

Zeitschrift für angewandte Chemie

34. Jahrgang S. 233—236

Aufsatzteil und Vereinsnachrichten

31. Mai 1921

Die Wärmepumpe und ihre Verwendung zum Verdampfen von Wasser und wässerigen Lösungen.

Von Dr. H. CLAASSEN.

(Eingeg. 30./4. 1921.)

Mit dem Namen der Wärmepumpe bezeichnet man neuerdings das bekannte Verfahren zur Verdichtung der in einem Verdampfer erzeugten Schwaden- oder Brüdendämpfe auf die Spannung des Heizdampfes, um sie wieder als Heizdampf zu verwerten. Von diesem Verfahren verspricht man sich auf Grund theoretischer Erwägungen erhebliche Verbesserungen in der Wärmewirtschaft aller Betriebe, in denen größere Mengen Wasser zu verdampfen sind. Daß die Wärmepumpe, an und für sich betrachtet, große Ersparnisse an Brennstoffen bringen muß, wenn als Kraft zur Verdichtung der Dämpfe eine Naturkraft, wie Wasserkraft oder durch diese erzeugte elektrische Kraft, vorhanden ist, bedarf keiner weiteren Erörterung. Solche Fälle sind aber Ausnahmen; in den weitaus meisten Betrieben, für die eine Wärmepumpe überhaupt in Frage kommen kann, werden alle Kraftleistungen, also auch die für die Verdichtung der Dämpfe, durch Dampf- oder Verbrennungskraftmaschinen erzeugt.

Alle wärmewirtschaftlichen Untersuchungen haben ergeben, daß in industriellen Anlagen, in denen der Abdampf der Maschinen nutzbringend zum Anwärmen und Verdampfen verwertet werden kann, Kondensationsdampfmaschinen oder Verbrennungsmotoren trotz ihres geringen Dampf- oder Brennstoffverbrauches unwirtschaftlich sind. Daher darf auch die Wärmepumpe nicht durch Kondensationsdampfmaschinen oder Verbrennungsmotoren betrieben werden, sondern muß als Dampfmaschine mit Gegendruck gebaut werden; ihr Betrieb vermehrt also die Menge des Abdampfes erheblich. Da dieser zu Verdampf- und Anwärmezwecken ausgenutzt werden muß, so muß mit der Wärmepumpe auch eine zur Abdampfausnutzung geeignete Verdampfanlage aufgestellt werden, oder eine bereits vorhandene in Betrieb bleiben, und die Wärmepumpe muß neben ihr oder besser in organischer Verbindung mit ihr arbeiten. Eine solche Verbindung ist in jeder Fabrik, je nach der Menge des überhaupt vorhandenen Abdampfes und den sonstigen für die Verdampfung obwaltenden Umständen, verschieden auszuführen, und dementsprechend wird auch die Wirksamkeit und der wirtschaftliche Nutzen der Wärmepumpe sehr verschieden sein. Es muß also für jeden Fall eine besondere Untersuchung und Berechnung stattfinden, in welcher Weise die Wärmepumpe an die Verdampfanlage anzugliedern ist und wie diese und die Wärmeanlage dann am zweckmäßigsten anzutun sind. Erst dann wird sich ergeben, welchen Nutzen die Wärmepumpe bringen kann oder ob sie überhaupt eine Dampfersparnis für die Gesamtanlage mit sich bringt, die nicht auch auf andere und einfachere Weise z. B. durch Vermehrung der Verdampfstufen der Verdampfanlage erzielt werden kann. Nicht darauf kommt es im praktischen Betriebe an, daß die Wärmepumpe Dämpfe verdichtet und wieder nutzbar macht, sondern darauf, daß für die gesamte Anlage einschließlich der Kraftzeugung weniger Dampf verbraucht wird, als bei der Arbeit ohne Wärmepumpe.

Für eine nutzbringende Wirkung der Wärmepumpe sind, abgesehen von ihrem Antrieb durch Naturkräfte, mehrere Bedingungen zu erfüllen, die zunächst erörtert werden sollen.

Bedingungen für den Betrieb einer Wärmepumpe.

1. Da die Kraftleistung für den Betrieb der Wärmepumpe ungefähr im gleichen Verhältnis zunimmt, wie der Druck der Dämpfe erhöht wird, so wird man die Spannungserhöhung möglichst niedrig wählen, um mit wenig Kraft auszukommen und die Abdampfmenge nur wenig zu vermehren. Die untere Grenze für die Drucksteigerung hängt von dem Temperaturgefälle ab, das für eine ausreichende Verdampfleistung nötig ist. Je größer die Heizfläche ist, desto kleiner kann das Temperaturgefälle sein, jedoch gibt es für jede Bauart der Verdampfer eine untere Grenze des Temperaturgefäßes, die nicht unterschritten werden darf, wenn die Verdampfleistung noch genügend bleibt soll.

Verdampfer, bei denen auf der Heizfläche ein hoher Flüssigkeitsdruck lastet, brauchen ein höheres Temperaturgefälle, als Verdampfer, die mit niedrigem Flüssigkeitsstand betrieben werden und in denen durch die entwickelten Dampfblasen ein starker Flüssigkeitstrom an der Heizfläche vorbei erzeugt wird. Mit dem geringsten Gefälle können Verdampfer arbeiten, in denen die Flüssigkeit in dünner Schicht über die Heizfläche rieselt. Leider hat sich noch keine der bisher empfohlenen und versuchten Bauarten dieser Verdampfer bewährt. Für die praktische Verwendung der Wärmepumpe wäre aber die Erfindung eines wirklich brauchbaren Rieselverdampfers von grundlegender Bedeutung, da bei ihm das Temperaturgefälle auf wenige Grade herabgedrückt werden könnte. Allerdings ist zu beachten, daß durch Rieselverdampfer auch die Wirkung einer vielstufigen Verdampfanlage durch Vermehrung der Stufen bei gleichbleibendem Gesamttemperatur-

gefälle erhöht werden könnte, worauf bei dem Vergleich und dem Wettbewerb dieser Anlage mit der Wärmepumpe zu achten ist.

2. Wenn Lösungen einzudampfen sind, dürfen sie nicht zu gehaltvoll sein oder zu stark eingedickt werden, da mit der Zunahme des Gehalts an gelösten Stoffen auch der Siedepunkt steigt. Um diese Erhöhung des Siedepunktes muß das nutzbare Temperaturgefälle erhöht werden und dementsprechend auch die Spannung des Heizdampfes. Im Allgemeinen wird man eine Siedepunkterhöhung von 10°C , die einer Drucksteigerung für den Heizdampf von etwa $0,4-0,5$ at entspricht, als die Höchstzahl ansehen müssen, die für einen wirtschaftlichen Betrieb der Dampfwärmepumpe zulässig ist. Lösungen, die einen Gehalt haben, der eine höhere Siedepunktssteigerung bedingt, müssen daher in üblichen Verdampfanlagen weiter eingedampft werden. Damit wird die Anwendbarkeit der Wärmepumpe in der chemischen und Zuckerindustrie schon wesentlich eingeschränkt; am zweckmäßigsten erscheint hier die Angliederung der Wärmepumpe an den ersten Körper einer mehrstufigen Verdampfanlage, die gleichzeitig mit dem verdichteten Dampf und mit Abdampf oder Frischdampf beheizt wird. Zu beachten ist dann aber, worauf ich später noch eingehender zurückkommen werde, daß in dem ersten Körper viel mehr Wasser verdampft und die Lösung viel gehaltvoller werden muß als in dem ersten Körper der vielstufigen Anlage allein.

3. Die Überhitzung des verdichteten Dampfes muß vor dem Eintritt in den Verdampferheizraum aufgehoben werden, da überhitzter Dampf, solange er überhitzt bleibt, sich wie ein Gas bei der Wärmeübertragung verhält, also diese stark herabsetzt. Die Temperaturen des verdichteten Dampfes zeigt die folgende Tafel, wenn Dämpfe von 1 at verdichtet werden:

Tafel 1.

Verdichtung der Dämpfe auf	Temperatur d verdichteten u. überhitzten Dampfes	Über- hitzungs- grade
1,1 at	$104,9^{\circ}$	$3,1^{\circ}$
1,2 "	$110,0^{\circ}$	$5,8^{\circ}$
1,3 "	$115,0^{\circ}$	$8,5^{\circ}$
1,4 "	$119,7^{\circ}$	$11,0^{\circ}$
1,5 "	$124,2^{\circ}$	$13,4^{\circ}$
1,6 "	$128,5^{\circ}$	$15,8^{\circ}$
1,7 "	$132,6^{\circ}$	$18,1^{\circ}$
1,8 "	$136,7^{\circ}$	$20,4^{\circ}$
1,9 "	$140,1^{\circ}$	$22,1^{\circ}$
2,0 "	$143,5^{\circ}$	$23,9^{\circ}$

Ein einfaches Mittel, um die Überhitzung zu beseitigen, ohne ihre Wärme zu verlieren, besteht in der Einspritzung von Wasser, welches die Temperatur des gesättigten Dampfes hat, in den überhitzten Dampf vor seinem Eintritt in den Heizraum. Solches Wasser ist das in dem Heizraum verflüssigte; wird dieses in den überhitzten Dampf fein verteilt zerstäubt, so verdampft eine der Überhitzungswärme entsprechende Menge und vermindert die Menge des ausnutzbaren Dampfes.

4. Wenn Kolbengebläse zur Verdichtung des Dampfes dienen, so muß das mit dem verdichteten Dampf mitgerissene Öl vor dem Eintritt in den Heizraum entfernt werden, da das Öl sonst an den Heizrohren anhaftet und den Wärmedurchgang stark verringert. Das Öl kann zum größten Teil durch die bekannten Ölfänger abgeschieden werden, aber nicht ganz vollständig, besonders deshalb nicht, weil die leichter flüchtigen Bestandteile des Öles durch den überhitzten Dampf verflüchtigt werden und sich erst wieder auf den Heizflächen als flüssiges Öl abscheiden. Dampf, der in Schleudergebläsen verdichtet wird, enthält kein Öl, aber diese haben den Nachteil des geringeren Wirkungsgrades, gebrauchen daher erheblich mehr Kraft, ungefähr 50 v. H. mehr als Kolbengebläse, und geben dementsprechend auch mehr Abdampf.

5. In den Heizraum darf keine Luft gelangen, da sie sich dort ansammelt und in kurzer Zeit größere Teile der Heizflächen bedeckt und der Berührung mit dem Dampf entzieht. Kann der Luftzutritt aber nicht vermieden werden, weil sich aus der zu verdampfenden Flüssigkeit Luft oder nicht verdichtbare Gase entwickeln, oder weil im Verdampfer unter Unterdruck verdampft wird und größere Luftpunktmengen durch Undichtigkeiten eintreten, so müssen diese Lufts- oder Gasmengen stetig durch passend an der Heizkammer angebrachte Abzugsrohre abgeführt werden. Die Luft ist aber nur unvollkommen von dem Dampf getrennt und läßt sich bei den hohen Dampfgeschwindigkeiten, die im Heizraum besonders nahe der Eintrittsstelle herrschen, auch niemals vollkommen von ihm trennen. Daher werden mit der Luft immer sehr große Mengen Dampf abgesogen, mindestens die hundertfache Menge der Luft. Es geht also ein merklicher Teil des verdichteten Dampfes verloren, für den erhebliche Kraftleistungen nutzlos aufgewendet sind. Für diese dem Kreislauf entzogenen Dampfmengen muß natürlich auch Ersatz durch anderweitig hergestellten Dampf beschafft werden. Die Wärmepumpe sollte daher in den meisten Fällen nur zum Verdichten von Dämpfen über Atmosphärendruck dienen,

und die zu verdampfenden Flüssigkeiten sollten vor dem Eintritt in den Verdampfer gut entlüftet werden.

6. Der Gang der Wärmepumpe ist so zu regeln, daß dauernd ein gleichmäßiger Überdruck des Heizdampfes erzielt wird. Hierfür sind neuerdings viele Vorschläge gemacht worden, so daß diese Bedingung wohl erfüllt werden kann.

Kraft- und Dampfverbrauch der Wärmepumpe.

Der Arbeitsbedarf der Wärmepumpen ist nach folgenden Formeln zu berechnen:

$$\text{für Kolbengebläse} \quad 10000 \frac{1,4}{0,4} p_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1,4} - 1 \right] \frac{0,4}{\eta} \frac{h}{75} \text{ P. S.}$$

$$\text{für Schleudergebläse} \quad Q_h \frac{h}{75} \text{ P. S.}$$

(p_1 der Druck der Flüssigkeitsdämpfe, p_2 der Druck des verdichten Dampfes, Q die Menge der zu verdichtenden Dämpfe in cbm/sec, h die Spannungsverhöhung in Millimeter Wassersäule, η der Wirkungsgrad der Pumpen, der bei Kolbengebläse mit 80 v. H., bei Schleudergebläse, mit 55 v. H. einzusetzen ist).

Der Dampfverbrauch für die PS/St ist bei guten Auspuffmaschinen, die mit Satteldampf oder mit schwach überhitztem Dampf betrieben werden, 12 kg, die entsprechende Abdampfmengen 10 kg.

Auf diesen Grundlagen ist die folgende Tafel 2 berechnet:

Tafel 2.

Zur Verdichtung von 1 kg Dampf in der Sekunde (3600 kg/St.)						
von 1 at auf	Temperaturerhöhung	durch Kolbengebläse		durch Schleudergebläse		
		Kraft PS	Abdampf kg/sec	Kraft PS	Abdampf kg/sec	
1,1 at	2,6°	28	0,078	42	0,117	
1,2 "	5,1°	55	0,153	83	0,231	
1,3 "	7,5°	78	0,217	125	0,347	
1,4 "	9,6°	101	0,281	167	0,464	
1,5 "	11,7°	123	0,342	209	0,580	
1,6 "	13,6°	147	0,408	250	0,694	
1,7 "	15,4°	164	0,456	291	0,809	
1,8 "	17,2°	185	0,514	333	0,925	
1,9 "	18,9°	202	0,561	375	1,042	
2,0 "	20,5°	219	0,610	417	1,160	

Die für das Schleudergebläse und Drucksteigerungen von 0,2–0,3 at berechneten Arbeitsleistungen stimmen mit tatsächlich ermittelten gut überein, z. B. mit den von Ombeck für den Turbokompressor nach Rateau gefundenen (Zeitschr. d. V. d. Ing., 1921, S. 65).

Die Zusammenstellung zeigt, wie oben bereits erwähnt, daß der Kraft- und Dampfverbrauch bei Druckerhöhungen, die 0,5–0,6 at überschreiten, bereits für verhältnismäßig kleine Leistungen (3600 kg Dampf stündlich) so hoch werden, besonders bei dem Schleudergebläse, daß größere Druckleistungen als 0,6 at nur in sehr seltenen Fällen zulässig sein werden.

Berechnung des Gesamtdampfverbrauchs von Verdampfanlagen mit Wärmepumpe.

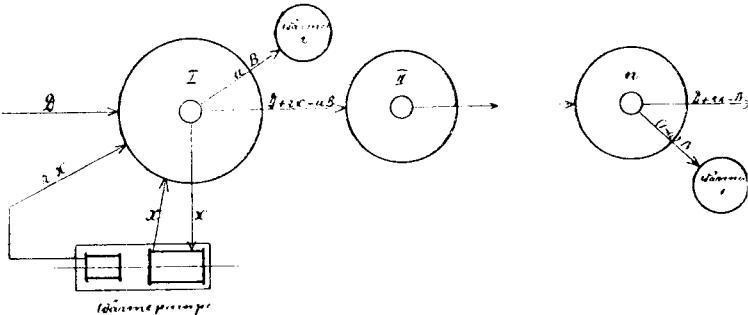
Wenn die Wärmepumpe nicht durch Naturkräfte betrieben werden kann (welcher Fall für die vorliegende Betrachtung ausgeschlossen werden soll), so ist sie an eine vorhandene oder zu beschaffende Verdampfanlage mit passender Entnahme von Brüden dampfen zum Anwärmen anzuschließen, damit der Abdampf, sowohl der der Wärmepumpe, als auch der der anderen Betriebsmaschinen der Fabrik, ausgenutzt werden kann, und zwar in der Weise, daß nur dieser Abdampf neben dem durch die Pumpe verdichteten Dampf als Heizdampf dient und kein Frischdampf zugeführt wird.

Um die erheblichen Mengen Abdampf aus der Wärmepumpe und den anderen Betriebsmaschinen richtig auszunützen, wird die Verdampfanlage in den meisten Fällen mehrstufig sein müssen, deren letzter Körper unter Luftleere arbeitet. Der erste Körper soll in allen Fällen unter Atmosphärendruck verdampfen, an ihn wird die Wärmepumpe angeschlossen; sie soll die Spannung des Flüssigkeitsdampfes beim Verdampfen von Wasser oder dünnen wässrigen Lösungen um 0,2–0,3 at, seine Temperatur also um 3°–7,5° erhöhen, bei gehaltvoller Lösungen aber um so viel mehr, als der Erhöhung des Siedepunktes durch den höheren Gehalt an gelösten Stoffen entspricht. Um die zum Anwärmen der zu verdampfenden Flüssigkeit nötigen Wärmemengen für alle Berechnungen in gleicher Weise zu berücksichtigen, wird angenommen, daß die Flüssigkeit von 0° auf 50° durch Dampf aus dem letzten Körper erwärmt wird, der gewöhnlich noch 60–65° Temperatur hat, und von 50° auf 100° durch den Dampf aus dem ersten Körper.

Bei allen Anordnungen werden die in den zum Kondensator gehenden Dämpfen und in dem verdichteten Wasser enthaltenen Wärmemengen nicht berücksichtigt. Sie sind nur wenig verschieden

und werden auch in gleicher Weise (als Kesselspeise- oder Lösungswasser) anderweitig verwertet.

Die allgemeine Anordnung einer solchen Verdampfanlage mit Wärmepumpe zeigt folgende Abbildung:



Ableitung der Formel für die Berechnung des Dampfverbrauchs.

Es bezeichnet:
 W die Gesamtmenge der stündlich zu verdampfenden Wassermenge,
 D die stündlich erzeugte Abdampfmengen der Betriebsmaschinen,
 x die stündlich von der Wärmepumpe aus dem Körper I abgesaugte und verdichtete Brüden dampfmengen,
 r die auf 100 kg verdichteten Brüden dampf entstehende Abdampfmengen der Wärmepumpe, also
 rx die stündlich erzeugte Abdampfmengen der Wärmepumpe,
 n die Zahl der Stufen der Verdampfanlage,
 B die stündlich zum Anwärmen nötige Brüden dampfmengen,
 uB den aus dem Körper I entnommenen Teil von B.

Der Körper I wird dann mit den Dampfmengen $D + rx + x$ beheizt und entsprechende Mengen Wasser verdampft. Aus I strömen wieder x kg zum Kreislauf durch die Wärmepumpe, uB zum Wärmer und $D + rx - uB$ zum folgenden Körper der Anlage. Da die Summe der verdampften Wassermenge gleich der im ganzen zu verdampfenden Wassermenge W ist, so ergibt sich folgende Gleichung für eine Verdampfanlage mit n-Stufen:

$$D + rx + x + (n - 1)(D + rx - uB) = W$$

$$W = nD + (n - 1)uB$$

$$x = \frac{1}{1 + nr}$$

Aus der so ermittelten Menge x des stetig im Kreislauf verdichteten Brüden dampfes ergibt sich: die Menge des Abdampfes zu $D + rx$ und daraus der gesamte Verbrauch an Frischdampf für die 12 Maschinen zu $(D + rx)^{12}$.

Die in den einzelnen Körpern verdampften Wassermengen sind in I $x + rx + D$
 in II $x + rx + D - uB$
 und den folgenden je $x + rx + D - uB$

Vergleichende Berechnung des Dampfverbrauchs und der verdampften Wassermengen an einem Beispiel.

Als Vergleichsgrundlage soll der Dampfverbrauch einer vierstufigen Verdampfanlage ohne Wärmepumpe dienen.

Die Wirkung der Wärmepumpe soll in Verbindung mit dem ersten Körper einer einstufigen, zweistufigen, dreistufigen und vierstufigen Verdampfanlage berechnet werden, unter folgenden Annahmen:

Stündlich zu verdampfende Wassermenge (1 kg/sec) $W = 3600 \text{ kg}$
 Stündliche Abdampfmengen der Betriebsmaschinen $D = 500 \text{ kg}$
 Zum Anwärmen von 3600 kg nötige Brüden dampfmengen $B = 600 \text{ kg}$
 davon aus dem Körper I im Wärmer 2 $uB = 300 \text{ kg}$

" " " letzten Körper im Wärmer 1 $(1 - u)B = 300 \text{ kg}$

Verdichtung des Brüden dampfes durch die Wärmepumpe von 1 at auf 1,3 at für Wasser und wässrige Lösungen, bei denen der Siedepunkt nicht mehr als von $1 - 1\frac{1}{2}\%$ gesteigert wird, oder von 1 at auf 1,5 at bei einer Steigerung des Siedepunkts im Körper I um 5–6° infolge der Anreicherung an gelösten Stoffen (also bei einem Gehalt der Lösungen von z. B. 250 g CaCl₂, 180 g NaOH, 200 g KOH, 200 g MgCl₂, 260 g NaCl je auf 1 l Wasser). Der dieser Drucksteigerung entsprechende Wert von r ist aus Tafel 2 abzulesen, er ist für Schleudergebläse und eine Steigerung von 0,3 at 0,347 und bei einer Spannungs erhöhung von 0,5 at 0,580.

Stündlicher Dampfverbrauch einer vierstufigen Verdampfanlage

mit den Dampfentnahmen zum Anwärmen, als Vergleichsgrundlage.

Abdampfmengen der Betriebsmaschinen $500 \text{ kg} = 600 \text{ kg}$ Frischdampf

Außerdem als Heizdampf nötiger Frischdampf $625 \text{ kg} = 1225 \text{ kg}$ Frischdampf im ganzen also $34,0\%$ des verdampften Wassers.

Von der Gesamtmenge des Wassers werden 1125 kg oder 31 v. H. im Körper I verdampft.

Der Dampfverbrauch der Verdampfanlagen mit Wärmepumpe ist mit den nötigen sonstigen Zahlen in den folgenden Tafeln 3 und 4 zusammengestellt.

Tafel 3.

Verdampfanlage mit Wärmepumpe zum Verdampfen von stündlich 3600 kg Wasser aus dünnen Lösungen.

Der Druck der Flüssigkeitsdämpfe wird von 1,0 auf 1,3 at, ihre Temperatur um 7,5° erhöht.

Art der Verdampfanlage	Stündl. zu verdicht. Brüdenmenge	Dazu nötige Kraft	StdL. Abdampfmenge		Entsprechend Frischdampf		v. H. d. ver-dampften Wassers	Ersparnis gegen vierst. Verdampf.	Im Körper I werden verdampft	Wasser	v. H.
			der Wärme-pumpe	der Betriebs-maschinen	im ganzen	v. H. d. ver-dampften Wassers					
einstufig	2300	80	800	500	1300	1670	46,4	—	3600	100	
zweistufig	1712	59	594	500	1094	1313	36,5	—	2806	78	
dreistufig	1323	46	459	500	959	1151	32,0	2,0	2282	63	
vierstufig	1051	37	365	500	865	1038	28,8	5,2	1916	53	

Tafel 4.

Verdampfanlage mit Wärmepumpe zum Verdampfen von stündlich 3600 kg Wasser aus gehaltvoller Lösungen.

Der Druck der Flüssigkeitsdämpfe wird um 0,5 at, ihre Temperatur um 11,7° erhöht.

Art der Verdampfanlage	Stündl. zu verdicht. Brüdenmenge	Dazu nötige Kraft	StdL. Abdampfmenge		Entsprechend Frischdampf		v. H. d. ver-dampften Wassers	Ersparnis gegen vierst. Verdampf.	Im Körper I werden verdampft	Wasser	v. H.
			der Wärme-pumpe	der Betriebs-maschinen	im ganzen	v. H. d. ver-dampften Wassers					
einstufig	1962	114	1138	500	1638	1966	54,6	—	3600	100	
zweistufig	1340	78	777	500	1227	1472	40,9	—	2567	71	
dreistufig	985	57	569	500	1069	1282	35,6	—	2054	57	
vierstufig	776	45	450	500	950	1140	31,7	2,3	1726	48	

Aus den Tafeln ist zu entnehmen:

1. Der Kraftverbrauch der Wärmepumpe (Schleudergebläse) ist sehr groß, in den meisten Fällen wohl größer, als der der sämtlichen anderen Maschinen.

2. Eine Ersparnis an Frischdampf gegenüber der einfachen vierstufigen Verdampfanlage ist bei dünnern Lösungen nur bei der An gliederung der Wärmepumpe an eine drei- und vierstufige Verdampfanlage zu erzielen; bei den mit höherer Spannung des Heizdampfes verdampfenden gehaltvoller Lösungen ist eine Ersparnis überhaupt nicht vorhanden.

3. Während in der vierstufigen Anlage im Körper I nur 31 v. H. des Wassers verdampft, wird darin infolge der Angliederung der Wärmepumpe mindestens die Hälfte des Wassers verdampft. Daher werden in ihm die Lösungen sehr häufig bereits einen solchen Gehalt erreichen, daß das Temperaturgefälle mehrere Grad erhöht werden muß. Für die meisten Verdampfanlagen in chemischen Fabriken und Zuckerfabriken wird die Tafel 4 gelten und demnach eine Ersparnis an Dampf durch die Wärmepumpe nicht mehr zu erzielen sein.

4. Wird als Wärmepumpe ein Kolbengebläse verwandt, so gestalten sich die Zahlen etwas günstiger, werden aber wohl durch die dabei auftretenden Übelstände, besonders durch die Herabsetzung der Wärmedurchgangszahl infolge des Ölgehaltes wieder verschlechtert.

Die vorstehenden Untersuchungen zeigen, daß die Wärmepumpe im allgemeinen nicht geeignet ist, die Verdampfanlagen in chemischen und Zuckerfabriken zu verbessern, daß sie im Gegenteil häufig den Gesamtdampfverbrauch erhöhen und den Betrieb erschweren wird. Die hohen Aufwendungen für die Beschaffung solcher Wärmepumpen mit den notwendigen Vergrößerungen der Heizflächen des ersten Verdampfers, an die sie angegliedert werden, sind daher sowohl in allgemein wirtschaftlicher, als auch in wärmewirtschaftlicher Hinsicht nicht gerechtfertigt.

Es erscheint richtig, zum Schluß noch einen Ersatz für die Wärmepumpen zu erwähnen, der ungefähr den gleichen Wirkungsgrad hat, wie das Schleudergebläse, aber nur geringe Anschaffungskosten erfordert; es ist das Dampfstrahlgebläse.

Das Dampfstrahlgebläse zum Verdichten von Brüdendämpfen.

Auch die Anwendung des Dampfstrahlgebläses zum Verdichten von Dämpfen auf höhere Spannung ist bereits lange bekannt und in der Zuckerindustrie schon vor 25 Jahren versucht worden. Damals konnten aber keine wesentlichen Erfolge damit erzielt werden, weil in den Zuckerfabriken, ebenso wie in anderen Betrieben, die meisten Dampfkessel nur eine verhältnismäßig niedrige Spannung von 5–6 at hatten und diese nicht ausreichte, um Abdampf von 1,5 at auf 2 at

und mehr mit ausreichender Wirkung zu verdichten. Dazu ist Kesseldampf von mindestens 8–10 at erforderlich. Mit solchem Dampf sollen die Strahlgebläse in bezug auf den Verbrauch an Betriebsdampf ungefähr die gleiche Wirkung wie die Schleudergebläse haben, so daß mit 1 Teil Frischdampf 2–3 Teile Brüdendampf verdichtet werden und daher für die Strahlgebläse je nach ihrer Leistung die entsprechenden Zahlen der Tafeln 3 und 4 gelten. Ihre Verwendung ist bei einer Verdichtung der Dämpfe um 0,3 at und bei drei- und vierstufigen Verdampfanlagen gegenüber der vierstufigen Verdampfanlage allein jedenfalls zu empfehlen, wenn hochgespannter Kesseldampf zur Verfügung steht, und Frischdampf noch außer dem Abdampf als Heizdampf verwendet werden muß. Es wird dann auch die berechtigte Forderung für eine rationelle Wärmewirtschaft erfüllt, daß eine hohe Spannung des Dampfes zunächst zur Arbeitsleistung und erst, wenn er so eine niedrige Spannung erreicht hat, zu Verdampfzwecken dienen soll.

Für eine nutzbringende Verwendung des Dampfstrahlgebläses sind aber einige Bedingungen zu erfüllen, die ich bereits vor 20 Jahren angegeben habe (Zeitschr. d. Vereins d. d. Zuckerind. 1902, 781).

Die Überhitzung des Hochdruckdampfes, sowohl die, die er aus dem Überhitzer mitbringt, als auch die, welche er bei der Expansion im Gebläse erfährt, kann leicht dadurch beseitigt werden, daß das überhitzte Gemisch des Arbeitsdampfes mit dem verdichteten Dampf nicht unmittelbar in die Heizkammer des Verdampfers geführt wird, sondern in das Rohr, durch welches der sehr nasse Abdampf der Betriebsmaschinen zum Verdampfer geleitet wird; es wird damit der doppelte Vorteil der Beseitigung der Überhitzung und der Trocknung des nassen Dampfes erreicht.

Wesentlich und für den Erfolg ausschlaggebend ist, daß nicht ein großes Dampfstrahlgebläse für die ganze Leistung genommen wird, sondern eine Anzahl kleinerer, die zusammen die erforderliche Gesamtleistung haben. Da das Dampfstrahlgebläse nur dann wirtschaftlich arbeiten kann, wenn der volle Dampfdruck in der Düse wirkt, so ist das Drosseln des Kesseldampfes zur Regelung der Dampfzufuhr unzulässig. Werden mehrere kleinere Gebläse angebracht, so ist diese Regelung ohne Beeinträchtigung der Wirkung möglich, indem je nach Bedarf ein oder mehrere Gebläse mit vollem Dampfdruck in Betrieb gesetzt werden.

Zu beachten ist schließlich noch, daß an dem Heizraum eine völlig sicherwirkende Sicherheitseinrichtung anzubringen ist, die eine Überschreitung des für die Heizkammer zulässigen Druckes verhüten, denn es kann leicht vorkommen, daß bei Unaufmerksamkeit in der Bedienung der Gebläse oder der Verdampfanlage der Druck im Raum auf die Höhe des Hochdruckdampfes von 8–10 at und mehr steigt, für den die Verdampfer nicht gebaut sind. Es wären also noch Verhandlungen mit den Überwachungsvereinen nötig, durch die solche Sicherheitseinrichtungen ausfindig gemacht werden.

Zusammenfassung.

Die Wärmepumpe kann für die Wärmewirtschaft der Verdampfanlagen der chemischen und Zuckerindustrie nur dann größere Ersparnisse an Dampf und Kohlen bringen, wenn sie unmittelbar oder auf elektrischem Wege mittelbar durch Wasserkraft betrieben werden kann. Bei durch Dampfmaschinen betriebenen Wärmepumpen sind solche Ersparnisse nicht oder nur in geringerer Höhe zu erzielen, da außer dem verdichteten Brüdendampf auch die großen Mengen Abdampf der Wärmepumpemaschine in der Verdampfanlage verwertet werden müssen. Der Erfolg ist um so größer, je weniger Abdampf im Verhältnis zu den verdichteten Dämpfen entsteht, d. h. also je höher der Wirkungsgrad des Gebläses ist und mit je geringerem Temperaturgefälle in dem Verdampfer gearbeitet werden kann.

Den üblichen Schleudergebläsen sind als Wärmepumpe die Dampfstrahlgebläse vorzuziehen, die fast den gleichen Wirkungsgrad, aber keine Abkühlungsverluste haben und nur geringe Anschaffungskosten erfordern.

[A. 77.]

Beiträge zur Gewichtsanalyse XVII¹⁾.

Von L. W. WINKLER, Budapest.

(Eingeg. 2.5. 1921.)

XXII. Bestimmung des Zinks.

Bei der Bestimmung des Zinks als $Zn(NH_4)_2PO_4$ kann das „Watteverfahren“ vorteilhaft benutzt werden. — Die Ausführungsform ist diese:

Die 100 ccm betragende, 0,10–0,01 g Zn enthaltende, gegen Methylorange eben saure Lösung wird mit 2,0 g Ammoniumchlorid versetzt und in einem Becherglas von 200 ccm bis zu dem Aufkochen erhitzt, dann unter Umschwenken in dünnem Strahle 10 ccm „20 prozentige“ Diammoniumhydrophosphatlösung²⁾ hinzugefügt, wobei anfänglich amorphes, jedoch rasch kristallisch werdendes wasserfreies Zinkammoniumphosphat zur Abscheidung gelangt. Die schwach nach Ammoniak riechende Flüssigkeit bleibt über Nacht

¹⁾ Vgl. Angew. Chem. 30, 31, 32, 33 u. 34, Aufsatzeil.

²⁾ Zu 100 ccm 20 prozentiger Phosphorsäure werden 42 ccm 20 prozentiger Ammoniak gemengt. Die schwach nach Ammoniak riechende Lösung vom spez. Gewichte 1,13 wird an einem kühlen Orte über Nacht stehengelassen, dann durch einen Wattebausch geseiht.