

# MEILENSTEINE DER WÄRMEPUMPENGESCHICHTE

**Prof. Dr.sc.techn. Martin Zogg**

Verfahrens- und Energietechnik

CH-3414 Oberburg

## **Zusammenfassung**

Mit Heizen durch Wärmepumpen kann der Brennstoffverbrauch und damit die CO<sub>2</sub>-Emission im Vergleich zu einer konventionellen Kesselheizung auf rund die Hälfte gesenkt werden. Gegenüber einer elektrischen Widerstandsheizung ergibt die Wärmepumpenheizung sogar eine Reduktion des Energiebedarfs um bis zu 80%. Die Wärmepumpenheizung wird sich deshalb künftig noch vermehrt durchsetzen. Schweizer Pioniere haben als Erste funktionierende Brüdenkompressionsanlagen gebaut. Die ersten Wärmepumpen in Europa wurden in der Schweiz realisiert. Die Schweiz ist in der Wärmepumpentechnik bis heute bei den führenden Ländern geblieben. Ihre Pionierarbeiten in der Entwicklung von Erdwärmesonden, der Nutzung von Abwasser als Wärmequelle, der Entwicklung ölfreier Kolbenkompressoren sowie von Turbokompressoren sind allgemein bekannt. Die grösste je gebaute Wärmepumpe stammt aus der Schweiz. Obwohl ein umfassendes Gasverteilnetz besteht, werden heute rund 75% der neuen Einfamilienhäuser mit Wärmepumpen beheizt. Dieser Bericht präsentiert einige „Highlights“ aus dieser Erfolgsgeschichte. Dabei werden die Schweizer Entwicklungen ins Zentrum gerückt und ihre Beziehungen zu den internationalen Meilensteinen aufgezeigt. Um anzudeuten, in welcher Richtung die künftigen Entwicklungen gehen könnten, werden auch einige neuere Arbeiten aus der Schweizer Wärmepumpenforschung vorgestellt.

*Eine umfassende Geschichte der Wärmepumpe mit umfangreicher Referenzliste findet man in [1]. A comprehensive heat pump history with many references [2] and an English summary [3] are available as well.*

**Stichwörter:** Wärmepumpe, Kaltdampfprozess, Brüdenkompression, Technikgeschichte, Pionierleistungen.

## 1. Einleitung

Die Menschheit nutzt die Wärme künstlich entzündeter Feuer seit der Steinzeit. Der Wunsch nach künstlicher Kühlung konnte dagegen erst um 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 niedrigen Investitionskosten. Dies bleibt im Interesse einer hohen Einsparung von Primärenergie eine stete Herausforderung für die Wärmepumpentechnik. Der Nutzungsgrad von Kesseln bleibt infolge unvermeidbarer Wärmeverluste auf weniger als 100% 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% Brennstoffwärme eine Nutzwärmeerzeugung von 150% bis 200%**. Künftig sind noch höhere Nutzungsgrade zu erwarten.

Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf **Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung als Hauptnutzen**. Die bedeutenden schweizerischen Entwicklungen werden hervorgehoben und ihre Beziehung zu internationalen Meilensteinen der Wärmepumpen- und der relevanten Kältemaschinentechnik wird aufgezeigt.

## 2. Wissenschaftliche Grundlagen der Wärmepumpentechnik

Robert Mayer postulierte 1842 das Äquivalenzprinzip von Arbeit und Wärme, welches 1843 von James Prescott experimentell bestätigt wurde. 1847 formulierte Hermann von Helmholtz das Energieerhaltungsgesetz oder den **1. Hauptsatz der Thermodynamik**. Nicolas Léonard Sadi Carnot hat 1824 als Erster eine präzise Beziehung zwischen Arbeit und Wärme aufgestellt. Seine private Publikation wurde von Benoît Paul Emile Clapeyron wieder entdeckt und von Rudolf Julius Emanuel 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. William Thomson, der spätere Lord Kelvin, brachte den 2.Hauptsatz in eine allgemeinere Form und formulierte 1852 die absolute Temperaturskala. Josiah Willard Gibbs führte 1878 den Begriff der **Enthalpie** ein. Diese fand 1902 mit Richard Mollier Eingang in die angewandte Thermodynamik. Aus den Überlegungen von G. Zeuner (1859) und Hans Lorenz (1896) entstand die Idee der **Exergie**, der bei konstanten Wärmequellen- und Wärmesenktemperatures maximal gewinnbaren

Arbeit. Eine konsistente **Thermodynamik der Kältemaschinen** (und damit von Wärmepumpen) wurde 1870 durch Carl von Linde eingeführt.

### 3. 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 Eiserzeugung. Sie enthielt bereits alle Komponenten einer modernen Wärmepumpe. Es blieb bei einer Einzelmaschine. 1855 führte A. C. Twining die erste kommerzielle Eiserzeugungsanlage ein. 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 verspricht eine besonders hohe Energieeinsparung. Leistungszahlen (COP-Werte) von 15 bis 30 sind heute Stand der Technik. Deshalb wurde die **Brüdenkompression** zur ersten Wärmepumpenanwendung für reine Heizzwecke. Als Erster versuchte P. von Rittinger 1857 die Realisierung dieser Idee. Seine 14 kW Pilotanlage in der österreichischen Saline Ebensee scheiterte aber nicht nur am etwas eigenartigen geschlossenen Kreisprozeß, sondern auch an zahlreichen verfahrenstechnischen Problemen.

### 4. Industrialisierung 1876-1918

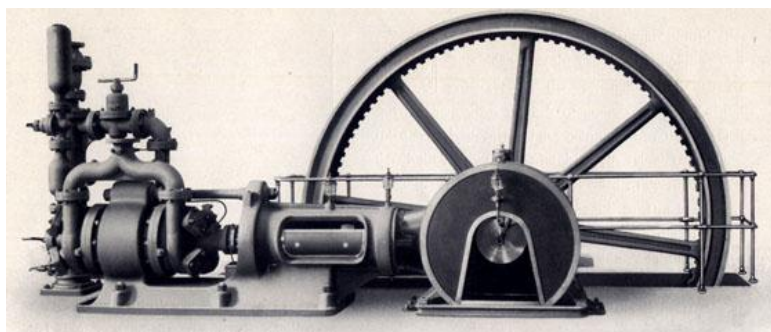
Auf der Grundlage eines sich rasch entwickelnden wissenschaftlichen Verständnisses und einer besseren Fertigungstechnik wurden in dieser Periode aus den Funktionsmustern der Pioniere verlässliche industrielle Produkte. Carl von Linde leistete auf diesem Weg den bedeutendsten Beitrag. Er war nicht nur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

#### 4.1 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 Her-

steller für Linde. Noch im selben Jahr begann Sulzer mit dem Export von Kälteanlagen für eine Eisfabrik in Bombay (Indien): Zwei Sulzer Kompressoren wurden durch zwei Sulzer Dampfmaschinen angetrieben. 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 und 1914 hat Sulzer die erste Klimaanlage für ein Hotel in Buenos Aires geliefert.

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



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 Firmen gebaut. Ab 1913 produzierte **Escher Wyss** in Zürich unter Lizenz der französischen Douane Kompressoren für das Kältemittel Methylchlorid ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ , auch Chlormethan). 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.

Vermutlich angeregt durch die Versuche von Rittinger in Ebensee haben Antoine-Paul Piccard von der Universität Lausanne und der Ingenieur J.H. Weibel von Genf 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. Bereits 1981 wurde im österreichischen Ebensee eine analoge Anlage installiert. Vier weitere Anlagen wurden für die Salinen im französischen Salat und im deutschen Schönbeck gebaut. 1917 wurde durch die Firma Kummler & Matter eine kleinere Brüdenkompressionsanlage für die Färberei Jenny in Aarau gebaut. 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.

#### 4.2 Internationale Meilensteine

Carl 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 (W.G. Lock, Australien → Sulzer) und 1892 (S. Saint Clar, USA → York) folgten zweistufige Maschinen. Das Prinzip des Schraubenkompressors wurde bereits 1878, jenes von Flügelzellenverdichtern in den frühen 1900er 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.

## 5. Wärmepumpen werden konkurrenzfähig 1919-1950

Aus ersten Prototypen wurden in dieser Periode verlässliche, effiziente und - je nach energiepreislichen Randbedingungen – auch konkurrenzfähige Wärmepumpen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung. Durch Erhöhung der Drehzahl nahm das Kompressorvolumen deutlich ab. Die Elektromotoren wurden kostengünstiger und konnten ab 1920 direkt an den Kompressor geflanscht werden.

### 5.1 Wärmepumpenheizung und Brüdenkompression – Schweizerische Pionierleistungen

Ab 1920 weitete **Sulzer** seine Kompressorproduktion stark aus und produzierte ab 1922 auch kompakte Kälteeinheiten. 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 1955 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). Der 1935 eingeführte Kaltwassersatz wurde mit Kompressorleistungen von 23 kW bis 1.4 MW angeboten.

1936 führte **Escher Wyss** einen **Rollkolbenkompressor** ein, den sogenannten „Rotasco“. Dieser wurde für die erste grössere, europäische Wärmepumpe in Zürich eingesetzt: Bild 3.

**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 dem zweiten Weltkrieg, als die neutrale Schweiz vollständig von faschistisch regierten Ländern umringt war, wurde die Kohleknappheit erneut bedrückend. Erste Erfahrungen durch die Nutzung der Abwärme von Kälteanlagen

gen 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. Die grösste Anlage erreichte eine Wärmeleistung von rund 6 MW. Bis 1955 kamen noch rund 25 weitere Wärmepumpen dazu. Hauptwärmequellen waren See- wasser, Flusswasser, Grundwasser und Abwärme. Besonders hervorzuheben sind die **historischen Wärmepumpen der Stadt Zürich**. Sie werden zusammen mit anderen interessanten Installationen in [1] ausführlich vorgestellt. Dieser Beitrag kann nur einige Eindrücke vermitteln: Tabelle 1.

Tabelle 1: Hauptdaten der historischen Wärmepumpen der Stadt Zürich

	<b>Rathaus</b>	<b>Hallenbad Zürich-City</b>	<b>Walche Fernheizung</b>	<b>Amtshäuser</b>
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
Wärmequellentemperatur [°C]	7	23 / 7	9 / 9	7
Wärmesenktemperatur [°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% / 47%	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

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 (Schanzengraben) als Wärmequellen. Ein noch kühnerer Schritt war dann die 1942 gebaute **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**“ (Administrationsgebäude der Stadt) den Betrieb auf.



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

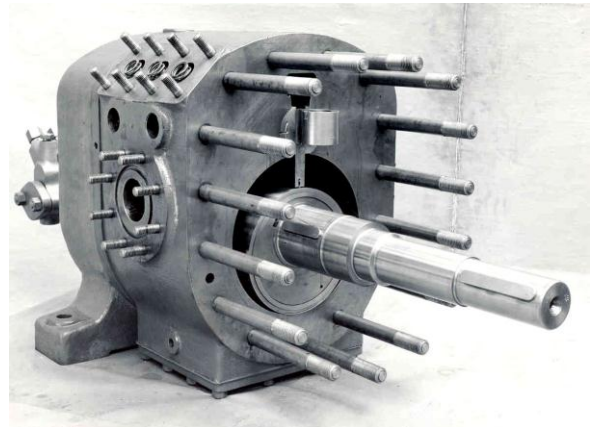


Bild 3: Rotasco-Kompressor der Rathaus-Wärmepumpe [Hochbauamt, Zürich]

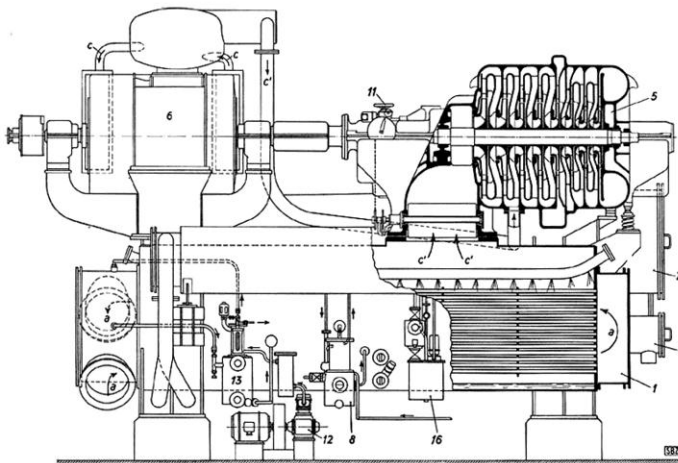


Bild 4: Walche-Anlage, Brown Boveri « Thermoblock » mit Radialkompressoren [Broschüre, Amt für Bundesbauten, Bern, 1988]

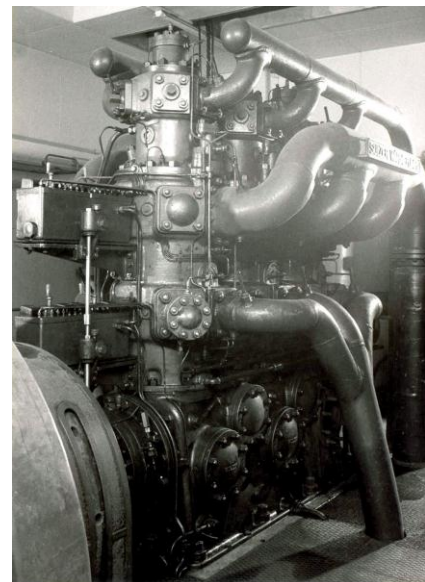


Bild 5: Walche-Anlage, dreistufige Kolbenkompressoren [ETH Immobilien, Zürich]

**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 Kummler & 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 einen Brüdenkompressionsprozess 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** gebaut. 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!** Das zweite Brüdenkompressionssystem diente der Verdampfungskristallisation.

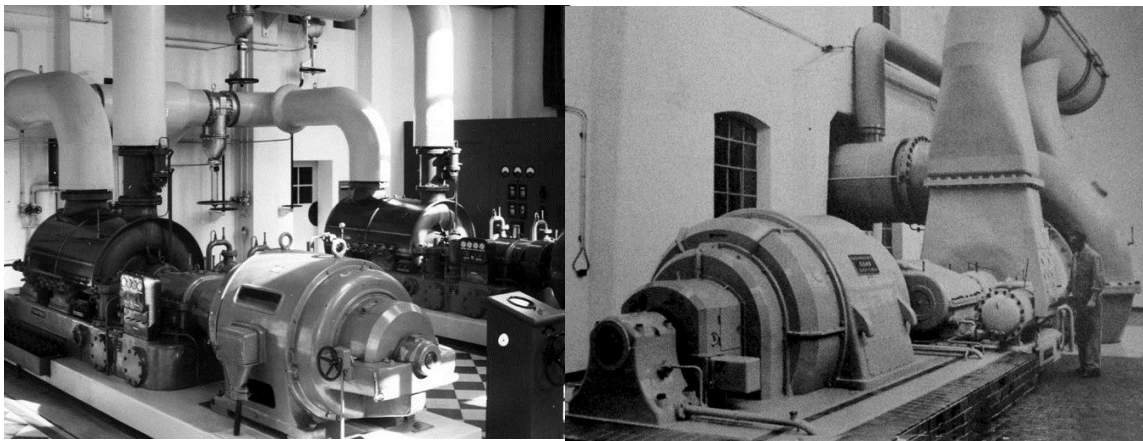


Bild 6: Saline Riburg 1941  
[Rheinsalinen Schweizerhalle, Pratteln]

Bild 7: Zuckerfabrik Aarberg 1945  
[Zuckerfabrik, Aarberg]

**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 werdenden Kompressionskühlschränke verbannte dieses Prinzip dann aber in den Hotelzimmer- (geräuschlos) und Campingbereich. Auf der Basis seines SIBIR-Kühlschranks hat Stierlin ab 1988 eine Diffusions-Absorptions-wärmepumpe entwickelt.

## 5.2 Internationale Meilensteine

1928 wurden in den U.S.A. erstmals Fluorchlorkohlenstoff-**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.



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. Die Verwendung von Radialkompressoren wurde durch die neuen synthetischen Kältemittel begünstigt. In Schweden wurden 1934/1935 die ersten Schraubenkompressoren zur Luftverdichtung produziert.

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. In dieser Zeit gab es in den U.S.A. auch einen ersten Boom für Einzelraumklimatisierungsgeräte (Fenster- und Wandklimatisierungsgeräte), die – ebenfalls mit geringer Effizienz – teilweise auch eine Raumheizung im Winter ermöglichten. Um 1945 installierte R. C. Webber die erste Kleinstwärmepumpe (2.2 kW) mit Nutzung des **Erdreichs als Wärmequelle**. Er verdampfte FCK (Fluor-Chlor-Kohlenstoff) - Kältemittel in im Erdreich verlegten Kupferrohren. In Deutschland wurden ab 1947 einige Absorptionswärmepumpen gebaut.

## 6. Die Periode tiefer Erdölpreise 1951-1972

Die in den 1950er und 1960er Jahren laufend fallenden Erdölpreise führten zu einem dramatischen Verkaufseinbruch für Wärmepumpen zur ausschliesslichen Erzeugung von Niedertemperaturwärme mit einem entsprechenden Entwicklungsstillstand. Dagegen gab es in wärmeren Klimazonen weiterhin einen Bedarf an Raumkühlung, der nur durch „Wärmepumpen“ gedeckt werden konnte. Der Erfolg der Klimatisierungsgeräte sicherte das Wärmepumpen-Know-how und ermöglichte eine Weiterentwicklung.

### 6.1 Schweizer Beiträge: Kompressoren und on-line-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 8 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 weltweite kommerzielle on-line-Überwachung ein.

Bis zum Erdölembargo von 1973 war die Installation von Wärmepumpen auf einige Spezialfälle beschränkt. So wurde 1961 dank spezieller Elektrizitätstarife im Spital von Altdorf eine hocheffiziente **350 kW Ammoniak-Wärmepumpe** von Escher Wyss in Betrieb genommen. Im Gegensatz zum Wärmepumpenbereich war das Geschäft im **Brüdenkompressionsbereich** weiterhin erfolgreich. In den 1960er und 1970er Jahren sicherte sich Escher Wyss einen Weltmarktanteil von rund 30%.

## 6.2 Internationale Meilensteine

In den U.S.A. begann die Massenproduktion **hermetischer Kompressoren** für Kühlschränke in den 1950er Jahren. 1958 wurde durch Ölinjektion eine bedeutende Steigerung des Druckverhältnisses von Schraubenkompressoren erreicht. 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 provozierten die aufkommenden Computer rasch einen enormen technologischen Wandel.

Um 1952 wurden in den U.S.A. erste Wärmepumpen mit **Grundwasser als Wärmequellen** 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. Dies infolge unangenehmer Luftströmungen und Lärms, geringer Effizienz im Heizmodus und einer meist fehlenden Enteisungsmöglichkeit. In Frankreich und Deutschland wurden Wärmepumpen nur sporadisch bei gleichzeitigem Kühlen und Heizen (z.B. Molkeereien) eingesetzt. In Deutschland wurde die erste erdgekoppelte Wärmepumpe 1969 realisiert.

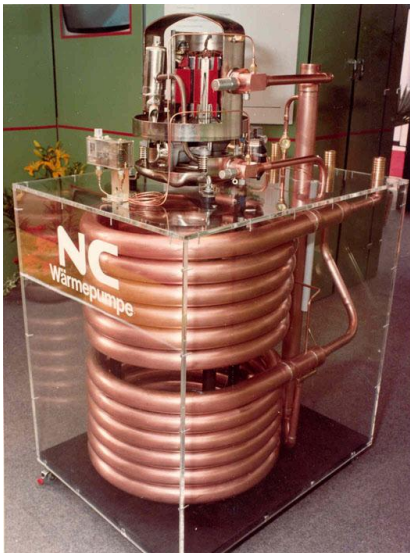
## 7. Enthusiasmus und Enttäuschung 1973-1989

Das Jahr 1973 wurde zu einem der bedeutendsten Wendepunkte in der Geschichte des zwanzigsten Jahrhunderts. Arabische Mitglieder der OPEC beschlossen, die Öllieferungen an westliche Staaten zu reduzieren. Dieses **Erdöl-embargo** wirkte sich mit einer globalen Rezession und einer hohen Inflation verheerend auf die Weltwirtschaft aus. Bis zum Ende des Embargos im März 1974 waren die Ölpreise um über 300% gestiegen. Darauf erhielten vorher belächelte alternative Energien und der rationelle Energieeinsatz hohe öffentliche Priorität. Diese Tendenz wurde durch die **zweite Erdölkrise** von 1979 und den Krieg zwischen Iran und Irak 1980 noch verstärkt. In dieser Zeit herrschte im Weiteren ein grosser Optimismus hinsichtlich des Ersatzes fossiler Energien durch Nuklearenergie. Diese Situation begünstigte die Wärmepumpentechnik enorm. Es kam zu einem eigentlichen **Wärmepumpenboom**. Dieser wurde aber durch zu viele inkompetente Anbieter und dem nächsten Ölpreiszerfall nach 1981 gegen Ende der 1980er Jahre jäh beendet. Weltweit wurde 1979 die Zahl der Wärmepumpen für Heizzwecke auf 800'000 geschätzt.

## 7.1 Schweizer Beiträge zur Wärmepumpenheizung

Unmittelbar nach dem Erdölembargo von 1973 begann auch in der Schweiz die Entwicklung von **Wärmepumpen für den Ein- und Zweifamilienhausbereich** (Wärmeleistung **10-50 kW**) mit Umgebungsluft oder Erdreich als Wärmequelle. Sie wurde häufig von innovativen, geschickten Berufsleuten aus den Bereichen Kältetechnik, Klimatisierung und Elektrizitätsversorgung vorangetrieben. Die manuelle Fertigung erfolgte in Kleinbetrieben. Die Hersteller benützten meist R-12 und später R-22 als Kältemittel, hermetische Kolbenkompressoren und andere Komponenten aus dem Weltmarkt der Kältetechnik. Das Bild 8 zeigt ein Beispiel einer solchen Wärmepumpe. Um 1978 dienten nebst Umgebungsluft Erdkollektoren – oft in Kombination mit unverglasten Dachkollektoren – als Wärmequelle. Daneben wurden aber auch gereinigtes und ungereinigtes Abwasser sowie See- und Flusswasser genutzt. Die Jahresarbeitszahl dieser Kleinwärmepumpen erreichte bescheidene 1.9 bis 2.3 für Luft als Wärmequelle und wenig mehr bei der Verwendung horizontaler Erdkollektoren.

Nach 1990 wurden die Wärmepumpen weniger voluminös und wiesen einen geringeren Kältemittelinhalt auf. Die Palette der Wärmequellen wurde erweitert durch thermoaktive Gebäudeelemente mit integrierten Rohrleitungen. Der Markt für Kleinwärmepumpen benötigte aber noch einen gewissen „**Selbstreinigungseffekt**“ und konzertierte flankierende Massnahmen zur **Qualitätssicherung**, bevor gegen das Ende der 1980er Jahre ein erfolgreicher Neustart möglich wurde.



*Bild 8: "Grimm Maschine" um 1980 [H. Grimm, Bremgarten]*



*Bild 9: Eine der vier 440 kW Wärmepumpen beim Bahnhof Luzern (1984) [Axima, Kriens]*

Im **mittleren Leistungsbereich (50-1000 kW)** waren drei Firmen aktiv. Hoval Herzog, welche Wärmepumpen auf der Basis von Carrier Kaltwassersätzen baute, realisierte bereits 1975 eine 620 kW Wärmepumpe mit **gereinigtem Abwasser** als Wärmequelle. Autofrigor / Scheco trieb Lösungen zur kombinierten Nutzung von Wärme und Kälte voran und übernahm eine führende Rolle

beim raschen Ersatz der FCK-Kältemittel. Auch Sulzer-Escher-Wyss produzierte Anlagen in diesem Leistungsbereich. In den 1980er Jahren wurden auch zahlreiche von **Gas- und Dieselmotoren** angetriebene Wärmepumpen gebaut. Sie waren allerdings nicht erfolgreich. Nach einigen Betriebsjahren hatten sie mit zu häufigen Pannen und zu hohen Unterhaltskosten zu kämpfen.

Auf der Grundlage einer jahrzehntelangen Erfahrung erarbeitete sich Sulzer-Escher-Wyss im Bereich **grosser Wärmepumpen (> 1 MW)** eine international führende Position. Eine der ersten Realisierungen des modernen Konzepts der Kombination von Blockheizkraftwerken mit elektrischen Wärmepumpen war das 1984 durch Sulzer-Escher-Wyss gebaute **Totalenergiesystem beim Bahnhof Luzern**. Vier Wärmepumpeneinheiten mit je 440 kW Heizleistung (Bild 9) und dem Vierwaldstättersee als Wärmequelle wurden durch drei Gasmotor-Blockheizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von je 374 kW<sub>el</sub> angetrieben. Im Sommer können die Wärmepumpen auch zur Kühlung eingesetzt werden. Die Totalenergieanlage wird unter Berücksichtigung von Bedarf und Stromtarif optimal betrieben. Nach dem Ersatz von R-12 durch Ammoniak im Jahr 1990 konnte die **Gesamtheizleistung** auf 7.2 MW erhöht werden. Der Brennstoff-Nutzungsgrad der Anlage geht gegen 200%.



***Bild 10:** 7.8 MW Ammoniakwärmepumpensystem an der EPFL, 1986 [Friothersm 2008]*



***Bild 11:** Eine von sechs 30 MW Sulzer Wärmepumpen der Stockholmer Fernheizung (1985) [www.friothersm.ch]*

Auf einen Vorschlag von Lucien Borel (EPFL) hat Ludwig Silberring eine zukunftsweisende **19.2 MW Totalenergieanlage** zur Beheizung der EPFL (ETH-Lausanne) geplant. Die von Sulzer-Escher-Wyss 1986 gebaute Anlage umfasst zwei Gasturbinen-Generatoreinheiten (mit 3 MW elektrischer Leistung und 5.8 MW Wärmeleistung) und zwei damit angetriebene Wärmepumpen mit Schraubenkompressoren: Bild 10. Die zwei identischen Ammoniak-Wärmepumpen mit Economizer-Stutzen und einer Wärmeleistung von je 3.9 MW nutzen den Genfersee als Wärmequelle. Nach Inbetriebnahme wurde ein Nutzungsgrad der Totalenergieanlage von 170% gemessen. Da es in der Schweiz nur kleinere

Fernwärmenetze gibt, müssen die wirklich grossen Wärmepumpen exportiert werden. 1984/1985 wurde von Sulzer-Escher-Wyss für das Fernwärmenetz von **Stockholm** ein **180 MW** Wärmepumpensystem mit 6 Wärmepumpeneinheiten zu je 30 MW geliefert: Bild 11. Dieses blieb das **grösste Wärmepumpensystem der Welt** mit Meerwasser als Wärmequelle.

**Erdwärmesonden-Pioniere.** Schweizer Pioniere waren bei der Entwicklung der bis etwa 1980 nur belächelten Erdwärmesondentechnik wesentlich beteiligt. Jürg Rechsteiner (Multi-Energie, Aadorf) war der Schweizer Pionier beim Übergang von den horizontalen Erdkollektoren zu vertikalen Erdwärmesonden. Er rammte seine ersten **koaxialen Stahlsonden** bereits **1974** in den sandigen Boden von Lustenau im benachbarten Österreich. Bis 1980 folgten weitere Hersteller dieser Technik. Es war ein kostspieliger erster Versuch. Nebst anderen Problemen ruinierten die häufigen Leckagen zwischen den 2.5 m langen Sonderelementen den Ruf der Erdwärmesonden. In der Folge entwickelte Rechsteiner die erste **U-Rohr-Erdwärmesonde aus Polyethylen**. Er stellte seine Erfindung Ernst Rohner von der auf die Rotations-Spülbohrtechnik spezialisierten Bohrfirma Grundag vor. Kurz darauf führte Multi-Energie in der Nähe von St. Gallen die ersten Tests mit U-Sonden aus Kunststoff durch. Bereits 1980 erfolgte der Bau einer ersten Wärmepumpenanlage mit Doppel-U-Sonden aus Polyethylen für ein Einfamilienhaus in Arbon. Rechsteiners Erfindung wurde seither weltweit tausendfach kopiert und ist heute die Standardlösung für Erdwärmesonden. Die Bohrtiefe lag in den Anfängen bei 50 m und erreichte ab 1985 über 100 m.

**Pioniere der Nutzung von Rohabwasser.** Heinz Grimm hat als Erster rohes Abwasser als Wärmequelle für Wärmepumpen genutzt. Die Probleme der Feststoffabtrennung durch Sedimentation und Sieben wurden aber erst durch Felix Kalberer befriedigend gelöst. Seither wurde sein „FEKA-Tank“ (Bild 13) laufend verbessert und in bisher 180 Installationen realisiert.

**Qualitätssicherung für Kleinwärmepumpen.** Bereits um 1980 hat Lucien Borel von der EPFL einen Prüfstand für kommerzielle Wärmepumpen aufgebaut. Systematische Langzeittests für ganze Wärmepumpenheizungssysteme wurden 1981 von Peter Hubacher (Enfog, Gossau) mit seinem Kollegen Bruno Dürr und dem wissenschaftlichen Berater Max Ehrbar vom Neu-Technikum Buchs aufgenommen und für einige Jahre fortgesetzt. Während die Wärmepumpen bereits eine ordentliche Leistungszahl aufwiesen, war die Effizienz ganzer Wärmepumpenheizungssysteme noch sehr bescheiden.

**Unterstützung durch öffentliche Forschung und Entwicklung.** In den frühen 1980er Jahren wurden durch das Eidgenössische Institut für Reaktorforschung EIR umfangreiche theoretische **Grundlagen** zur Wärmepumpentechnik zusammengestellt. In der gleichen Zeitperiode hat Dieter Imboden an der EAWAG in Dübendorf Grenzwerte zur ökologisch bedenkenlosen **Wärmeentnahme aus Oberflächengewässern** ausgearbeitet. Auch zu jener Zeit begann Robert J. Hopkirk von Polydynamics gefolgt von Ladislaus Rybach und seinen Mitarbeitern (insbesondere Walter J. Eugster) von der ETH Zürich mit der **wissen-**

### **schaftlich fundierten Auslegung und Optimierung von Erdwärmesonden.**

Ihre theoretischen und experimentellen Studien gepaart mit der praktischen Erfahrung der Bohr- und Wärmepumpenpioniere begründeten die führende Position der Schweiz in Auslegung und Bau von Erdwärmesondensystemen als Wärmequelle, Wärmesenke und Erdwärmespeicher auch zur kombinierten Kälte- und Wärmeerzeugung und für die passive Raumkühlung.

### **Unterstützung durch Verbände, Bundesverwaltung und Medien.**

Seit 1980 engagiert sich die „Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen“ AWP für die Vereinheitlichung und Vereinfachung der Bewilligungsverfahren, gemeinsame Planungsrichtlinien, den Erfahrungsaustausch und für die Ausbildung von Fachleuten. Das **Bundesamt für Energie** unterstützte relevante Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen und wirkte als Katalysator für Verbände und Kantone. In der Mitte der 1980er Jahre erfolgte auch ein Durchbruch in der Medienpräsenz der Wärmepumpentechnik.

## **7.2 Internationale Meilensteine**

S. Rowland und M. Molina vermuteten 1974, dass das aus entweichenden Fluorchlorkohlenstoff-Kältemitteln (FCK) freigesetzte Chlor die **Ozonschicht** beschädige. Aus den Bedenken wurde 1978 eine Gewissheit. 1985 wurde das Ozonloch über der Antarktis entdeckt. Darauf wurde 1987 mit dem „Montreal Protokoll“ eine weltweite konzertierte Aktion zum rigorosen **Ausstieg aus den FCK-Kältemitteln** beschlossen. Dies führte zu weltweiten Notprogrammen und einer Widergeburt von Ammoniak als Kältemittel. Innerhalb von nur vier Jahren wurde das chlorfreie Kältemittel R-134a entwickelt und zum Einsatz gebracht. Da auch Fluorkohlenwasserstoffe sehr schwer abbaubar sind und ein hohes Treibhauspotenzial aufweisen, wurde in Europa auch die Verwendung brennbarer Kohlenwasserstoffe wie Propan und Isobutan als Kältemittel vorangetrieben. Die U.S.A. und Japan waren davon aus Haftpflichtgründen wenig begeistert.

In den 1970er Jahren eroberten **Plattenwärmeübertrager** den Kälte- und Wärmepumpenmarkt. Für synthetische Kältemittel wurden in den 1980er Jahren die Elastomerdichtungen durch mit Kupfer gelötete Verbindungen ersetzt. Dank hochgenauer, computergesteuerter Fertigungstechnik wurde in den 1980er Jahren auch die industrielle Herstellung von **Scroll- und Schraubenkompressoren** möglich. Ein bedeutender Meilenstein der 1980er Jahre war auch die Einführung der **Mikroprozessoren**. Dadurch wurden unter Verwendung von mehr Sensoren bessere Regelungsstrategien möglich. 1989 brachte Carrier ein mikroprozessorgesteuertes elektronisches Expansionsventil auf den Markt.

Sechs Jahre nach der Einführung durch Jürg Rechsteiner in der Schweiz wurde 1980 in **Deutschland** die erste koaxiale Erdwärmesonde in Betrieb genommen. In den Jahren 1981 bis 1983 entwickelten Volkswagen und Ruhrgas eine kleine Totalenergieanlage. Im sogenannten „**Thermodiesel**“ wurde eine Wärmepumpe durch einen 1.6-Liter Autodieselmotor angetrieben. Die Lebensdauer erwies sich aber als zu gering und die Unterhaltskosten als viel zu hoch. In den

Jahren 1980-1985 wurde in Karlsruhe ein Wärmepumpenprüfstand betrieben. Ab 1982 entstand in **Skandinavien** ein eigentlicher Boom für Grosswärmepumpen. P. Eskilson von der Universität Lund lieferte fundamentale Beiträge zur thermischen Analyse von Erdwärmesonden. 1989 führte der nordische Ministerrat ein neutrales Zertifizierungsprogramm für Wärmepumpen ein. In den **U.S.A.** verbreiteten sich die Fenster- und Wandklimatisierungsgeräte rasant – 1976 waren davon bereits 1.6 Millionen im Einsatz. In den 1980er Jahren gab es verschiedene Versuche, **Absorptionswärmepumpen** mit Heizleistungen unter 50 kW zu entwickeln. Das Kosten-/Nutzenverhältnis vermochte aber nicht zu begeistern und zusätzliche Probleme mit den Lösungsmittelpumpen liessen diese Entwicklungen scheitern.

## 8. Die Erfolgsgeschichte ab 1990

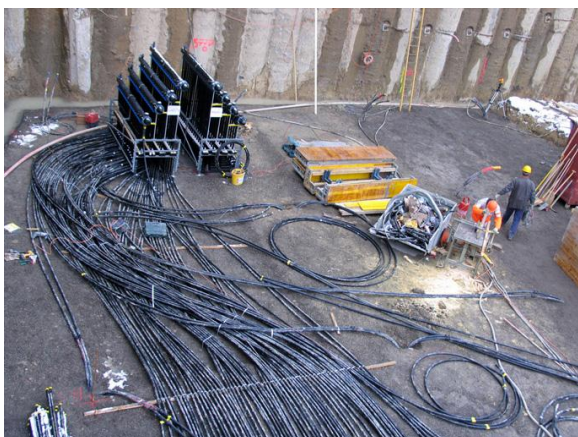
In dieser letzten Periode wurden kostengünstigere, effizientere und zuverlässigere Wärmepumpen verfügbar. Die zunehmenden Umweltprobleme und die stark steigenden Ölpreise sind der Idee der Einsparung von Primärenergie durch Wärmepumpen förderlich. Weiter wird die Wärmepumpentechnologie durch nationale und internationale Anstrengungen in Forschung und Entwicklung, in der Qualitätssicherung und im Marktauftritt gefördert. In einigen Ländern gibt es auch zusätzliche finanzielle Anreize. Der Schwerpunkt der Entwicklung verschob sich von der Komponenteninnovation zur kostengünstigen Produktion und zur Systemoptimierung. Die Letztere wurde durch den Siegeszug der Informationstechnologie wesentlich erleichtert. Im Sinne einer Risikoreduktion wurde der Verkauf von Wärme durch Vertragspartner (Contracting) immer populärer.

### 8.1 Schweizer Beiträge: Innovative Systeme und Qualitätssicherung

Nach Überwinden des „gebrannten-Kind-Effekts“ begann ab 1990 eine bedeutende **Expansion der Wärmepumpenheizung**. Dieser Erfolg fusst auf technischen Gründen -grössere Zuverlässigkeit, ruhigere und effizientere Kompressoren sowie besserer Regelung - aber nicht weniger auf einem breiten Verständnis der Wärmepumpentechnik, besser ausgebildeten Planern und Installateuren, Gütesiegeln für Mindestanforderungen und nicht zuletzt auch auf einer massiven Preisreduktion auf 50% des Werts vor 25 Jahren. Nach 1998 nahm die Steigerung des Wärmepumpenmarktanteils bis auf heute 75% für neue Einfamilienhäuser nochmals deutlich zu. Langsam beginnen Wärmepumpen, auch in den Sanierungsmarkt einzudringen. Bei den in den letzten 15 Jahren getesteten Wärmepumpen steigert sich die **mittlere Leistungszahl** kleiner Luft (2°C) / Wasser (35°C) - Wärmepumpen von 2.6 auf 3.4 um 30%. Jene kleiner Sole (0°C) / Wasser (35°C) - Wärmepumpen erhöhte sich um 17% von 3.8 auf 4.45 (bzw. von 3.5 auf 4.1 nach Berücksichtigung des Energiebedarf für die Soleumwälzpumpe). **Erdwärmesonden** werden heute in Tiefen von 150 m (bei wichtiger passiver Sommerkühlung) bis 250 m (für reine Raumheizung) eingeführt. Aus Festigkeitsgründen liegt die maximale Tiefe von U-Rohr-Sonden aus

Kunststoff bei 350 m. Das bisher grösste Erdwärmesondenfeld der Schweiz mit 72 Sonden und einer Gesamtsondenlänge von 10'600 m wurde 2005 für das Hotel „The Dolder Grand“ in Zürich gebaut: Bild 12.

Nebst den zahlreichen Wärmepumpeninstallationen im Einfamilienhausbereich wurden in dieser Periode auch viele **innovative Grosswärmepumpenprojekte** verwirklicht. Darunter solche, welche unkonventionelle Wärmequellen wie Tunnelabwasser, in Niedertemperaturwärmenetzen verteiltes gereinigtes Abwasser, ungereinigtes Abwasser und Bergseen nutzen.



*Bild 12: Erdwärmespeicher im Bau, Hotel "The Dolder Grand", Zürich [GEOWATT AG, Zürich]*



*Bild 13: FEKA-Tank zur Wärmerückgewinnung Schmutzabwasser [Kalberer, FEKA-Energiesysteme, Bad-Ragaz]*

Es wurden auch zahlreiche **Totalenergieanlagen** als Kombination von Blockheizkraftwerken mit Wärmepumpen realisiert. Friothersm exportierte mehrere grosse Wärmepumpen mit Heizleistungen bis 90 MW und Kühlleistungen bis 60 MW. Darunter sind auch Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus Kraftwerksrauchgasen.

Anstelle eines Zukunftsausblicks soll hier auf die Nullenergie-Wohnüberbauung mit 132 Wohnungen im **Eulachhof** in Winterthur verwiesen werden. Die **Heizvision der Zukunft** wurde hier nämlich in den Jahren 2006 bis 2007 **bereits verwirklicht**. Der Wärmebedarf der Gebäude mit einer Wand-Wärmeisolationstiefe von 38 cm unterschreitet sogar den schweizerischen Passivhausstandard. 1'240 m<sup>2</sup> Solarzellen mit einer Spitzenleistung von total 176 kW<sub>p</sub> liefern im Jahresmittel die elektrische Energie zum Betreiben der zwei Wärmepumpen und der Ventilatoren für die kontrollierte Belüftung. Wärmequelle für die effiziente Wärmepumpe zur Raumheizung ist die Gebäudeabluft. Diese Lösung funktioniert nur dank dem hohen solaren Wärmegewinn im Gebäude. Wärmequelle für die zweite Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung ist das ungereinigte häusliche Abwasser mit dem bereits erwähnten FEKA-Tank: Bild 13. Zur Spitzendeckung in der Raumheizung dient das Fernwärmesystem einer nahegelegenen Kehrlichtverbrennungsanlage. Dieses liefert rund 8.5% des Jahresheizwärmebedarfs, welche etwa der Verbrennungswärme des von den Bewohnern abgelieferten Hausmülls entspricht.



**Unterstützung durch öffentliche Forschung und Entwicklung.** Nebst Beiträgen an zahlreiche Pilotanlagen wurde die Wärmepumpentechnik im Rahmen der Energieforschung des Bundesamts für Energie gefördert. Mit höchster Priorität wurden in einer Ausschreibung diverse Varianten von Wärmepumpen für den Sanierungsmarkt entwickelt. Diese liefern mit Luft von  $-12^{\circ}\text{C}$  als Wärmequelle noch mit guter Effizienz eine Heizungsvorlauf- oder Warmwassertemperatur von  $60^{\circ}\text{C}$ . Daneben wurden folgende Themen bearbeitet:

- Handbücher für Auslegung und Installation von Wärmepumpen
- Richtlinien für hydraulische Standardschaltungen
- Erhöhen der Leistungszahl von Luft/Wasser-Wärmepumpen durch optimales Abtauen und Erdregister für die Ansaugluft
- Leise Luft/Wasser-Wärmepumpen
- Modellierung und Umwelteinfluss von Erdwärmesonden
- Kombiniertes Kühlen und Heizen mit Erdwärmespeicher
- Umweltrelevanz natürlicher Kältemittel
- Wärmeübertragung mit Fluorkohlenwasserstoffen und natürlichen Kältemitteln
- Ammoniak-Kleinwärmepumpen und kleiner halbhermetischer Kompressor für  $\text{CO}_2$
- Kleine Diffusions-Absorptionswärmepumpe ohne Lösungsmittelpumpe (DAWP)
- Unkonventionelle Wärmepumpenkonzepte (Stirling-Motor mit Stirling-Wärmepumpe, magnetische Wärmepumpe)
- Pulsweitenmodulation, Fehlererkennungs- und Diagnosemethoden
- Dynamischer Wärmepumpentest und Wärmepumpentest mit integrierter Warmwasserbereitung

**Unterstützung durch Verbände und den Bund.** In der Folge der Katastrophe von Tschernobyl hat das Schweizervolk 1990 einem zehnjährigen Moratorium für die Nuklearenergie zugestimmt. Die politische Antwort auf diese neue Situation war das Aktionsprogramm „**Energie 2000**“, welche nun als **Energie-Schweiz** weitergeführt wird. Wärmepumpen erhielten darin mit ihrem hohen Einsparpotenzial an fossilen Energieträgern und entsprechendem  $\text{CO}_2$ -Einsparpotenzial durch Nutzen erneuerbarer Umgebungswärme eine hohe Priorität. 1993 wurde durch Hersteller, Lieferanten und Installateure von Wärmepumpen, den Bund, die Kantone und relevante Verbände der Elektrizitätswirtschaft die „Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz“ FWS gegründet. Ihre Hauptziele sind die Förderung effizienter und zuverlässiger Wärmepumpenheizungssysteme zu erschwinglichem Preis und die fundierte Information der Öffentlichkeit.

**Qualitätssicherung.** Eine erste Antwort auf den offensichtlichen Qualitätssicherungsbedarf war die Eröffnung des Schweizerischen **Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrum** in Winterthur-Töss. Von 1993 bis 2007 wurden 118 Luft/Wasser- (inklusive vollständiger Abtauzyklus), 200 Sole/Wasser-, 122

Wasser/Wasser- und später auch Luft/Luft-Wärmepumpen nach Europäischen Normen (EN 255, ab 2004 am neuen Standort in Buchs EN 14511) geprüft. Die Resultate sind über [www.wpz.ch](http://www.wpz.ch) allgemein zugänglich. Um den potenziellen Käufern die Orientierung zu erleichtern, wurde 1998 das **DACH-Gütesiegel** von Deutschland (D), Österreich (A) und der Schweiz (CH) gemeinsam eingeführt. Seit 2001 werden den Qualitätsanforderungen genügenden Bohrfirmen DACH-Gütesiegel für Erdwärmesonden vergeben. Hauptziel ist hier die Vermeidung jeder Form von Grundwasserverschmutzung. Eine Wärmepumpe hoher Qualität ist eine Sache – ein effizientes Gesamtwärmepumpenheizungssystem leider oft eine andere. Deshalb startete das Bundesamt für Energie 1995 ein umfassendes Feldtestprogramm zur Analyse von Gesamtanlagen (**FAWA**). Bis jetzt wurden 236 Wärmepumpenheizungssysteme im Heizleistungsbereich bis 20 kW untersucht. Die „Klassenbesten“ erreichten mit Luft/Wasser-Systemen mittlere Jahresarbeitszahlen von 3.1 (Maximalwert 3.4) und mit Erdwärmesonden/Wasser-Systemen solche von 5.0 (Maximalwert 5.6). Weitere Säulen der Qualitätssicherung sind die **Ausbildung der Installateure** und der **Wärmepumpendoktor**.

In der Schweiz wird heute alles Kochsalz und aller Zucker mit **Brüdenkompressionsanlagen** produziert. Eindampfanlagen mit der Technologie von Escher Wyss werden seit mehr als 80 Jahren unter diversen Firmennamen gebaut. **Rektifikationskolonnen** (Mehrstufen-Gegenstrom-Destillation) gehören zu den weltweit grössten Energieverbrauchern. Sulzer Chemtech hat um 1985 die erste Rektifikationsanlage mit Brüdenkompression gebaut. Seither wurden mehrere Anlagen in alle Welt exportiert.

## 8.2 Internationale Meilensteine

Die Effizienz von Kleinkompressoren wurde wesentlich verbessert. Ab den frühen 1990er Jahren begannen die **hermetischen Scrollkompressoren** die Kolbenkompressoren zu verdrängen. Weltweit wurden Neuentwicklungen für **CO<sub>2</sub>-Kompressoren** gestartet. Künftig werden effizientere Elektromotoren mit Permanentmagneten weitere Verbesserungen bringen. **Plattenwärmeübertrager** wurden definitiv zum Standard und führten zu einer beträchtlichen Reduktion des Kältemittelinhalts, zu geringeren Apparateabmessungen und zu höherer Effizienz. **Mikrocomputer** brachten eine zusätzliche Erweiterung der Regelungs-, Diagnose- und Bedienungsmöglichkeiten. Kurz nach ihrer Einführung begann die Ära der **Fernüberwachung** und der **Fernbedienung**. Das Resultat war eine Zunahme von Verlässlichkeit, Effizienz und eine Reduktion der Betriebskosten durch Unterhalt nach Bedarf.

Die Entwicklung bei den **Kältemitteln** wurde durch die ökologischen Herausforderungen bestimmt. Weltweit wurde die Umweltrelevanz von Kältemitteln wie auch die Wärmeübertragungseigenschaften der natürlichen Kältemittel und der **Fluorkohlenwasserstoffe** untersucht. Mit den Letzteren lässt sich bei problemloser Betriebssicherheit eine erfreuliche Effizienz erreichen. Sie weisen aber ein hohes Treibhauspotenzial auf und ihre Langzeitzersetzungsprodukte sind problematisch. Insbesondere in Europa wird intensiv an der Verwendung **na-**

**türlicher Kältemittel** wie Ammoniak, Kohlendioxid und Kohlenwasserstoffen gearbeitet. Obwohl Ammoniak toxisch und brennbar ist, wird es in grossen Anlagen noch verstärkt eingesetzt. Kohlendioxid benötigt einen überkritischen Kreisprozess, der für die Warmwasserbereitung vorteilhaft ist, für die meisten Heizungsanwendungen aber Effizienzeinbussen verursacht. Propan ist ein ausgezeichnetes Kältemittel – aber seine Brennbarkeit behindert aus Haftpflichtbedenken die Verbreitung insbesondere in den U.S.A. und in Japan. Jüngst wurde mit dem Europäischen Projekt **SHERHPA** (Sustainable Heat and Energy Research for Heat Pump Applications) ein neuer Anlauf zur Verwendung natürlicher Kältemittel in Wärmepumpen unternommen.

Ab 1990 erfolgte ein europaweiter Durchbruch der Wärmepumpentechnologie zu Heizzwecken. **Erdgekoppelte Wärmepumpen** konnten ihren Anteil laufend erhöhen, nebst der Schweiz insbesondere in Deutschland, Österreich, Schweden und den U.S.A. Mehrere Auslegungsprogramme wurden zur verlässlicheren Dimensionierung verfügbar. In **Österreich** sind Erdkollektorsysteme mit Direktverdampfung recht erfolgreich. 2001 hat K. Mittermayr eine Erdwärmesonde mit verdampfendem Kohlendioxid als Wärmeträger eingeführt. In Zusammenarbeit mit Österreich und der Schweiz werden die Kenntnisse über erdgekoppelte Wärmepumpen ab 1997 in den **deutschen** VDI-Richtlinien 4640 konzentriert dargestellt. 1993 präsentierte Stiebel Eltron die erste Wärmepumpe mit **Propan** als Kältemittel. Insbesondere für Niedrigenergiehäuser entwickelte diese Firma eine Wärmepumpe mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft mit integrierter Warmwasserbereitung. 1998 brachte die AEG den ersten Wärmepumpentumbler auf den Markt. In **Schweden** wurde am Institut für Technologie der Universität Lund die von Per Eskilson begonnene Modellierung von **Erdwärmesonden** durch Göran Hellström zu einer wegweisenden thermischen Analyse von **Erdwärmespeichersystemen** erweitert. In Schweden und **Norwegen** wurden zahlreiche grosse Wärmepumpensysteme gebaut. Die **dänische** Sabroe führte 1990 einen Ammoniakkompressor für hohe Temperaturhübe ein und übernahm 1997 die Kälteabteilung von ABB (früher BBC).

Die von Hans Stierlin in der Schweiz entwickelte kleine **Diffusions-Absorptionswärmepumpe** DAWP wurde 1994 von Buderus in Deutschland getestet. 1997 hat Buderus das Projekt übernommen und in ihrer holländischen Tochterfirma Nefit Fasto fortgeführt. Es folgten umfangreiche Feldtests und 2000 wurde der Nefit-Prototyp (nun „Buderus Loganova“) von den deutschen Gaswerken ausgezeichnet. Die DAWP ist aber bis heute nicht kommerziell erhältlich. Trotz weltweit auch anderen Entwicklungen von kleinen Absorptionswärmepumpen, konnten sich Absorptionswärmepumpen bisher weder in der Raumheizung noch in der Warmwasserbereitung durchsetzen.

## 9. Sonderprinzipien

Auch das **Adsorptionsprinzip** konnte sich mit Ausnahme einiger solarthermischer Anwendungen nicht durchsetzen. Der thermoelektrische Effekt fand infolge seiner geringen Effizienz nur einige spezielle Anwendungen, beispiels-

weise in der Medizinaltechnik und der Radio-Elektronik. Der **Stirling-Prozess** erwies sich nur im Bereich tiefer Temperaturen wie etwa in der Gasverflüssigung als erfolgreich. Lange fand auch der **magnetokalorische Effekt** infolge seiner geringen Effizienz keinen Eingang in die Kälte- und Wärmepumpentechnik. Nach Entdeckung des „Giganteneffekts“ durch A. Gschneidner Jr. und V. K. Pecharsky im Jahr 1997 erfuhr die Idee einer magnetokalorischen Wärmepumpe allerdings eine Wiedergeburt. Auch in der Schweiz wird an einer solchen Wärmepumpe mit einem Temperaturhub von 35 K gearbeitet.

## 10. Referenzen

[1] Zogg M.: Geschichte der Wärmepumpe - Schweizer Beiträge und internationale Meilensteine, *Bundesamt für Energie, Bern 2008*;  
verfügbar auf [www.zogg-engineering.ch/publi/GeschichteWP.pdf](http://www.zogg-engineering.ch/publi/GeschichteWP.pdf).

[2] Zogg M.: History of Heat Pumps - Swiss Contributions and International Milestones, final report, *Swiss Federal Office of Energy, Berne 2008*;  
downloadable from [www.zogg-engineering.ch/publi/HistoryHP.pdf](http://www.zogg-engineering.ch/publi/HistoryHP.pdf).

[3] Zogg M.: History of Heat Pumps - Swiss Contributions and International Milestones, *preprints, 9th International Energy Agency Heat Pump Conference, Zürich, May 20-22, 2008*.

## Dank

Die Unterstützung des Bundesamts für Energie sowie die Motivationen, Informationen und Ratschläge zahlreicher Fachkollegen (Liste in [1]) werden herzlich verdankt.