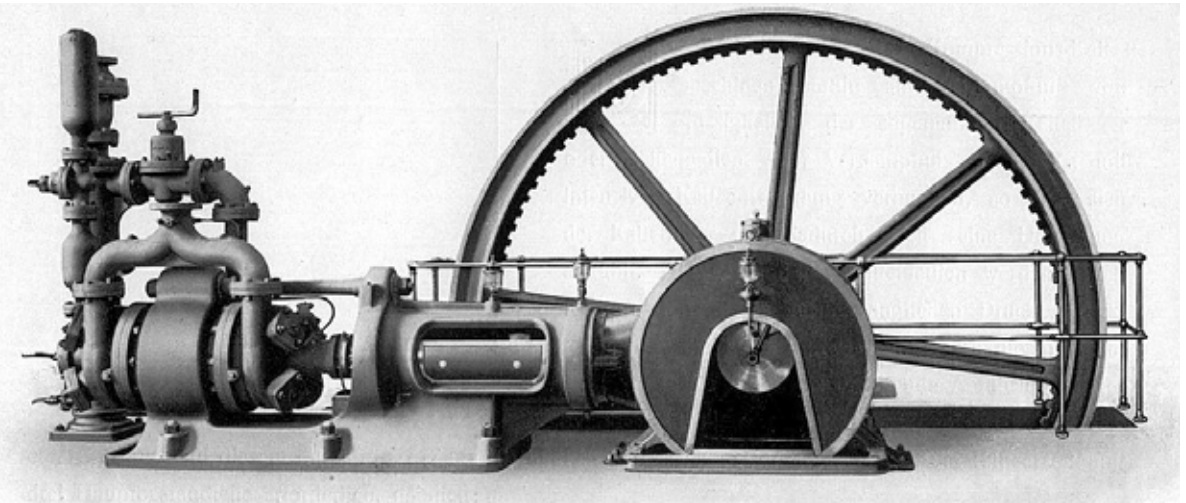


Bild 1: Kolbenkompressor um 1905
[Archiv Sulzer, Winterthur]



«Geschichte der Wärmepumpe» von Martin Zogg, Zusammenfassung Teil 1/2

Geschichte der Wärmepumpe 1834–1972

Die Geschichte der Wärmepumpe beginnt vor rund 175 Jahren. Schweizerische Pioniere und Firmen haben dazu Wesentliches beigetragen. Sie haben als Erste effiziente Wärmepumpen gebaut. Dieser Beitrag stellt einige «Highlights» aus dem langen Weg zum heutigen Erfolg vor. Dabei werden auch wichtige internationale Meilensteine aufgeführt. Quelle dieses Beitrags einschliesslich aller Bilder ist die in der Box am Schluss des Artikels erwähnte Publikation des Autors.

Martin Zogg *

Die Menschheit nutzt die Wärme künstlich entzündeter Feuer seit der Steinzeit. Der Wunsch nach künstlicher Kühlung konnte dagegen erst ab 1850 befriedigt werden, als Pioniere die ersten Kältemaschinen erfanden. Durch Nutzen der «warmen Seite» dieser Maschinen – sie werden dann als Wärmepumpen bezeichnet – können sie auch zum Heizen verwendet werden. Es war aber der riesige Bedarf nach Kühlung, welcher zu einer raschen Entwicklung und triumphalen Verbreitung dieser Maschinen über den ganzen Erdball führte. Gut konstruierte Wohngebäude Zentral- und Nordeuropas benötigen im Allgemeinen im Sommer keine künstliche Kühlung. In diesen Klimazonen stehen für Gebäude Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung im Vordergrund des Interesses. Für diese Anwendung stehen sie im Gegensatz zur Kälteerzeugung in Konkurrenz zu Erdgas- und Ölkesseln mit niedrigeren Investitionskosten. Der Nutzungsgrad von Kesseln bleibt infolge unvermeidbarer Wärmeverluste auf weniger als 100 Prozent der eingesetzten Brennstoffenergie beschränkt. Durch Nutzen der Umgebungswärme erreicht die Kombination von Wärmepumpen mit modernen Blockheizkraftwerken oder mit Kombikraftwerken schon mit heutiger Technik

aus dem Einsatz von 100 Prozent Brennstoffwärme eine Nutzwärmeerzeugung von 150 bis 200 Prozent. Künftig sind noch höhere Nutzungsgrade zu erwarten.

Wissenschaftliche Grundlagen der Wärmepumpentechnik

Robert Mayer postulierte 1842 das Äquivalenzprinzip von Arbeit und Wärme, welches 1843 von J. Prescott experimentell bestätigt wurde. 1847 formulierte H. von Helmholtz das Energieerhaltungsgesetz oder den **1. Hauptsatz der Thermodynamik**.

N. L. Carnot hat 1824 als Erster eine präzise Beziehung zwischen Arbeit und Wärme aufgestellt. Seine private Publikation wurde von B. P. E. Clapeyron wieder entdeckt und von R. J. E. Clausius, der von 1855–1867 an der ETH-Zürich (dem damaligen Polytechnikum) lehrte, zum heute gebräuchlichen Carnot-Prozess umformuliert. Clausius legte den Grundstein für den **2. Hauptsatz der Thermodynamik** und führte 1850 das Konzept der **Entropie** ein. W. Thomson, der spätere Lord Kelvin, brachte den 2. Hauptsatz in eine allgemeinere Form. J. W. Gibbs führte 1878 den Begriff der **Enthalpie** ein. Aus den Überlegungen von G. Zeugner (1859) und H. Lorenz (1896) ent-



Bild 2: Rathaus Zürich mit der Limmat als Wärmequelle. [GNU Free Document]

stand die Idee der **Exergie**, der bei konstanten Wärmequellen- und Wärmesenktemperatur maximal gewinnbaren Arbeit. Eine konsistente **Thermodynamik der Kältemaschinen** (und damit von Wärmepumpen) wurde 1870 durch C. von Linde eingeführt.

Die Pioniere vor 1875

Zunächst stand die Erzeugung von Kälte insbesondere für die Konservierung von Nahrungsmitteln im Vordergrund des Interesses. 1834 baute J. Perkins die **erste Dampfkomppressionsmaschine** zur künstlichen Eiszeugung. Sie enthielt bereits alle Komponenten einer modernen Wärmepumpe. Das Funktionsmuster blieb ein Einzelstück. 1855 realisierte A. C. Twining die erste kommerzielle Eiszeugungsanlage. Die Pioniere setzten Ammoniak, Methylether, Kohlendioxid und Schwefeldioxid (1874 vom Schweizer R. Pictet eingeführt) als Arbeitsmittel ein.

Eindampfprozesse insbesondere zur Kochsalzgewinnung benötigen sehr viel Energie. Ganze Wälder wurden dafür abgeholzt. Die Verdichtung der bei Eindampfprozessen entstehenden Dämpfe (Brüden) zur anschließenden Wärmerückgewinnung durch Kondensation auf einem höheren Temperaturniveau ergibt eine besonders hohe Energieeinsparung. Leistungszahlen (COP-Werte) von 15 bis 30 sind heute Stand der Technik. Deshalb wurde die **Brüdenkompression** zur ersten Wärmepumpenanwendung. Als Erster versuchte P. von Rittinger 1857 die Realisierung dieser Idee. Seine 14-kW-Pilotanlage scheiterte aber nicht nur am etwas eigenartigen Kreisprozess, sondern auch an zahlreichen verfahrenstechnischen Problemen.

Industrialisierung 1876–1918

Auf der Grundlage eines sich rasch entwickelnden wissenschaftlichen Verständnisses und einer besseren Fertigungstechnik wurden in dieser Periode aus den Funktionsmustern der Pioniere verlässliche industrielle Produkte. Carl von Linde leistete auf diesem Weg den bedeutendsten Beitrag. Er war nicht nur ein talentierter Ingenieur und Unternehmer, sondern auch ein hervorragender Forscher und Lehrer. Bis 1900 waren die meis-

ten grundlegenden Erfindungen bereits erfolgt. Ammoniak wurde zum dominierenden Kältemittel, und es gab zahlreiche Kompressorhersteller in den U.S.A. und in Europa. Ganz vorne dabei waren in der Schweiz Sulzer in Winterthur, Escher Wyss in Zürich und die Société Genevoise in Genf.

Schweizer Beiträge: Kompressoren, Kältetechnik und Brüdenkompression

Als naheliegende Expansion seiner Geschäftsfelder «Dampfmaschinen» und «Kompressoren» begann Sulzer 1878 mit dem Bau von Kompressoren und Anlagen für die Kältetechnik und wurde rasch zu einem der bedeutendsten Hersteller für Linde. Noch im selben Jahr begann Sulzer mit dem Export von Kälteanlagen für eine Eisfabrik in Bombay (Indien). Die erste Kälteanlage in der Schweiz nahm 1879 in der Brauerei Hürlimann in Zürich den Betrieb auf. Die im Allgemeinen mit Dampfmaschinen angetriebenen **Kältekompressoren** waren damals gross und schwer (**Bild 1**). Bereits 1898 baute Sulzer den ersten Zweistufen-Verbundkompressor. 1909 folgte ein 1,45-MW-Kältekompressor.

1876 konstruierte der Genfer Raoul Pictet einen ölfreien horizontalen Kompressor für das Kältemittel Schwefeldioxid. Die erfolgreiche Maschine wurde in der Schweiz von der «Société Genevoise» und von mehreren ausländischen

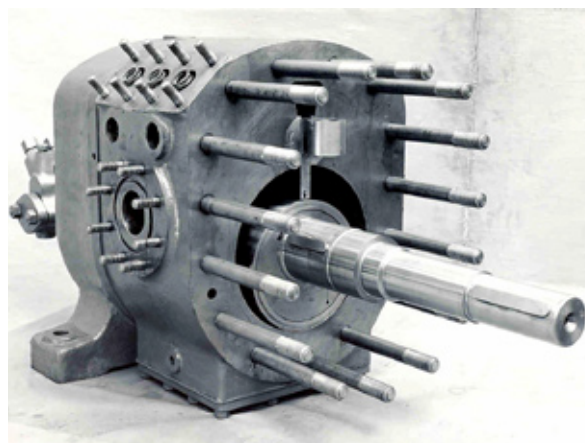


Bild 3: Rotasco-Kompressor der Rathaus-Wärmepumpe [Hochbauamt, Zürich]

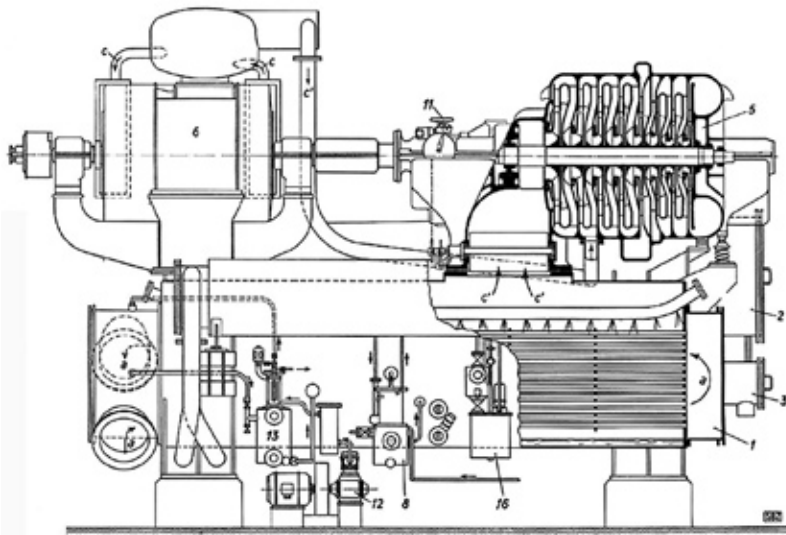


Bild 4: Walche-Anlage, Brown Boveri «Thermoblock» mit Radialkompressoren [Amt für Bundesbauten, Bern]

Firmen gebaut. Ab 1913 produzierte **Escher Wyss** in Zürich unter Lizenz der französischen Douane Kompressoren für das Kältemittel Methylchlorid. Der Dampfturbinenpionier Heinrich Zoelly hat 1912 als Erster eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe mit dem **Erdreich als Wärmequelle** vorgeschlagen und patentiert. Er war den Möglichkeiten seiner Zeit aber noch zu weit voraus.

A.-P. Piccard von der Universität Lausanne und der Ingenieur J.H. Weibel von Genf haben 1876 die **erste wirklich funktionierende Brüdenkompressionsanlage** zur Gewinnung von Kochsalz entwickelt. Diese **erste Wärmepumpe der Schweiz** wurde 1877 in der Saline Bex in Betrieb genommen und produzierte in kontinuierlichem Betrieb rund 175 kg/h Kochsalz. Das System von Piccard war ein grosser Erfolg. Ab 1981 wurden weitere Anlagen für österreichische, französische und deutsche Salinen

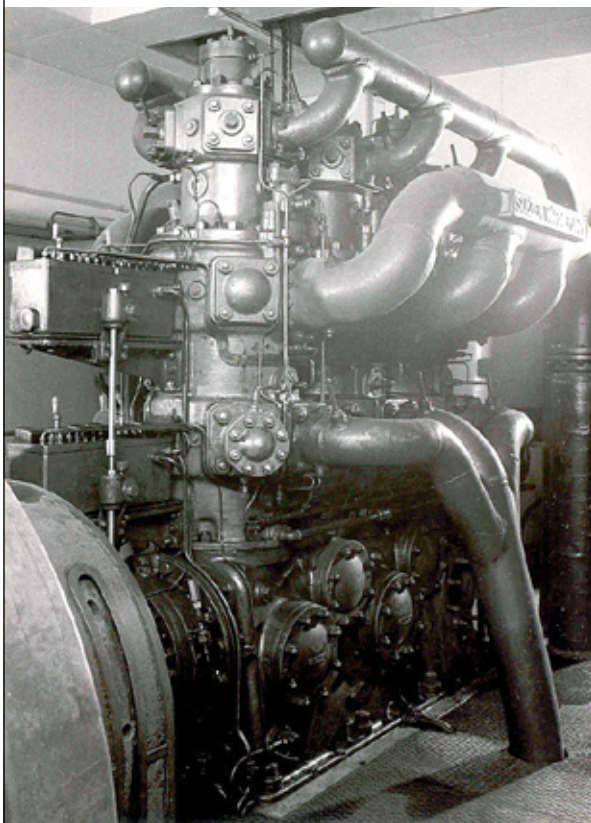


Bild 5: Dreistufige Kolbenkompressoren der Walche-Anlage [ETH Immobilien, Zürich]

gebaut. 1917 wurde durch die Firma Kummler & Matter eine kleinere Brüdenkompressionsanlage für eine Färberei in Aarau realisiert. Diese **erste Brüdenkompressionsanlage mit elektrischem Kompressorantrieb** erreichte eine Leistungszahl von 11,7. Diese Anlagen waren Grundsteine für die spätere schweizerische Spitzenposition im Bau von Brüdenkompressionsanlagen.

Internationale Meilensteine

Von Linde brachte den eigentlichen Durchbruch für verlässliche Ammoniak-Kompressoren. Seine Entwicklung wurde in Lizenz in Europa und in den U.S.A gebaut. 1885 folgten zweistufige Maschinen. Das Prinzip des Schraubenkompressors wurde bereits 1878, jenes von Flügelzellenverdichtern in den frühen 1990er-Jahren und jenes von Scrollverdichtern 1905 patentiert. Die wirtschaftliche Fertigung dieser Maschinen war aber noch nicht möglich. Ab 1911 arbeitete W. Carrier als Erster an Turbokompressoren für die Raumklimatisierung.

Wärmepumpen werden konkurrenzfähig 1919–1950

Aus ersten Prototypen wurden in dieser Periode verlässliche und effiziente Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung. Durch Erhöhung der Drehzahl nahm das Kompressorvolumen deutlich ab.

Schweizer Pionierleistungen

Ab 1920 weitete **Sulzer** seine Kompressorproduktion stark aus und produzierte ab 1922 auch kompakte Kälteinheiten. 1927 baute Sulzer den weltgrössten **Kolbenkompressor** (9,4 MW), dem 1937 ein noch grösserer mit einer Antriebsleistung von 11,6 MW folgte. In den frühen 1930er-Jahren führte Sulzer den ölfreien Labyrinthkolbenkompressor ein, der allerdings erst nach einer Modifikation ab 1956 auch für Kältemittel eingesetzt wurde.

Sulzer baute ab 1909 **Turbokompressoren**. Der Eintritt in den Kältetechnikmarkt erfolgte 1927 mit einem mehrstufigen Turbokompressor mit Dampfturbinenantrieb. **Brown Boveri** konzentrierte sich auf Kältemaschinen mit Turbokompressoren und Leistungen bis 25 MW (1926 bereits bis 9,3 MW). 1936 führte **Escher Wyss** einen **Rollkolbenkompressor** ein, den sogenannten «Rotasco». Dieser wurde für die erste grössere europäische Wärmepumpe in Zürich eingesetzt.

Wärmepumpen für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung. Während und nach dem Ersten Weltkrieg litt die Schweiz an stark erschwerten Energieimporten. Es bestand aber noch ein erhebliches Ausbaupotenzial für Wasserkraftwerke und die Schweiz hatte in der Energietechnik eine Spitzenposition erreicht. Not macht erfinderisch. Schon um 1918 begann eine ernsthafte Diskussion um die Einführung von Wärmepumpen. In der Zeit vor und erst recht während des Zweiten Weltkriegs, als die neutrale Schweiz vollständig von faschistisch regierten Ländern umringt war, wurde die Kohleknappheit erneut beängstigend. Erste Erfahrungen durch die Nutzung der Abwärme von Kälteanlagen für Kunsteisbahnen und Brauereien wurden bereits in den frühen 1930er-Jahren gesammelt. In der Folge wurden **zwischen 1937 und 1945 in der Schweiz rund 35 Wärmepumpen** hauptsächlich durch Sulzer und Escher Wyss aber auch

durch Brown Boveri gebaut und in Betrieb genommen. Bis 1955 kamen noch rund 25 weitere Wärmepumpen dazu. Hauptwärmequellen waren Seewasser, Flusswasser, Grundwasser und Abwärme.

Besonders hervorzuheben sind die **historischen Wärmepumpen der Stadt Zürich** (Tabelle). Ein internationaler Meilenstein ist die in den Jahren 1937/38 von Escher Wyss gebaute Wärmepumpe zum Ersatz von Holzöfen im **Rathaus Zürich** (Bild 2). Zur Vermeidung von Lärm und Vibrationen wurde ein erst kurz zuvor entwickelter Rollkolbenkompressor eingesetzt (Bild 3). Diese historische Wärmepumpe beheizte das Rathaus während 63 Jahren bis ins Jahr 2001! Dann wurde sie durch eine neue, effizientere Wärmepumpe ersetzt. Seit diesem Jahr wird die **älteste noch betriebsbereite Wärmepumpe** einmal pro Woche während einer Stunde betrieben, um sie «am Leben» zu erhalten. Das **Hallenbad Zürich** erhielt 1941 eine Wärmepumpe mit zehnfacher Heizwärmeleistung. Sie nutzte das ausfliessende Beckenwasser, die Abwärme einer nahe gelegenen Transformatorstation und Seewasser als Wärmequellen.

Ein noch kühnerer Schritt war dann die 1942 realisierte **Wärmepumpenanlage an der Walche** mit der Limmat als Wärmequelle. Die Anlage mit einer Wärmeleistung von 5,86 MW bestand aus zwei «Thermoblock» Wärmepumpen mit Radialkompressoren zu je 2 MW von Brown Boveri (Bild 4) und einer 1,86-MW-Wärmepumpe mit drei dreistufigen Kolbenverdichtern von Sulzer (Bild 5). Die weltweit erste Integration einer Wärmepumpenanlage in ein Fernheiznetz gepaart mit dem hohen Temperaturhub auf 71°C war eine schweizerische Ingenieur-Glanzleistung. 1943 nahm in der Stadt Zürich eine weitere grosse Wärmepumpe mit vier zweistufigen Kompressoren zur Beheizung der «**Amtshäuser**» den Betrieb auf.

Brüdenkompression. Nach einer Problemlösungsperiode mit einer Versuchsanlage in der bayrischen **Saline Reichenhall** wurde 1926 durch Escher Wyss in Zusammenarbeit mit der Saline und der Schweizer Firma Kummeler & Matter die **erste industrielle Brüdenkompressionsanlage** mit einem 344-kW-Radialkompressor gebaut. 1941 realisierte Escher Wyss eine Brüdenkompressionsanlage in der **Saline Riburg** mit einer Kochsalzproduktion von 40 000 Tonnen pro Jahr (Bild 6). 1943 wurde auch die **Saline Schweizerhalle** in eine Brüdenkompressionsanlage umgebaut. Beide Anlagen wurden später auf höhere Kapazitäten umgebaut und weisen heute eine Gesamtverdampfungsleistung von rund 80 MW auf.

Escher Wyss hat 1945 zwei Brüdenkompressionssysteme für die **Zuckerfabrik Aarberg** realisiert. Die Anlage zum Konzentrieren der Zuckerlösung wurde durch einen 2,9-MW-Radialkompressor betrieben (Bild 7). Diese weltweite Kombination von Brüdenkompression und Mehrstufeneindampfung erreichte eine **extrem hohe Leistungszahl von 26,8!**

Diffusions-Absorption. Hans Stierlin startete die Produktion des Diffusions-Absorptions-Kühlschranks «SIBIR» im Jahr 1944. «SIBIR» wurde rasch zum Synonym für Kühlschrank. Stierlin verbesserte 1967 den von Munters-Platen entwickelten Prozess deutlich. Die Konkurrenz der kostengünstiger, ruhiger und effizienter werden den Kompressionskühlschränke verbannte dieses Prinzip dann aber in den Hotelzimmer- (geräuschlos) und Campingbereich. Auf der Basis seines SIBIR-Kühl-



Bild 6: Saline Riburg 1941 [Rheinsalinen Schweizerhalle]

schranks hat Stierlin ab 1988 eine Diffusions-Absorptionswärmepumpe entwickelt.

Internationale Meilensteine

1928 wurden in den U.S.A. erstmals Fluorchlorkohlentstoff-**Kältemittel** synthetisiert. Die unbrennbaren und ungiftigen Kältemittel R-11 und R-12 wurden 1930 als Ersatz für Ammoniak, Schwefeldioxid und Methylchlorid öffentlich angekündigt. Dies war ein grosser Schritt vorwärts – zumindest bis viel später die Umweltproblematik dieser synthetischen Kältemittel entdeckt wurde.

Tabelle: Hauptdaten der historischen Wärmepumpen der Stadt Zürich

| | Rathaus | Hallenbad Zürich-City | Walche-Anlage Fernheizung | Amtshäuser |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|-------------|
| Jahr der Inbetriebnahme | 1938 | 1941 | 1942 | 1943 |
| Totale Heizleistung [kW] | 100 | 1025 | 5860 | 1750 |
| Heizleistung pro Einheit [kW] | 100 | 325/700 | 2*2000/1860 | 1750 |
| Betriebsart | Heizen (Kühlen) | Heizen | Heizen | Heizen |
| Art der Wärmequelle | Fluss | Abwärme/ Seewasser | Fluss | Fluss |
| Wärmequellen-temperatur [°C] | 7 | 23/7 | 9/9 | 7 |
| Wärmesenken-temperatur [°C] | 60 | 45/50 | 71/71 | 50 |
| Leistungszahl COP | | 8,0/3,5 | 2,58/2,73 | 4.0 |
| Jahresarbeitszahl | 2,16 | | | |
| Lorenz-Wirkungsgrad | 22...28 % | 55%/44 % | 47%/49 % | 53 % |
| Anzahl Kompressoren | 1 | 2/3 | 2/1 | 4 |
| Kompressortyp | Rollkolben | Kolben | Radialkompressor/Kolben | Kolben |
| Kältemittel | R-12 | Ammoniak | R-11/ Ammoniak | Ammoniak |
| Wärmepumpenhersteller | Escher Wyss | Escher Wyss | Brown-Boveri/ Sulzer | Escher Wyss |

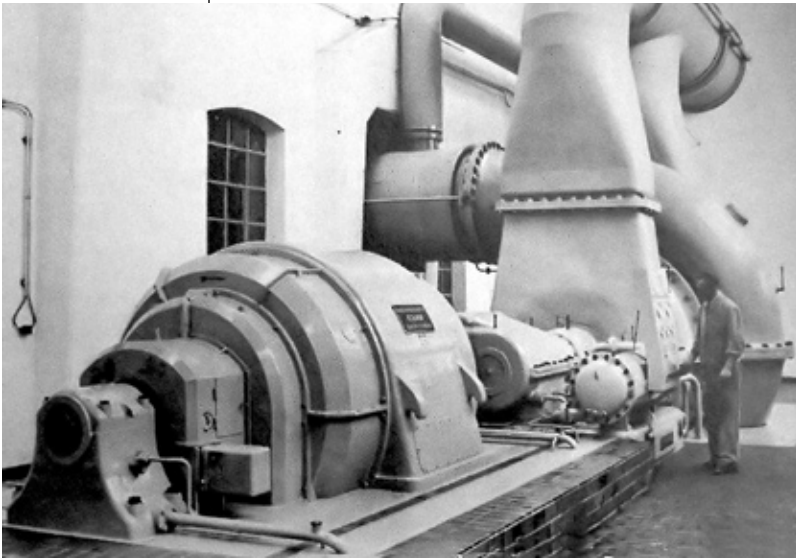


Bild 7: Zuckerfabrik Aarberg 1945 [Zuckerfabrik, Aarberg]

Bereits 1919 wurde der Membrankompressor und 1920 der Rollkolbenkompressor patentiert. Der erste **hermetische Kompressor** wurde 1920 gebaut. Ab 1920 wurde der Flügelzellenverdichter auch für Kältemittel eingesetzt. 1923 wurde das erste thermostatische **Expansionsventil** heutiger Ausführung eingeführt. 1925 folgte das Schwimmerventil zur Kältemitteldurchsatzregulierung und 1927 die Kapillarrohrregulierung. In den späten 1940er-Jahren wurde Kork zur thermischen Isolation durch Isolierschäume abgelöst.

In den U.S.A. wurden in den frühen 1930er-Jahren die ersten **«Wärmepumpen»** zur Raumklimatisierung gebaut. Sie ermöglichten als Ergänzung zur Sommerkühlung das Heizen im Winter – allerdings mit einem sehr bescheidenen Wirkungsgrad. Um 1945 installierte R. C.

Die umfassende Geschichte der Wärmepumpe mit umfangreicher Referenzliste

Zogg, Martin: Geschichte der Wärmepumpe – Schweizer Beiträge und internationale Meilensteine,

Zogg Verfahrens- und Energietechnik, Oberburg 2009, ISBN 978-3-033-02154-9,

kann bei www.fws.ch als Buch bezogen werden.

Download:

www.zogg-engineering.ch/publi/GeschichteWP.pdf

Webber die erste Kleinstwärmepumpe (2,2 kW) mit Nutzung des **Erdreichs als Wärmequelle** über im Erdreich verlegte Kupferrohre.

Die Periode tiefer Erdölpreise 1951–1972

Die in den 1950er- und 1960er-Jahren laufend fallenden Erdölpreise führten zu einem dramatischen Verkaufseinbruch für Wärmepumpen mit einem entsprechenden Entwicklungsstillstand. Der Erfolg der Klimatisierungsgeräte sicherte aber das Wärmepumpen-Know-how und ermöglichte eine Weiterentwicklung.

Schweizer Beiträge:

Kompressoren und Online-Überwachung

Dank enormer Anstrengungen in der Entwicklung neuer Werkstoffe, in der Strömungslehre und in der Fertigungstechnik gelang es, die Umfangsgeschwindigkeit von **Turbokompressoren** in den Bereich der Schallgeschwindigkeit zu steigern. Damit konnte das Druckverhältnis in einer einzigen Radialverdichterstufe auf etwa acht gesteigert werden. Escher Wyss, Sulzer und Brown Boveri übernahmen dabei in enger Zusammenarbeit mit der ETH Zürich eine führende Rolle. Sulzer installierte 1958 den ersten Hochgeschwindigkeits-Radialkompressor in einer Klimatisierungsanlage in England. Ab 1956 baute Sulzer seine **ölfreien Labyrinthkompressoren** auch für Kältemittel. In den frühen 1970er-Jahren führte Brown Boveri mit dem System «ULMA» die welterste kommerzielle online-Überwachung ein.

Bis zum Erdölembargo von 1973 war die Installation von Wärmepumpen auf einige Spezialfälle beschränkt. Im Gegensatz zum Wärmepumpenbereich blieb das Geschäft im **Brüdenkompressionsbereich** weiterhin erfolgreich. In den 1960er- und 1970er-Jahren sicherte sich Escher Wyss einen Weltmarktanteil von rund 30 Prozent.

Internationale Meilensteine

In den U.S.A. begann die Massenproduktion **hermetischer Kompressoren** für Kühlschränke in den 1950er-Jahren. Mit Ausnahme von Ammoniak haben die halogenierten Kohlenwasserstoffe in den 1950er-Jahren praktisch alle übrigen Kältemittel verdrängt. In den späten 1960er- und frühen 1970er-Jahren verursachten die aufkommenden Computer rasch einen enormen technologischen Wandel.

Um 1952 wurden in den U.S.A. erste Wärmepumpen mit **Grundwasser als Wärmequelle** realisiert und erste Versuche mit durch Verbrennungsmotoren angetriebenen Wärmepumpen durchgeführt. Die **Klimatisierungseinheiten** zur Kühlung und Heizung boomten in den U.S.A. und in Japan – sie fanden in Zentral- und Nordeuropa aber nur geringe Akzeptanz. In Frankreich und Deutschland wurden Wärmepumpen nur sporadisch bei gleichzeitigem Kühlen und Heizen (z. B. Molkereien) eingesetzt. ■

* Dr. Martin Zogg (1942) schloss seine Studien in Maschinenbau und Verfahrenstechnik an der ETH-Zürich ab. Er sammelte seine Industrieerfahrungen im Flugzeugbau, in der Kraftwerkstechnik, der Tieftemperaturtechnik und der Prozesstechnik. Dann wirkte er 25 Jahre als Professor für Verfahrenstechnik an der Berner Fachhochschule, 10 Jahre als Leiter des Forschungsprogramms «Umgebungswärme, Abwärmenutzung und Wärme-Kraft-Kopplung» des Bundesamts für Energie, sowie 7 Jahre als Experte für Forschungsprojekte der Förderagentur für Innovation (KTI/CTI). www.zogg-engineering.ch

ptk-fachpressdienst

Textmanagement und Pressearbeit für HLKK-KMUs

www.ptk-fachpressdienst.ch

Peter T. Klaentschi • Fachautor BR SFJ

Tel. / Fax +41 (0)56 667 38 36
info@ptk-fachpressdienst.ch

Jurastrasse 3 • Postfach 90
CH-5614 Sarmentorf

...ptk bringt's auf den Punkt