angefügt. Auch hierfür hat sich die schweizerische Maschinenindustrie tatkräftig eingesetzt. Am 9. September 1893 hat

Conrad Hirzel in Winterthur das schweiz. Pat. 7285 angemeldet, das einen «Apparat zur Gewinnung von Kochsalz durch Abkühlung von Salzsole» betrifft, bei dem zum Ausfrieren einer Lösung eine Kältemaschine verwendet wird. Das Ausfrieren erfordert viel weniger Wärme als das Eindampfen; die Wärme muss aber über eine grössere Temperaturstufe hinaufgeführt werden, als dies bei der Brüdenverdichtung der Fall ist. Ueberdies ist die Trennung von Salz und Wasser nicht so einfach wie beim Versieden. Nach einer Pressenotiz aus dem Jahre 1954 beschäftigt sich die Universität des Staates Washington mit der Umwandlung von Meerwasser in Trinkwasser durch Ausfrieren. Heute befinden wir uns bezüglich Trinkwasser schon an verschiedenen Orten in einer ausgesprochenen Notlage, und das Salz kann bei der Trennung des Salzwassers gegenüber dem trinkbaren Wasser in den Hintergrund treten.

Ebenfalls von Winterthur aus ist durch die Vertretung von Gebrüder Sulzer in Argentinien zu Beginn der zwanziger Jahre in Buenos Aires eine Klimaanlage mit zwei Ammoniak-Kältekompressoren von 130 000 bzw. 50 000 kcal/h, also insgesamt von 180 000 kcal/h erstellt worden [7]. Sie ist zur weitgehenden Lufttrocknung und nicht einfach zur Kühlung gebaut. Buenos Aires weist ein tropisches Klima mit hoher Feuchtigkeit auf. Man muss die Aussenluft durch starke Unterkühlung entfeuchten, darf aber die Raumtemperatur nicht zu stark unter die jeweilige Aussen-temperatur senken. Das wurde damals von der Lieferfirma richtig erkannt. Demgegenüber fassten die Amerikaner anfänglich die Luftkonditionierung in jugendlichem Uebermut als ein einfaches Luftkühlungsproblem auf; sie wollten stets 20 Grad im Raum aufrechterhalten, unbekümmert um die Aussen-temperatur. Der Entwärmungsbegriff war damals noch sehr umstritten.

Zwischen beiden Weltkriegen machte Prof. v. Gonzenbach auf das Katathermometer von Hill aufmerksam, und Gebrüder Sulzer entwickelten es in Zusammenarbeit mit v. Gonzenbach zu einem zuverlässigen, praktisch sehr einfach anzuwendenden Entwärmungsmesser, mit dem die Streitfragen über die Behaglichkeit rasch geschlichtet werden konnten. Nicht die Not des Gütermangels haben der Luftkonditionierung in den letzten Jahren einen grossen Auftrieb gegeben, sondern die Notwendigkeit, ein gesteigertes Arbeitstempo unter ungünstigen klimatischen Bedingungen und trotz zunehmendem Strassenlärm aufrecht erhalten zu können.

Der Mangel an Brennstoffen und elektrischer Energie hat während des Zweiten Weltkrieges schliesslich der Verwendung der Kältemaschine als Heizanlage nach den ursprünglichen Vorschlägen von Lord Kelvin grossen Auftrieb gegeben. Ab- und Umweltwärme von ungenügendem Temperaturniveau

kann durch Hinaufheben auf eine nutzbare Temperaturstufe zweckmässig und wirtschaftlich verwertet werden. Dieses Verfahren hat auf verschiedensten Gebieten, so z. B. für Raumheizung, Warmwasserbereitung, Trocknung und für industrielle Zwecke bedeutenden Umfang angenommen. An dieser Entwicklung sind verschiedene schweizerische Maschinenbaufirmen beteiligt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die grundlegende Idee der Abwärmeaufwertung auf ein zur Nutzung geeignetes Temperaturniveau unter Aufwand von elektrischer Energie etwas älter ist, als unsere Eidgenössische Technische Hochschule. Genau gleich alt ist jedoch die erste praktische Anwendung der Wärmepumpe im Salinenwesen, wie sie von P. Rittinger beschrieben und ausgeführt worden ist. Seit gut 70 Jahren steht eine solche Ausführung in der schweizerischen Saline Bex in Betrieb, heute in verjüngter Ausführung. Es gelang der schweizerischen Maschinenindustrie, die Eindampfungswärmepumpe nicht nur im Salinenwesen, und zwar auch im Ausland, sondern auch in verschiedenen anderen Industriezweigen mit Erfolg einzuführen. Die Eindampfung von Sulfidablauge wird heute besonders interessant, weil sie einen wichtigen Beitrag zu unserem künftigen Gewässerschutz gibt. Mit der Wärmepumpe, unter Verwendung von Umweltwärme und eines besonderen Wärmeträgers, hat man sich in der Schweiz seit 1912, mit derjenigen zum Klimatisieren seit 1915 befasst. Aber erst im Laufe des Zweiten Weltkrieges reiften mit den technischen Möglichkeiten auch die Notwendigkeiten und das Vertrauen der Interessenten in dieses für unser Land vorteilhafte Verfahren.

Literaturangaben

- [1] Die mechanische Kälteerzeugung. Von J. A. Ewing. Autorisierte Uebersetzung von R. C. A. Banifield. Braunschweig 1910. Vieweg & Sohn.
- [2] «Proc. Phil. Soc. of Glasgow», vol. III, p. 269 oder «Collected Papers», vol. I, p. 515.
- [3] Theoretisch-praktische Abhandlung über ein für alle Gattungen von Flüssigkeiten anwendbares neues Abdampfverfahren mittels einer und derselben Wärmemenge, welche zu diesem Behufe durch Wasserkraft in ununterbrochenen Kreislauf versetzt wird. Mit spezieller Rücksicht auf den Salzsiedeprozess dargestellt von Peter Rittinger, k. k. Sektionsrat (Oberbergrat) in Wien. Wien 1855. Verlag von Friedrich Manz.
- [4] Bulletin S. E. V. 1919, S. 347 u. ff. Die Bestreitung von Wärme- prozessen mittels Wärmepumpe. Von E. Wirth, Winterthur. SBZ, Bd. 107, S. 189 (25. April 1936).
- [5] Moderne Technik der Siedesalzerzeugung. Von Obering. R. Peter, Zürich. SBZ, Bd. 100, S. 323* (17. Dez. 1932).
- [6] Salz-, Brennstoff- und andere Nöte in alten Zeiten. Von Ing. E. Wirth. SBZ, Bd. 120, S. 141 (19. Sept. 1942).
- [7] «Revue Technique Sulzer» 1925, Nr. 1, S. 19.

Elektronenmikroskopie und Kristallsynthese

Von Franco Balduzzi, Dipl. Phys. ETH, Eternit AG., Niederurnen

Die Kristallsynthese ist für die Industrie zu einer wichtigen Technik geworden, weil die Möglichkeiten der Beschaffung natürlicher kristalliner Werkstoffe beschränkt und die Anwendung von Ersatzstoffen mit Qualitätsverlusten verbunden ist, die man in den meisten Fällen nicht zulassen kann.

Die früheren Beispiele von Kristallsynthesen des vorigen Jahrhunderts dienten der Erkenntnis mineralogischer Erscheinungen. Es wurde auch immer wieder versucht, den wertvollsten unter den Kristallen, den Diamanten, synthetisch herzustellen. Eingang in die Industrie fand die Kristallsynthese aus wirtschaftlichen Gründen, nachdem es sich gezeigt hatte, dass die berechtigte Vorstellung der Reinheit, die mit dem kristallinen Zustand verbunden ist, es gestattete, beispielsweise für Zucker oder Kupfersulfat «in grossen Kristallen» höhere Preise zu erzielen als für die gleichen Stoffe in pulverisierter Form. Die ersten Patente über Kristallisatoren, die «grosse, klare Kristalle» liefern, stammen aus der Zuckerindustrie. Unabhängig von dieser Anwendung entwickelte sich die Industrie zum Verbraucher von Kristallen und ist nun selbst auf die synthetische Herstellung vieler

ihrer kristallinen Werkstoffe angewiesen. So führte zum Beispiel der Mangel an gut ausgebildeten Quarzkristallen, welche als elektromechanische Wandler einen wesentlichen Bestandteil elektronischer Geräte bilden, zwangsläufig zur Kristallsynthese.

Gestützt auf die Forschungen von G. Busch, P. Scherrer und Mitarbeiter, welche die seignette-elektrischen Eigenschaften des Kaliumphosphates und seiner isomorphen Salze erkannten, wurden in der Schweiz und in den USA Anstrengungen gemacht, diese Kristalle auf industrieller Basis herzustellen, um sie in besonderen Fällen an Stelle von Quarzkristallen einzusetzen. Dafür mussten Wege gefunden werden, um den Wachstumsprozess, die Synthese, auf kurze Zeit zu begrenzen.

Sehr bald wurden zwei grundlegende Methoden gefunden. Die eine besteht im Ausbilden eines «Kristallkeimes», der zur Auslösung des Wachstumsprozesses dient, derart, dass er in seinen langsamen Wachstumsrichtungen von allem Anfang an sehr gross ausgebildet ist. Bei der anderen Methode wird der Syntheseprozess in bewegten Lösungen durchgeführt. Obwohl