

Die Wärmepumpe für Heizungen und Eindampfungen in der chemischen Industrie

Von Dir. R. PETER

Escher Wyß Maschinenfabriken AG., Zürich

Die Wärmepumpe ist in der chemischen Industrie längst eingeführt und in großer Zahl verbreitet, allerdings in der Hauptsache in Ausnützung ihres Kühl-, aber noch selten ihres Heizeffektes. Jede Kompressionskältemaschine ist eine Wärmepumpe, mit der unter Aufwand von Energie gewollte, unter dem Temperaturniveau (in dem wir leben) liegende Temperaturen erzeugt werden. Der Kältekompressor pumpt Wärme weg und erzeugt in Räumen, Gefäßen, Stoffen die für Zustände oder den Verlauf von Prozessen gewünschten tiefen Temperaturen, wobei er etwa entstehende Wärme ebenfalls weg-, d. h. auf das Temperaturgefälle der Umgebung herauffördert. Kälte kann auch auf anderem Wege, z. B. durch

Kältemischungen, erzielt werden. Diese Verfahren lassen sich nur ausnahmsweise betrieblich und wirtschaftlich anwenden, dominierend bleibt für die Kälteerzeugung die Wärmepumpe.

Die Wärmeerzeugung zur Erzielung gesteigerter Temperaturen erfolgt im Gegensatz dazu fast ausschließlich unter Anwendung exothermer chemischer Vorgänge, so vor allem der Oxydation von Kohlenstoff und Wasserstoff, d. h. der Verbrennung von Kohle, Öl, Holz usw. Die Wärmepumpe tritt nun als eine, obzwar sehr bescheidene, neue Möglichkeit, in gewissen Bereichen gewollte Temperaturen über dem Niveau der Umgebung zu schaffen, mit den Brennstoffen in Konkurrenz. Die Wärmepumpe fördert in

diesem Falle Wärme der Umgebung oder auch eines vorhandenen Temperaturniveaus auf ein höheres, für irgendeinen Prozeß notwendiges Niveau. In Verbindung mit einer Wärmekraftmaschine läßt sich überdies mit der Pumpe ein vorhandenes, z. B. für die in Frage kommenden Prozesse nicht anwendbares Temperaturgefälle in ein ihm angepaßtes Gefälle umformen, wobei in Analogie zum elektrischen Transformator von einem Wärmeumformer gesprochen werden kann. Die Heizungswärmepumpe ist daher für die chemische Industrie interessant; sie erlaubt, wo günstige Anwendungsverhältnisse vorliegen, in erster Linie, Brennstoffe einzusparen, sehr oft aber zusätzliche betriebliche Vorteile zu erzielen.

Die in der Schweiz in der Chemie und verwandten Industrien bereits installierten Heizungswärmepumpen erlauben die Einsparung von immerhin ca. 60 000 t Kohle pro Jahr.

Die Wärmepumpe ist die Umkehrung der Wärmekraftmaschinen und unterliegt so auch den gleichen physikalischen Gesetzen, und zwar in erster Linie dem ersten und zweiten Hauptsatz der Wärmelehre. Nimmt eine Wärmepumpe die Wärmemenge Q_1 bei der absoluten Temperatur T_1 auf und gibt sie die Wärmemenge Q_2 bei T_2 ab, wobei die Energie L aufgewendet wird, so gilt theoretisch:

$$L = Q_2 - Q_1 \quad (1)$$

und
$$\frac{L}{Q_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

oder
$$Q_2 = L \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad (2)$$

Aus der Gleichung (2) ist sehr gut ersichtlich, daß Q_2 , die gewonnene Wärmemenge, sehr leicht ein Vielfaches der zum Betrieb der Wärmepumpe aufgewendeten Energie sein kann. Beträgt T_2 beispielsweise 330°C , T_1 273°C , so ergibt der Quotient der Temperaturen 5,8. Die gewonnene Wärme Q_2 ist also theoretisch 5,8mal größer als die aufgewendete Energie L . Sofern diese also 1 kWh oder, ihrem Äquivalent entsprechend, 860 cal ist, so werden 4983 cal gewonnen, d. h. — nach dem ersten Wärmesatz — 860 aus L und 4123 im Q_1 als Wärmeaufnahme bei T_1 -Temperatur. In Wirklichkeit ist Q_2 , da der Prozeß unvermeidliche Verluste aufweist und mit einem Wirkungsgrad behaftet ist, kleiner.

Die Fragen, die sich vor allem aufdrängen, sind, wie und wo in der chemischen Industrie sich die Wärmepumpe verwenden läßt, und sodann, unter welchen Verhältnissen sie wirtschaftlich ist.

Eine Hauptgruppe der Heizungswärmepumpen sind Maschinen, die Wärme von Abwässern, warmen Stoffen, Flüssigkeiten, Räumen, aber auch Grund-, See- oder Flußwasser usw. — indem sie solche abkühlen — auf höhere Temperaturniveaus zur Beheizung von Apparaturen, wie Trocknern, Kochern usw., wie sodann Räumen oder ganzen Gebäulichkeiten, fördern. Ein Sonderfall ist die Wärmepumpe,

welche in ihrem Kühl- und Heizeffekt ausgenützt wird, die also durch Wegpumpen von Wärme beispielsweise Räume unter 0°C kühlt und die Wärme so hoch in der Temperatur fördert, daß andere Räume geheizt werden können.

Das Schema einer typischen Wärmepumpenanlage ist aus Skizze Abb. 1 ersichtlich. In diesem Beispiel

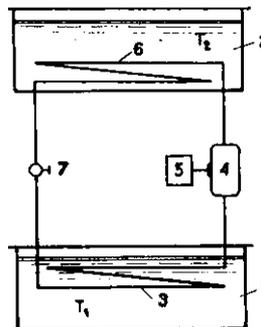


Abb. 1. Schema einer Heizungswärmepumpe

- 1 Gefäß mit abzukühlender Lösung
- 2 Gefäß mit aufzuheizender Lösung
- 3 Verdampferschlange für Wärmeträger, z. B. Freon
- 4 Wärmepumpe
- 5 Antriebsmotor
- 6 Kondensationsschlange für komprimiertes Freon
- 7 Drosselventil

wird Wärme der Lösung im Gefäß 1 auf die Lösung im Gefäß 2 mit Wärmepumpe übertragen. In der Rohrschlange 3 wird ein Wärmeträger, z. B. Freon, zum Verdampfen gebracht, und zwar indem der Kompressor 4, der durch den Motor 5 angetrieben wird, durch Absaugen von Freondämpfen einen derartigen Unterdruck erzeugt, daß die Lösung im Gefäß 1 weiteres flüssiges Freon zum Verdampfen bringt. Die Flüssigkeit kühlt sich, indem sie für diese Verdampfung Wärme abgibt, ab. Die Freondämpfe, welche die aufgenommene Wärme enthalten, werden in der Wärmepumpe 4 auf höheren Druck komprimiert und geben sodann entsprechend dem höheren Druck durch Kondensation in der Rohrschlange 6 nicht nur die im Gefäß 1 aufgenommene Verdampfungswärme, sondern auch einen Großteil des Wärmeäquivalentes der vom Kompressor aufgenommenen mechanischen Energie bei dem höheren Temperaturniveau an die Lösung des Behälters 2 ab. Das verflüssigte Freon strömt durch das Drosselventil 7 in die Rohrschlange 3 zurück. Die in den Motor gesteckte elektrische Energie vervielfältigt sich also im Heizeffekt, da die gepumpte Wärme hinzukommt. 1 kWh ergibt nicht nur 860 cal, sondern 2000, 3000, 4000 oder mehr Kalorien, und zwar, wie die Formel (2) zeigte, je nach dem Verhältnis $T_2 : (T_2 - T_1)$, ab, wobei selbstverständlich die Wirkungsgrade der Wärmepumpe und des Wärmetransportes zu berücksichtigen sind.

Die zweite Hauptgruppe betrifft die Wärmepumpen für Eindampfungszwecke. Die Konzentration von

Lösungen erfolgt fast durchwegs durch Verdampfung des Lösemittels, also durch einen Wärmeprozess. Der Zweck ist also nicht ein Wärme-, sondern ein Trennungsprozeß. Das Bestreben muß darauf hingehen, den Wärmeverbrauch so klein als möglich zu halten. Hiefür eignet sich die Wärmepumpe ausgezeichnet. Im Schema Abb. 2 soll im Verdampfer 1

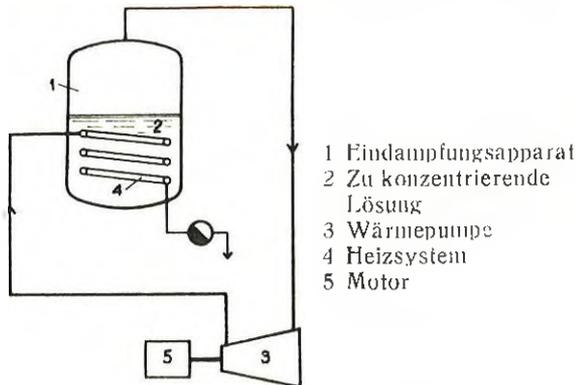


Abb. 2. Schema einer Eindampfung mit Wärmepumpe

die Lösung 2 konzentriert werden. Die Wärmepumpe, der Kompressor 3, bringt durch Absaugen von Dampf aus dem Kochraum die einzusiedende Flüssigkeit zum Kochen. Die abgesaugten Brüden enthalten die Verdampfungswärme und werden nun durch den Kompressor so hoch komprimiert, daß sie als Heizdampf für den Apparat 1 verwendet werden können. In der Heizschlange 4 kondensieren sie und geben ihre Wärme an die Flüssigkeit 2 ab. Praktisch läßt sich so mit 1 kg abgesaugter Brüden wiederum 1 kg neues Lösemittel aus der Flüssigkeit 2 verdampfen, wobei immerhin die vom Motor 5 abgegebene Energie zu berücksichtigen ist. Wie im ersten Beispiel, gilt auch hier die Gleichung (2). Mit 1 kWh können in der Praxis 500, 10 000, 20 000 und selbst mehr Kalorien gefördert werden, entsprechend einer Verdampfung von 8 bis über 40 kg Wasser.

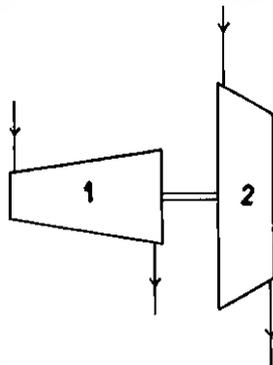


Abb. 3. Schema eines Wärmetransformators
1 Hochdruck-Gegendruck-Dampfturbine
2 Niederdruckdampfkompressor

Einen Wärmetransformator zeigt das Schema Abb. 3. In der Hochdruckabdampfturbine 1 wird mit rela-

tiv wenig Dampf bei einem hohen Druckgefälle Energie erzeugt, die in einer Wärmepumpe 2 eine große Dampfmenge über ein beispielsweise für einen Eindampfprozeß erforderliches kleines Temperaturgefälle fördert. Als Antriebsmaschinen für die Wärmepumpe können auch Verbrennungskraftmaschinen, wie z. B. Diesel, in Frage kommen, die ja über große Temperaturgefälle arbeiten.

Der Berechnung der Wärmepumpenanlagen liegen die folgenden beiden Hauptgleichungen, aus denen die wichtigsten Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit abgeleitet werden können, zugrunde. Für die Überlegungen sind sie genügend genau.

$$Q = K_1 \Delta t_n H \quad (3)$$

$$L = K_2 (\Delta t_n + \Delta t_v) Q \quad (4)$$

Die Wärmeleistung Q ist proportional dem nutzbaren Temperatur-Heizgefälle Δt_n , wie der Heizfläche H und dem Wärmedurchgang K_1 . Die aufzuwendende Energie L ist ihrerseits proportional der Summe des nutzbaren Gefälles und der Gefällsverluste ($\Delta t_n + \Delta t_v$), bzw. der Kompression, wie sodann der Wärmeleistung Q , wobei K_2 eine Konstante ist.

Bei einer bestimmten Wärmeleistung Q ist die Heizfläche H , welche für die Größe der Apparaturen und im wesentlichen auch für die Kosten der Anlage maßgebend ist, nach Gleichung (3) um so kleiner, je größer die nutzbare Kompression Δt_n ist. Die gesamte Kompression ($\Delta t_n + \Delta t_v$) ist nun aber nach Gleichung (4) proportional mit der für den Prozeß aufzuwendenden Energie L und damit ungefähr mit den Auslagen für die aufzuwendende Energie des Wärmepumpenantriebes. Es ergibt sich:

Kleine Kompression gibt niedere Energiekosten, aber eher teurere Anlagen.

Große Kompression gibt hohe Energiekosten, aber eher eine billigere Apparatur.

Hinzu kommt sodann allerdings einerseits der Einfluß des Δt_n , der Gefällsverluste wie z. B. der Siedepunktserhöhungen von Lösungen, auf Heizflächengröße wie Energieverbräuche, sowie andererseits der Wärmedurchgänge K_1 , die, man denke an die Erwärmung von Luft oder von leicht siedenden Lösungen, sehr stark verschieden sein können. Δt_v und K_1 können die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen ausschlaggebend beeinflussen, da eine Einflußnahme durch technische Mittel nicht oder nur (beim K_1) beschränkt möglich ist.

Günstig ist z. B. die Eindampfung organischer Lösungen mit geringen Siedepunktserhöhungen, die leicht kochen, wobei sich allerdings Vakuumbetrieb und die Herstellung der Apparate in Spezialmaterial sehr erschwerend für die Anwendung der Wärmepumpen auswirken können. Umgekehrt ergeben schwer siedende Lösungen, wie z. B. Natronlauge, da Überdruckbetrieb bei Verwendung von Eisen als

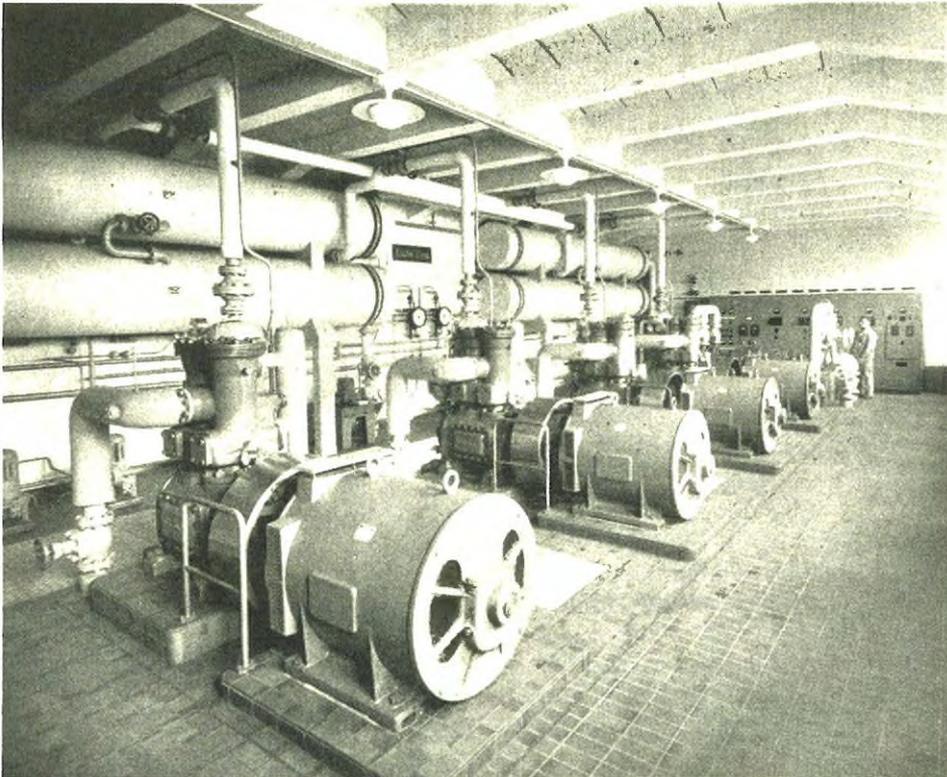


Abb. 4. Wärmepumpe für die Beheizung von Verwaltungsgobäuden

Die Leistung beträgt 1,36 Mill. cal pro Stunde, wobei das Wasser der Zentralheizung mit Wärme, welche dem Limmatwasser (bei bis 1 °C) entnommen wird, von ca. 44 auf 52 °C erwärmt wird. Der Energieverbrauch ist ca. 350 kW

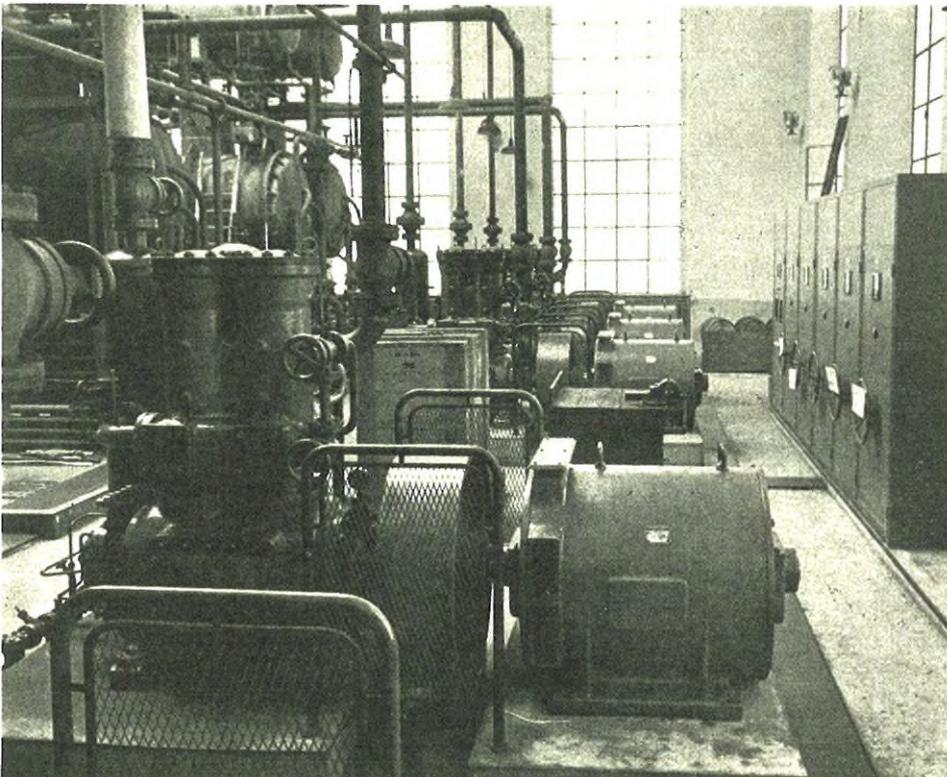


Abb. 5. Wärmepumpen in einer Viscosefabrik

Die Leistung beträgt 3,5 Mill. cal pro Stunde. Die Anlage dient zur Erzeugung von Gebrauchswasser, das mit der Wärmepumpe von 8 auf 33 °C erwärmt wird. Der Energieverbrauch ist ca. 650 kW

Baustoff möglich ist, öfters gute Möglichkeiten für die Anwendung der Wärmepumpe.

Die Wirtschaftlichkeit läßt sich, da die sie beeinflussenden Faktoren zahlreich sind, nur bei genauer Prüfung durch Fachleute von Fall zu Fall abklären. Immerhin gelten für die Entscheidung, ob sich eine solche Untersuchung überhaupt lohnt, folgende Faustregeln:

Bei der Heizungswärmepumpe soll die kWh nicht teurer sein als $\frac{1}{2}$ kg gute Kohle.

Bei der Verdampfungswärmepumpe darf sie nicht mehr kosten als 1 kg gute Kohle.

Für die Heizungswärmepumpen stehen wohl die Anwendungen für Konditionierung und Heizung von Räumen durch Verwertung von Abwärme oder Wärme aus Grund-, Fluß- oder Seewasser im Vordergrund, wobei die Kombination mit Kälte interessant sein kann. Mit Wärmepumpeneindampfungsanlagen lassen sich die verschiedensten Lösungen konzentrieren, organisch oder anorganisch, neutral, sauer oder basisch. Der Bau der Anlagen verlangt allerdings große Erfahrungen in Hinsicht auf Materialwahl, Schutzvorrichtungen für die Wärmepumpen und den Betrieb der Anlagen.

Die Wärmepumpe wie auch der Wärmetransfor-

mator sind interessante Mittel, um sowohl auf Basis elektrischer Energie wie auch derjenigen von Brennstoffen in chemischen Betrieben die Wärmewirtschaft zu verbessern. Strom- und Brennstoffpreise, bzw. Wärmekosten, sind vor allem bestimmend für ihre wirtschaftliche Anwendung. Viele weitere Faktoren sind auf ihren Einfluß zu prüfen. Ihre Anwendung ist beschränkt möglich; jedoch kann sie bei richtiger Wahl in der Anwendung sehr interessante Gewinne bringen. Mit den sehr betriebssicheren Maschinen, Apparaturen und Schaltungen lassen sich häufig auch noch zusätzliche Vorteile erzielen, und zwar beispielsweise Einsparungen an Bedienungspersonal, größere Stabilität in dem Verbrauch von Dampf und Energie, einfache Regulierungsmöglichkeiten usw. Die Prüfung ihrer Benützung ist daher den Fachleuten der chemischen Werke zu empfehlen.

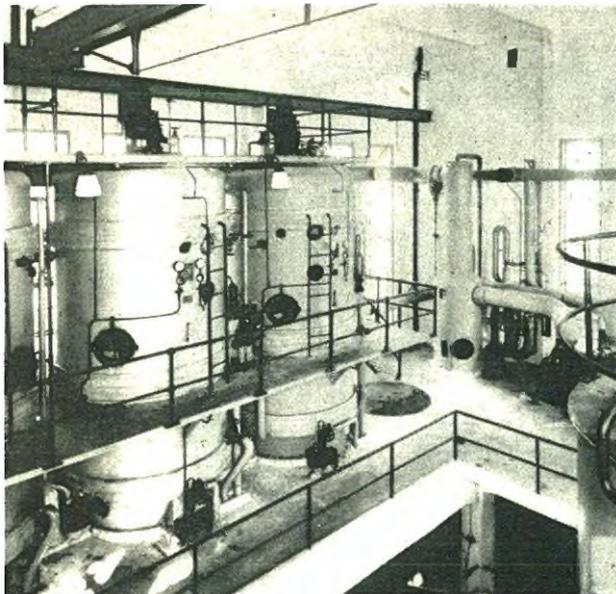


Abb. 6. Eindampfungsanlage mit Wärmepumpe

Konzentration von elektrolytisch erzeugter Natronlauge von 25 auf 38 °Bé und anschließend im Finisseur (Simple-Effekt) auf 50 °Bé. — Die Verdampfungsleistung ist 4000 kg/h bei 300 kW Energiebedarf. Links die Verdampfer und rechts Brüdenwäscher mit Wärmepumpe (halb verdeckt)

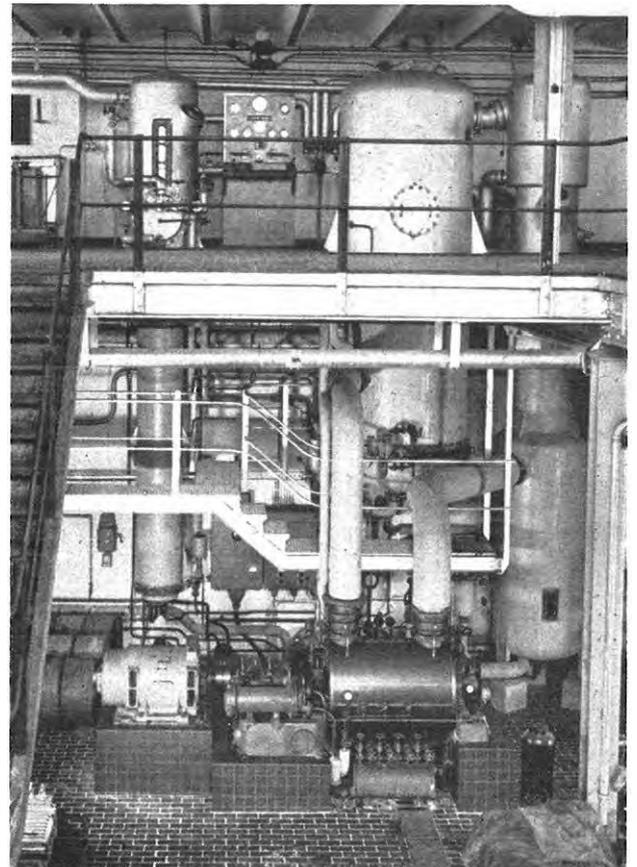


Abb. 7. Eindampfungsanlage mit Wärmepumpe

Konzentration von Glycerinlösung von 16 auf 75 % und anschließend im Finisseur auf 90 % (Simple-Effekt). Die Verdampfungsleistung ist 1000 kg/h bei 85 kW Energiebedarf. Unten Wärmepumpe mit Antriebsmotor, ganz rechts Brüdenwäscher, sodann Verdampfer. Oben in der Mitte Bedienungstableau und links Finisseur