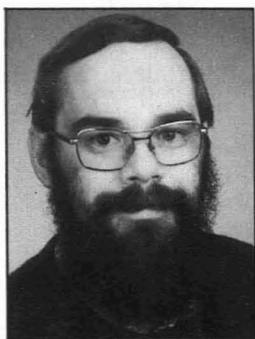


## Wärmepumpen in Industrie und Gewerbe – technische und wirtschaftliche Möglichkeiten



Hans SCHNITZER, Dipl.-Ing., Dr. techn., Universitätsassistent am Institut für Verfahrenstechnik der TU Graz. Jahrgang 1950. Studium der Verfahrenstechnik, Fachrichtung Chemieanlagenbau. Dissertation über mathematische Modellierung von biologischen Kläranlagen. Tätigkeitsschwerpunkte in Theorie, Lehre und Praxis: EDV-Anwendung in der Verfahrenstechnik und industrielle Energierückgewinnung mit dem Schwerpunkt Industriewärmepumpe. Mitarbeit bei IEA-Projekten, Veröffentlichungen zu den Themen: EDV-Modellierung und Industriewärmepumpen.



Franz Ernst MOSER, Dipl.-Ing., Dr. techn., o.Univ. Prof., Institut für Verfahrenstechnik der TU Graz. Jahrgang 1928. Studium technische Chemie, TU Graz. 12 Jahre Industrietätigkeit im Ausland. Seit 1966 Professor für Grundlagen der Verfahrenstechnik an der TU Graz.

**Im Gegensatz zur Wärmepumpenanwendung als Raumheizung ist die Wärmepumpe in Industriebetrieb keine Heizanlage sondern vorwiegend eine Anlage zur Wärmerückgewinnung. Entsprechend verschieden liegt die Problemstellung. In den meisten Betrieben finden sich genug Abwärmequellen aber wenige geeignete Wärmeverbraucher. Ziel der derzeitigen Entwicklungen ist es daher Systeme zu entwickeln, die entweder in einem Verfahren integriert arbeiten oder Dampf bzw. Heißwasser in bestehende Systeme einspeisen können.**

### 1. Randbedingungen für Wärmepumpeneinsatz in der Industrie

Der größte Teil des Energieeinsatzes – ca. 70% – erfolgt im Temperaturbereich um 100°C bis ca. 200°C. Dieser Bereich gilt z. B. für die energieintensiven Verfahrensschritte wie Trocknung, Eindampfung, Destillation,

Pasteurisierung und Waschen, unabhängig von der Industriesparte. Nur wenige Prozesse erfolgen bei Temperaturen darüber, wenn man von Schmelzprozessen der Metall- und Glasindustrie absieht.

Jedoch werden viele Operationen die bei Temperaturen unter 100°C ablaufen von Energieträgern beheizt, deren Temperatur höher liegt, wie z. B. von Niederdruck- oder von Mittel-

druckdampf.

Im Gegensatz dazu fällt wiederum der Großteil der industriellen Abwärme bei niedrigen Temperaturen im Kühlwasser bzw. der Kühlluft an, wo an eine direkte Verwendung für weitere Heizzwecke nicht mehr zu denken ist. In vielen dieser Fälle bietet die Wärmepumpe eine Möglichkeit wirtschaftlich diese Energie rückzugewinnen.

Abhängig davon, in welchem Verhältnis Abwärmequelle und Wärmeaufnahme (Wärmesenke) zu einander stehen, unterscheidet man drei Arten des Wärmepumpeneinsatzes:

- integrierter Einsatz
  - integrierter Wärmerückgewinn
  - allgemeiner Wärmerückgewinn.
- Liegen Wärmequelle und Wärmesenke innerhalb eines Verfahrens-

schrittes, so ist die Wärmepumpe in das Verfahren integriert. Dieser Fall liegt z. B. vor, wenn bei einem Trockner der Wärmeinhalt der Abluft zur Vorwärmung der Zuluft verwendet wird. Dieser Einsatzfall ist natürlich anzustreben, da es kaum große zeitliche oder räumliche Abstände zu überbrücken geben wird.

Ist die Verwendung der Wärme im selben Apparat nicht möglich, sondern wird sie in eine andere Stufe des selben Verfahrens eingesetzt, so spricht man vom integrierten Wärmerückgewinn. Auch hier wird im allgemeinen zeitliche Kohärenz zwischen Quelle und Senke bestehen.

Anders ist die Situation, wenn keine Möglichkeit besteht im Verfahren die Wärme einzusetzen. Wird die Energie anderswo benötigt, z. B. zur Warmwasserbereitung oder zu Raumheizzwecken, spricht man vom allgemeinen Wärmerückgewinn. Hier ist mit der Problematik einer zeitlichen Diskrepanz zwischen Abwärmefall und Wärmebedarf zu rechnen. Ein besonderer Fall liegt bei der Verwendung zur Nah- oder Fernwärmeversorgung vor.

## 2. Systeme von Industrierärmepumpen

Die Randbedingungen des Wärmepumpeneinsatzes in der Industrie erlauben einen großen Spielraum bei der Auswahl der Systeme. Größere Leistungen, stärkere Auslastung und geschultes Personal bei der Anlage ermöglichen den Einsatz komplexerer Systeme, obwohl auch hier das Augenmerk auf einer unkomplizierten Betriebsweise liegt.

### 2.1 Kompressionswärmepumpen

Kompressionswärmepumpen die mit Elektromotoren betrieben werden, sind der meist verbreitete Typ, auch liegt hier eine ungemein große Erfahrung aus der Kälte- und Kühltechnik vor. Diese Wärmepumpen sind heute in der Industrie – auch in Österreich – relativ weit verbreitet. Einzelaggre-

gate mit Nutzleistungen von wenigen Kilowatt bis zu 20 MW sind »von der Stange« erhältlich. Seltener gelangen Gas- oder Dieselmotoren als Antriebselemente zum Einsatz, da diese trotz der Möglichkeit der Abwärmennutzung derzeit noch eine geringere Wirtschaftlichkeit zeigen.

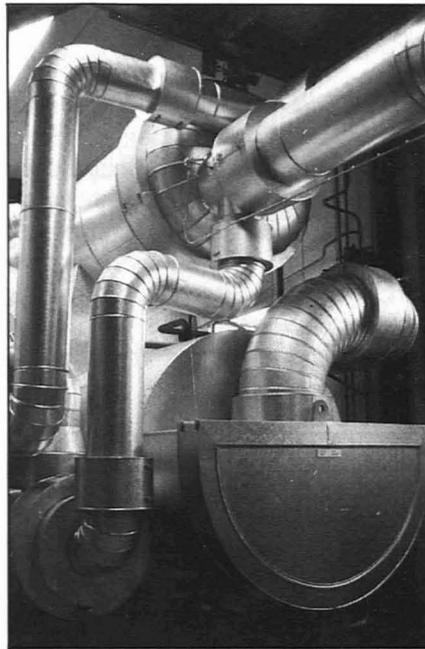


Abb. 1: Wärmepumpe mit 13 MW Nutzleistung in einem Fernwärmebetrieb in Schweden

Eine besondere Situation liegt vor, wenn Abwärme in Form kondensierbarer Dämpfe vorliegt. Diese können dann vom Kompressor der Wärmepumpe direkt verdichtet werden und zur Beheizung dienen. Dieses System der Brüdenverdichtung findet bei Eindampf- und Destillationsprozessen Anwendung und zeichnet sich durch hohe Leistungszahlen aus.

### 2.2 Absorptionswärmepumpen

Anstatt die Wellenleistung von Antriebsmotoren zum Betrieb der Wärmepumpe zu verwenden, besteht in Absorptionswärmepumpen die Möglichkeit Wärme als Antrieb einzusetzen. Bedingung hierfür ist,

daß das Niveau der Nutzwärme mindestens 60°C tiefer liegt als das der Antriebswärme. Absorptionswärmepumpen sind nur bei sehr großen Einheiten oder in Fällen, bei denen die Antriebswärme sehr billig zur Verfügung steht, den Kompressionssystemen überlegen. Dementsprechend gering sind die Beispiele ihres praktischen Einsatzes in der Industrie.

### 2.3 Wärmetransformatoren

Der Wärmetransformator – auch die gegenläufige Absorptionswärmepumpe genannt – ist auf dem Weg, sich einen breiten Einsatzbereich in der industriellen Wärmerückgewinnung zu erarbeiten. Der Vorzug dieses Verfahrens ist das fast vollständige Fehlen einer Antriebsenergie. Die treibende Kraft nimmt die Wärmepumpe aus dem Ungleichgewicht zwischen der aufgenommenen Abwärme und der Umgebung. Während ein Teil der Abwärme auf das Niveau der Umgebung geführt wird, wird der andere Teil auf einem höheren Temperaturniveau gehalten. Bedingung für das Funktionieren des Verfahrens ist, daß die Temperaturdifferenz zwischen Abwärme und Umgebung etwas größer ist als der notwendige Temperaturhub von Abwärme und Nutzwärme.

Unter diesen Umständen können 40% bis 50% der Abwärme mit einem sehr geringen Einsatz elektrischer Energie rückgewonnen werden. Die erforderliche Pumpleistung liegt bei 1% bis 3% der Nutzwärmeabgabe.

Anlagen dieser Art sind seit einigen Jahren in Japan in Betrieb und erzielen äußerst gute Wirtschaftlichkeiten. In Österreich ist derzeit die erste dieser Anlagen in Bau, die damit auch die erste industrielle Anlage in Europa sein wird. Abb. 2 zeigt einen Vorentwurf dieser Anlage im Modell.

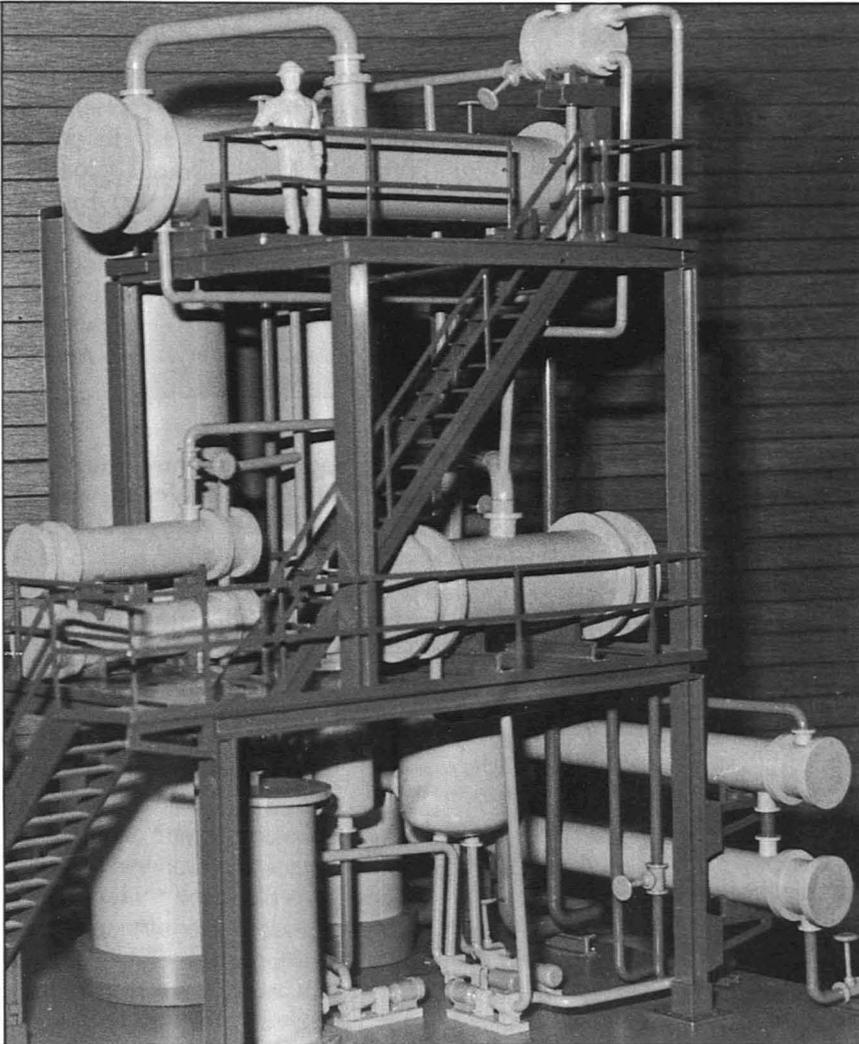


Abb. 2: Absorptionswärmetransformator

### 2.4 Weitere Typen von Wärmepumpen

Neben diesen drei Haupttypen von Wärmepumpen sind eine Reihe weiterer Systeme in Erforschung und Erprobung. Dies gilt besonders für die Kaltluftwärmepumpe, bei der Luft in einem offenen oder geschlossenen Kompressionssystem als Arbeitsmedium verwendet wird. Für höhere Temperaturen wird an der chemischen Wärmepumpe gearbeitet, doch wird diese wie alle anderen neuen Typen in den nächsten Jahren für den industriellen Einsatz nicht in Frage kommen.

## 3. Grenzen des Wärmepumpeneinsatzes in der Industrie

Besonders drei Kriterien sind es, die die Zahl der praktisch arbeitenden Industrierwärmepumpen beschränken.

### 3.1 Temperaturniveaus

Die am Markt befindlichen Wärmepumpensysteme sind nicht in der Lage, Nutztemperatur über  $110^{\circ}\text{C}$  zu erzielen. Zur Erzeugung von Niederdruck- und Mitteldruckdampf, wie ihn die meisten Industriebetriebe benötigen, sind sie somit nicht einsetzbar. Temperaturerhebungen von mehr als  $50^{\circ}\text{C}$  von der Wärmequelle zum Verbraucher sind ebenfalls nur in Aus-

nahmefällen mit technisch und wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu überbrücken.

Die einzige Ausnahme ist hier der Wärmetransformator, der bei Abwärmequellen über  $90^{\circ}\text{C}$  Nutztemperaturen um  $150^{\circ}\text{C}$  (5 bar Dampf!) erzielen kann.

### 3.2 Betriebliche Energiekonzepte

Energiesparende Maßnahmen – und hier Wärmepumpen im besonderen – vermindern den Wärmebedarf in Betrieben, erhöhen aber gleichzeitig den Stromverbrauch. Dies ist besonders bemerkenswert, wenn eine gekoppelte Erzeugung von Kraft und Wärme erfolgt. Hier führt die Verringerung des Dampfbedarfes durch den Einsatz der Wärmepumpe zu einer Mindererzeugung von elektrischer Energie und gleichzeitig zu einem Mehrverbrauch von Strom. Bedenkt man, daß hierdurch zusätzlich Elektrizität in Kraftwerken – im eigenen Betrieb oder bei der EVUs – durch Kondensation von Dampf hergestellt werden muß, ist der geringe volkswirtschaftliche Nutzen dieser Maßnahme erkennbar. Anders liegt die Situation in Ländern in denen kein Strom in Kondensationskraftwerken hergestellt wird.

Auch hier passen Wärmetransformatoren im allgemeinen besser in ein betriebliches Energiekonzept, da sie keinen nennenswerten Mehrverbrauch an elektrischer Energie verursachen.

### 3.3 Betriebssicherheit

Durch die Wärmepumpe wird im Betrieb ein Verfahren eingeführt, das, bedingt durch die vielen bewegten Teile, eine größere Störanfälligkeit mit sich bringt, als eine konventionelle Heizung. Darüber hinaus wird der Betrieb aufwendiger und eventuell schwieriger zu regeln. Alle diese Punkte erfordern eine große Bereitschaft der Verantwortlichen, sich mit Neuem auseinanderzusetzen. Doch die ersten Lehrjahre der meisten Hersteller von Wärmepumpen sind vor-



über und nach einer anfänglichen Euphorie und einem darauffolgenden Rückschlag ist die Gruppe der seriösen Firmen nun auf dem Wege, der Wärmepumpe in ihrem Sektor ihre Berechtigung zu erkämpfen.

## 4. Entwicklungsrichtungen bei Industrierärmepumpen

Drei Ziele beschreiben die gegenwärtigen Entwicklungsrichtungen:

- höheres Temperaturniveau
- größerer Temperaturhub
- billigere Anlagen.

Zur Erreichung höherer Nutzwärmen ist es nötig – und das gilt für Kompressions- und Absorptionssysteme –, neue Arbeitsmittel zu entwickeln. Besonders bei Kompressionssystemen ist man mit R114 auf ca. 115°C beschränkt, erst bei hohen Temperaturen ab 170°C kommt Wasserdampf in Betracht. Dazwischen ist ein offener Bereich, den abzudecken weltweit Firmen und Universitäten bemüht sind. Hier ist besonders die Frage der Stabilität der Schmieröle des Kompressors zu klären, die mit dem Kältemittel beim Ende der Verdichtung hohe Temperaturen erreichen können.

Bei größeren Anlagen, wie sie in der Industrie vorkommen, kann es durchaus wirtschaftlich sein, mehrstufige Ausführungen der Kompressoren bzw. Absorber zu verwenden. Besonders kombinierten Absorptions-Kompressionssystemen scheint sich hier eine Chance in näherer Zukunft aufzutun.

Die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpenanlagen zeigt sich sehr sensibel bezüglich der Investitionskosten. Daher geht der Trend dahin, Systeme und Arbeitsstoffe zu finden, die kleine Apparate aus billigen Materialien zulassen.

## 5. Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe spart Betriebskosten, sobald das Verhältnis von

Nutzwärmeleistung zu Antriebsleistung (die Leistungszahl) größer ist, als das Verhältnis der Preise von Antriebsenergie und Nutzwärme. Ob und wie weit diese Einsparung ausreicht, die nötige Investition zu rechtfertigen, hängt von vielen Faktoren wie Auslastung, Leistungsgröße und Energiepreisniveau ab. Generell ist eine Wärmepumpe, die nicht weniger als 50°C Temperaturdifferenz überwinden muß, immer einer näheren Betrachtung wert.

Wärmetransformatoren, sind dort, wo sie einsetzbar sind, fast immer äußerst wirtschaftlich. Liegt also ein Abwärmestrom in seiner Temperatur weiter über der Umgebung, als er zur Nutzwärme angehoben werden müßte, und liegt die Nutzwärme über 1 MW, ist hier ein potentieller Anwendungsfall zu beachten.

talrücklaufzeiten sind für den gewählten Musterfall für verschiedene Energiepreise aufgetragen. Wie erwartet, zeigt der Wärmetausch, wenn er anwendbar ist, die größte Wirtschaftlichkeit. Darauf folgen, in ihrer Reihenfolge von den Energiepreisen abhängig, ORC, Brüdenkompressor und Wärmetransformator. Eine Entscheidung zwischen diesen Systemen muß also in einer detaillierten Analyse des speziellen Anwendungsfalles erfolgen.

## 6. Folgerungen

Nach Jahren des Zögerns und der Rückschläge ist die Wärmepumpe nun dabei, ihren Platz im Rahmen der betrieblichen Energienutzung einzunehmen. Die Erfahrungen aus mehre-

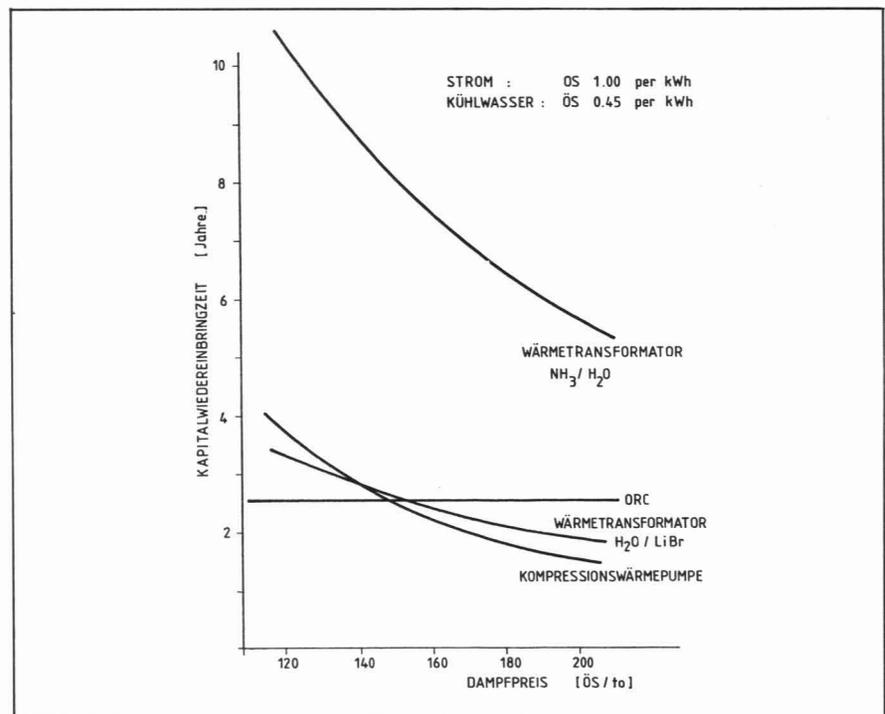


Abb. 3: Wirtschaftlichkeitsvergleich von Wärmepumpen, Wärmetransformator und ORC-Prozeß

Abb. 3 zeigt die Ergebnisse von Berechnungen über die Wirtschaftlichkeit verschiedener Wärmepumpensysteme im Vergleich mit dem Wärmetausch und dem ORC-Prozeß, einer Technologie zur Umwandlung von Abwärme in elektrische Energie. Die statisch ermittelten Kapi-

ren Jahren in einzelnen Anwendung sprechen für eine hohe Betriebsbereitschaft und eine teilweise hohe Wirtschaftlichkeit. Wesentlich für – oder gegen – den Einsatz der Wärmepumpe wird ihre Einpassung in ein betriebliches oder staatliches Energiekonzept sein.