

liegt in der Verwendung des Anoden- und Kathodenfalles, in dem eine große Energiekonzentrierung vorkommt. Hier ergeben sich Wirkungen, welche die polaren elektrochemischen Vorgänge der gewöhnlichen Elektrolyse größenordnungsmäßig übersteigen – entsprechend natürlich der verwendeten Energiemenge. Daß diese Energiemenge so wirksam sich verwenden läßt, ist dem Zusammentreffen mehrerer günstiger Umstände zu verdanken. Der Anoden- und ganz besonders der Kathodenfall sind Stellen besonders hoher Temperatur. An diesen Stellen sind angeregte und elektrisch geladene Molekel, Radikale und Ionen, vorhanden und bilden so ein besonderes Reaktionsgebiet. Dieses Gebiet, in unmittelbarer Nähe einer wäßrigen Lösung gebracht, führt zu einem Reaktionssystem, das in dieser Art eine besondere Beachtung verdient. Hier sind außerordentliche Vorgänge zu erwarten; sie verlaufen in einem Reaktionssystem, das sonst nicht experimentell hergestellt werden kann.

Ganz besonders dürfte die Chemie anorganischer Stoffe durch die Verwendung der hohen Energiekonzentrierungen im Anoden- und Kathodenfall Vorteile ziehen können.

Es ist nicht möglich, auf diesen Punkt hier einzugehen. Es sei nur darauf hingewiesen, daß mit den hier angegebenen Anordnungen chemische Vorgänge mit Aufwendung elektrischer Energie durchgeführt werden, die bei der gewöhnlichen Elektrolyse überhaupt nicht gemacht werden können, wie es die Beispiele in der letzten Tabelle zeigen. Da die Reaktion nur an der Phasengrenze Flüssigkeit–Gas verläuft, spielt das Elektrodenmaterial keine Rolle.

Literatur

- II A. KLEMENC, Z. physik. Chem. COHEN-Festband 1927, 378.
- III A. KLEMENC und H. F. HOHN, Z. physik. Chem. 154, 385 (1931).
- IV A. KLEMENC und H. F. HOHN, Z. physik. Chem. 166, 343 (1933).
- V A. KLEMENC und TH. KANTOR, Z. physik. Chem. B. 27, 359 (1935).
- VI A. KLEMENC und R. EDER, Z. physik. Chem. 179, 1 (1937).
- VII A. KLEMENC und H. KALISCH, Z. physik. Chem. 182, 91 (1938).
- VIII A. KLEMENC und H. MILLERET, Z. physik. Chem. B. 40, 252 (1938).
- IX A. KLEMENC und G. HEINRICH, Z. physik. Chem. 183, 217 (1938).
- X A. KLEMENC, Z. physik. Chem. 183, 297 (1939).
- XI A. KLEMENC, Z. anorg. allg. Chem. 240, 167 (1939).
- XII A. KLEMENC, Mh. Chem. 75, 42 (1944).
- XIII A. KLEMENC, Mh. Chem. 76, 38 (1944).
- XIV A. KLEMENC, Mh. Chem. 81, 122 (1950).
- XV A. KLEMENC, Mh. Chem. 78, 243 (1946).

Trocknen in der chemischen Industrie

Von Dr. Ing. DITMAR BACHMANN

Frankfurt am Main-Höchst

Das Trocknen von festen Stoffen spielt in der chemischen Industrie bei der Herstellung von Chemikalien, Farbstoffen, Pharmazeutika usw. eine bedeutende Rolle.

Unter Trocknen versteht man die Entziehung von Feuchtigkeit aus einem Stoff mittels Wärme. Man unterscheidet zwei grundsätzlich verschiedene Vorgänge. Entweder wird die Feuchtigkeit von einem Medium, meist Luft, das gleichzeitig als Wärmeträger dient, aufgenommen (Verdunstung) oder sie wird in Form ihres Dampfes durch Verdampfen auf heißen Flächen entfernt (Verdampfung). Beim Verdunstungsvorgang bleibt die Temperatur des feuchten Gutes stets unter der Siedetemperatur der aufzutrocknenden Flüssigkeit, während sie beim Verdampfungsvorgang stets der dem jeweiligen Druck zugeordneten Siedetemperatur entspricht. Das völlig trockene Gut nimmt am Ende des Trockenvorganges bei der Verdunstung die Temperatur des Trockenmediums und bei der Verdampfung die der wärmeübertragenden Fläche an.

Stets erfolgt bei der Trocknung eine Zustandsänderung der aufzutrocknenden Flüssigkeit, wobei die Wärme in die Oberfläche des Gutes eindringt und sich nach den Gesetzen der Wärmeleitung in diesem ausbreitet und die Umwandlung der Flüssigkeit in den dampfförmigen Zustand vollzieht. Im Falle der Verdunstung geht die Flüssigkeit unter einem gewissen Teildruck dampfförmig in

das Trägermedium über, während im Falle der Verdampfung der Dampfdruck im Innern des Gutes einen etwas höheren Wert aufweist als außerhalb desselben. In beiden Fällen tritt der Dampf infolge des herrschenden Druckgefälles aus dem Feststoff aus. Der Trockenprozeß beruht also auf Diffusionsvorgängen, die mit Wärmebewegung gekoppelt sind.

Infolgedessen sind zur rechnerischen Erfassung von Trockenvorgängen sowohl thermodynamische¹ als auch Wärme- und Stoffaustauschgesetze zu berücksichtigen.

Die thermodynamischen Grundlagen der Verdunstungstrocknung werden meistens aus dem MOLLIERschen *i,x*-Bild² entnommen. Stoff- und Wärmeaustausch beim Trockenprozeß sind umfassend von KIRSCHBAUM³ behandelt worden. Bei der Verdampfungstrocknung, die bei Normaldruck oder auch bei vermindertem Druck erfolgen kann, sind auch die Gesetze der Thermodynamik und des Wärme- und Stoffaustausches maßgebend.

Je nachdem, ob der Trockenvorgang durch Verdunstung, Verdampfen bei Normaldruck (Ausdampfen) oder bei vermindertem Druck (Vakuumausdampfung) erfolgt

¹ E. SCHMIDT, *Technische Thermodynamik*, 3. Auflage, S. 328, Verlag Springer, Berlin 1945.

² R. MOLLIER, *Das *i,x*-Diagramm für Dampf-Luftgemische*, Z. Ver. dtsch. Ing. 73, 1000 (1929).

³ E. KIRSCHBAUM, *Zustand des Gases und nassen Gutes beim Trockenvorgang*, Chem.-Ing.-Techn. 23, 129 (1951), 21, 89 (1949).

Tab. 1. Systematik des Trocknens nach KIESSKALT⁴

| Anordnung und Bewegung des Gutes | Dampftragendes Medium | I. Verdunstung in ungewälzte, wärmeübertragende Heißluft, durch Frischluftzufuhr oder Zwischenstufenheizung regeneriert | II. Ausdampfen bei Normaldruck, Wärmezufuhr durch beheizte Wände | III. Vakuum-ausdampfung Wärmezufuhr vorzugsweise durch Strahlung |
|--|------------------------------|---|--|--|
| 1. Gut ruht auf feststehenden oder bewegten Unterlagen aus Metall, Siebgewebe, Textilien. Kein Umbrechen des Gutes | ← stetig → diskontinuierlich | Trockenschrank mit Horden (meist in ausfahrbaren Gestellwagen) Kanal-trockner mit Wagenlauf Band-trockner mit Mehrfachbändern und Überwürfen Spiralband-trockner umlaufende Horden in Wendelanordnung | Ein- und Zweiwalzen-trockner (Dünnschichtapparat) Trockenzylinder (Papier, Textilien) | Vakuum-schrank mit Horden Ein- und Zweiwalzen-trockner (mit wech-selschaltbaren Ab-füllbehältern auch halbkontinuierlich) |
| 2. Fortlaufendes Umbrechen durch Rührwerkzeuge | ← stetig → | Etagentrockner (auch KNÄMERN-Mühlen-feuerung) | Schaufel-trockner Teller-trockner Trockenschnecken (Muldentrockner) | Schaufel-trockner (auch mit Ab-füllbe-hältern, vgl. oben) |
| 3. Schwerkraftumwälzung | | Trommel-trockner (Drehrohr meist mit oberflächenvergrö-ßernden und umschüttenden Blecheinbauten) Riesel-trockner | Röhren-trockner Mahl-trockner (beheizte Rohrmühle) | Umlaufanteil wesentlich |
| 4. Luftförderung | | Zerstäubungstrockner (für siebfeines Gut) Strom-trockner (z. B. nach BÜN-LEN, pneumatische Förderung abgeschleuderter Kristalle) | | |

und je nach der entsprechenden Bearbeitung des Gutes im Trockenapparat, läßt sich nach KIESSKALT⁴ eine übersichtliche Systematik des Trocknens, entsprechend den drei thermodynamischen Hauptverfahren, wie Tab. 1 zeigt, aufstellen.

Die Gruppe I umfaßt alle Trockenverfahren, bei denen ein wärmeübertragendes Medium, meist Heißluft, die notwendige Wärme zur Verdampfung der Feuchtigkeit an das Gut heranführt und gleichzeitig den Wasserdampf aufnimmt. Alle diese Trockner arbeiten daher mit getrennten Lufterhitzern und seltener zusätzlich mit Strahlungsheizflächen.

Die Gruppen II und III umfassen alle Trockenverfahren, bei denen die Wärme sowohl durch direkten Kontakt (Kontakt-trockner), als auch durch Strahlung auf das Feuchtgut übertragen wird. Zusätzliche Anwendung von Warmluft als Feuchtigkeitsträger ist meist vorteilhaft. Allerdings sind die notwendigen Luftmengen in diesem Fall wesentlich kleiner als bei der reinen Ver-

dunstungstrocknung der Gruppe I, und sie erfüllen lediglich die Aufgabe, die Feuchtigkeit wegzutragen. Infolgedessen erfährt die strenge Systematik der Tab. 1 in den einzelnen drei Gruppen jeweils Überschneidungen, worauf im folgenden noch hingewiesen wird.

Die Verfahren und Apparatetypen der Kolonnen 1 bis 4 werden in erster Linie durch die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Trockengutes bestimmt. Temperatur und Sauerstoffempfindlichkeit bedingen meist eine möglichst rasche und schonende Trocknung, beispielsweise durch Zerstäubung oder im Vakuum. Die Gutform (stückig, Fasern, Kristalle, Staub) und die möglichen Veränderungen des Gutes während des Trockenprozesses bedingen meist eine sehr sorgfältige Auswahl der Trockenapparatur. Krustende Güter müssen während des Trockenprozesses umgebrochen werden, während rieselnde Güter in Trommel- oder Riesel-trocknern zu verarbeiten sind. Stoffe, die sich in dem aufzu-trocknenden Medium lösen, neigen meist zum Verbacken und Verkrusten. Vor allem treten hier bei hochmolekularen, kolloidalen Stoffen oft große Schwierigkeiten auf, da infolge der Oberflächenverkrustung der Feuchtigkeitsaustritt aus dem Gutsinnern behindert wird. Oft

⁴ S. KIESSKALT, *Verfahrenstechnik*, Sonderdruck aus *Chemische Technologie*, Sammelwerk in 5 Bänden, Bd. 1, herausgegeben von KARL WINNACKER und ERNST WEINGÄRTNER, Carl Hauser Verlag, München 1950.

kann man solche Stoffe nur erfolgreich trocknen, wenn sie vorher durch wasserentziehende Lösungsmittel, in denen sich das Gut nicht löst, behandelt werden, und anschließend dann das Lösungsmittel durch Trocknung beseitigt wird. Im günstigsten Falle haftet die Feuchtigkeit nur an der Gutsoberfläche, meist jedoch sitzt sie in Poren und Kapillaren auch im Inneren des Gutes. Je nachdem, ob der Stoff dann während des Trocknens an der Oberfläche schrumpft, vergrößern sich die Austrittswiderstände für die Feuchtigkeit. Chemische und adsorptive Bindungen verlängern weiterhin meist gegen Ende den Trockenprozeß und erhöhen den Wärmebedarf. Zur Beseitigung chemisch gebundenen Wassers müssen jeweils bestimmte Temperaturen eingehalten werden. Meist muß Wasser und in seltenen Fällen Lösungsmittel weggetrocknet werden. Im letzteren Fall muß besondere Rücksicht auf Explosionsgefahr und Dichtigkeit des Trockners genommen werden. Bei der Verdunstungstrocknung dient bei wertvollen Stoffen, die nicht verunreinigt werden dürfen, überwiegend Luft als Wärmeträger. Feuer- oder Rauchgase werden meist nur bei billigen Massengütern verwendet. Schutzgase, wie Stickstoff oder Kohlendioxyd, werden seltener benutzt.

Als Wärmequellen dienen bei der Verdunstungstrocknung meist Dampf oder elektrisch beheizte Rippenrohrheizkörper, unter Umständen auch direkte Feuergase oder sonstige heiße Abgase. Bei der Verdampfungstrocknung werden die Apparatewände ebenfalls dampf-, warmwasser- oder elektrisch beheizt; während Rohr- oder Stromtrockner meist mit Rauch- oder Feuergasen beheizt werden.

Entscheidend bei der Auswahl der Trocknertypen ist weiterhin die Menge des zu verarbeitenden Gutes und die Form desselben vor dem Trockenprozeß. Große Mengen bedingen kontinuierliche Trocknung. Flüssiges oder breiiges Gut bedingt bestimmte Trocknertypen, wie beispielsweise Zerstäubungs- oder Walzentrockner, seltener Schaufeltrockner. Eventuell kann breiiges Gut auch durch Vortrocknung auf Walzenrillentrocknern in eine standfeste Form gebracht werden. Im folgenden sollen nun entsprechend der Tab. 1 die wichtigsten Trockenapparate behandelt werden.

I. Verdunstungstrockner⁵

1. Gut ruht

Der diskontinuierlich betriebene Trockenschrank kann für alle formbeständigen Produkte verwendet werden, wenn es sich um kleinere Mengen handelt und sich durch einen kontinuierlichen Betrieb keine Vorteile wirtschaftlicher Art erzielen lassen. Chemikalien und Farben werden meist als Filterpreßkuchen getrocknet. Temperatur

⁵ S. J. FRIEDMANN, *Ind. Eng. Chem. Ind. Ed.* 30, 22/23 und 35/36 (1949), und 39, 20/21 und 38/39 (1947); P. GÖRLING, *Fortschritte im Trocknerbau, Verfahrenstechnik 1940*, 127, und E. BERL, *Chemische Ingenieur-Technik*, Bd. II, Verlag Springer, Berlin 1935.

und Luftfeuchtigkeit können in diesen nach dem Umluftprinzip arbeitenden Apparaten beliebig eingestellt werden. Die Trockenzeiten bewegen sich bei einem Dampfverbrauch von 2,2–2,5 kg / kg verdampften Wassers je Charge bis zu einem Tag. Gleichmäßige Luftgeschwindigkeiten über den einzelnen Horden bedingen Verringerung der Trockenzeit⁶ und somit Energiesparnis. Zur Verarbeitung größerer Gutmengen bei halbstetigem Betrieb dient der Kanaltrockner. Bei diesem werden die Hordenwagen langsam durch einen mit Heißluft beschickten Kanal gezogen, wobei durch mehrere über die Kanallänge verteilte Lüfter und Heizregister Temperatur und Luftgeschwindigkeit den Guteigenschaften angepaßt werden können. Beim stetig arbeitenden Bandtrockner wird ein ähnliches Belüftungssystem verwendet. Das meist stückige oder faserige Gut wird zur Bewältigung großer Mengen meist kopfseitig mittels Zuteilvorrichtungen, gelegentlich unter Vorschaltung einer Rillenwalze für die Verarbeitung von Filterpreßkuchen, aufgegeben und auf Sieb- oder Plattenbändern durch den Trockenschacht geführt.

Bei Verwendung von Mehrbandtrocknern wird durch die übereinanderliegenden Bänder beim Herabstürzen des Gutes auf das nächste Band eine gewisse Umlagerung und damit Trockenzeitverkürzung bzw. schonendere Trocknung erzielt. Falls die Gutform es erlaubt, ist ein Durchströmen der Auflagefläche und des Gutes durch Trockenluft für die Beschleunigung der Trocknung günstig. Spiralband- oder Turbinenbandtrockner dienen zur Trocknung kristalliner und band- oder strangartiger Güter. Das Gut wird bei diesem Trockner auf mit endlosem Band umlaufenden Horden oder Tragvorrichtungen in Wendelanordnung durch den Trockner geführt und bleibt hierbei völlig in Ruhe. Der Materialeinlauf befindet sich oben und das Gut wird wendelartig nach unten geführt, wobei die Luftzirkulation durch axial in der Mitte angeordnete Turbinenlüfter und die Aufheizung der Luft durch am Umfang eingebaute Heizregister erfolgt. Die Trockenluft strömt axial meist in drei Stufen abwechselnd von innen nach außen über das Trockengut. Der Spiralbandtrockner zeichnet sich vor allem durch seinen geringen Raumbedarf bei hoher Trockenleistung aus.

2. Gut wird fortlaufend durch Rührwerkzeuge umgebrochen

Eine gleichmäßigere und damit schonendere Trocknung erzielt man durch dauernde Umlagerung des Gutes während dem Trockenprozeß. Ringtagen- oder Turbinenringscheibentrockner ähneln im Aufbau dem Spiralbandtrockner und sind zur Trocknung nichtklebender, pulverförmiger und kristalliner Produkte geeignet. Die Gutaufgabe geschieht hier auch von oben, und durch Rührwerkzeuge wird eine dauernde Umlagerung und langsame Förderung des Gutes durch Schlitze in den

⁶ D. BACHMANN, *Aerodynamische Maßnahmen an Umlufttrockenschranken und deren Einfluß auf die Strömungsverhältnisse und den Trockenprozeß*, *Z. Ver. dtsch. Ing.* 79, 1034 (1935).

einzelnen Etagen nach unten bewirkt. Die Trockenluft überströmt radial in wechselnder Richtung das Gut. Bei den einzelnen Bauweisen variiert die Anordnung der Lüfter. In Verbindung mit pneumatischen Förderanlagen und Absackvorrichtungen dienen diese Trockner zur Bewältigung von Massengütern.

3. Schwerkraftumwälzung

Zur Trocknung nichtklebender, stückiger, pulverförmiger oder kristalliner Massengüter bei hohen Temperaturen, meist mittels Feuergasen erzeugt, dienen die Trommeltrockner. Meist werden Gut und Wärmeträger im Gleichstrom geführt, so daß mit Temperaturen bis zu 1000°C am Guteinlauf gearbeitet werden kann. Infolge der raschen Wasserverdampfung (Kühlgrenztemperatur) nimmt das Gut keine hohe Temperatur an, und der Wärmeträger kühlt sich im gleichen Maße ab, wie dem Gut Wasser entzogen wird, so daß die Eigentemperatur des Wärmeträgers rasch abnimmt. Durch Rieseleinbauten⁷ in der Trocknertrommel wird die dem Wärmeträger ausgesetzte Gutoberfläche vergrößert.

Rieselrockner bestehen aus mehreren übereinander gesetzten Elementen, über die das Gut unter der Wirkung seines Eigengewichtes abwärts rieselt. Die Feuchtgutaufgabe geschieht oben. Die durch Lufterhitzer erwärmte Luft durchströmt das Gut in jedem Element im Querstrom. Mittels Klappen kann die Rieselgeschwindigkeit des Gutes einreguliert werden. Diese Trockner eignen sich nur zur Abtrocknung von Restfeuchtmengen und sind nur für sehr gut rieselnde Güter geeignet.

4. Luftförderung

Die schonendste und schnellste Trocknung erreicht man mit Zerstäubungs- oder Stromtrocknern. Bei den Zerstäubungstrocknern⁸ wird durch Zerteilung des Feuchtgutes mittels schnell rotierender Scheibe oder Spezialpreßluftdüse eine große spezifische Oberfläche des Feuchtgutes geschaffen, wodurch eine sehr rasche Auftrocknung der 0,1–0,3 mm großen Tropfen erfolgt. Infolgedessen kann in diesem Trockner nur flüssiges oder breiiges, noch pumpbares Feuchtgut, verarbeitet werden. Neben kurzen Verweilzeiten ist eine schwach spiralförmige Führung des Trockenmediums im Gleich- oder Kreuzstrom mit dem versprühten Feuchtgut notwendig, wobei die Abmessung des Zerstäubungsturms, Luftgeschwindigkeit und Menge des Feuchtgutes so aufeinander abgestimmt sein müssen, daß die Wände des Turms nicht von nassem Feuchtgut getroffen werden. Die empfindlichsten Güter können meist noch bei 140–180°C Eingangstemperatur der Trockenluft verarbeitet werden.

⁷ H. PIEPENSTOCK, *Untersuchungen an Einbausystemen von direkt beheizten Feuergas-Gleichstromtrommeltrocknern*, Diss. Hannover 1933.

⁸ C. EDELING, *Untersuchungen zur Zerstäubungstrocknung*, Beih. Chem.-Ing.-Techn. 57 (1949), Diss. Karlsruhe 1943; D. A. SMITH, *Chem. Eng. Progr.* 45, 701–7 (1949), und E. KIRSCHBAUM, *Grundsätzliches und Neues über die Zerstäubungstrocknung*, Chem.-Ing.-Techn. 24, 3 (1952).

Der Dampfverbrauch schwankt zwischen 3,5–4 kg Dampf / kg verdampften Wassers.

Zur Schnellrocknung stückiger, kristalliner oder pulverförmiger nicht klebender Güter eignet sich der Stromtrockner oder Schnellumlauftrockner. Bei dieser Trocknerbauart wird das Feuchtgut ähnlich wie in einer pneumatischen Förderanlage in einen Heißluft- oder Feuergasstrom eingetragen und über ein vertikales Rohr von 10–30 m Länge in einem Zyklon, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung einer Mühle, wieder abgeschieden. Heißluft und Gut strömen in gleicher Richtung. Infolge der hohen Trockenlufttemperatur am Materialeinlauf und der großen Relativgeschwindigkeit zwischen Trockenmedium und Gut erfolgt die Trocknung in wenigen Sekunden, ähnlich wie beim Zerstäubungstrockner. Die Anwendung hoher Trockenluftanfangstemperaturen bedingt auch hier Gleichstromtrocknung. Der Dampfverbrauch beträgt 3,5–4 kg Dampf / kg Wasser.

II. Trocknen durch Ausdampfen unter Normaldruck; Kontaktrockner

1. Gut ruht

Da beim Verdampfungstrockenprozeß unter Normaldruck das Trockengut meist höhere Temperaturen annimmt, lassen sich auf diese Weise nur weniger empfindliche Güter trocknen. Außerdem ist es zur Schonung des Gutes bei diesem Verfahren notwendig, in dünner Schicht zu arbeiten, um den Trockenvorgang in kurzer Zeit zu beenden. Der Ein- oder Zweiwalzentrockner ist zur stetigen Trocknung für flüssiges oder pastenförmiges Feuchtgut geeignet und erfüllt die vorgenannten Bedingungen. Auf die mit Dampf von 1–10 atü beheizte Trockentrommel wird das zu trocknende Gut entweder mittels Auftragwalzen, denen Andruckwalzen nachgeschaltet sind, durch Sprüh- und Aufspritzvorrichtungen oder mittels Sumpf in dünner Schicht aufgetragen und durch Messer wieder von den Walzen abgeschabt.

Beim Zweiwalzentrockner wird meist über einen «Sumpf» im Zwickel zwischen den beiden Walzen aufgegeben. Mit diesen Trocknern lassen sich Wasserverdampfungen von 10–50 kg/m² · h bei Trockenzeiten von 10–60 Sekunden und Dampfverbräuchen bis 1,7 kg Dampf / kg Wasser erzielen. Die Anpassung des Dampfdruckes an die vom Gut im trockenen Zustand gerade noch vertragene Temperatur ist notwendig. Für eine gleichmäßige Belegung der Trocknerwalze sind sowohl das Material, dessen Oberflächenbeschaffenheit, als auch die Oberflächentemperatur von Bedeutung. Bei polierten Flächen aus Edelstahl und großen Temperaturdifferenzen zwischen Walzenoberfläche und Siedepunkt der Flüssigkeit bilden sich leicht Dampffilme, ähnlich dem LEIDENFROSTschen Phänomen, aus⁹ und behindern den Trockenvorgang. Die ungleichmäßige Belegung der

⁹ G. SCHMID und H. SPEIDEL, *Die Leidenfrostsche Dampfschutzschicht im Vakuumverdampfer*, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. 43, 187 (1937).

Walzenfläche mit Feuchtgut infolge Abweichungen von der Zylinderform, Rillen usw. auf der Walzenoberfläche muß durch Abschleifen der Walzen beseitigt werden, da trockene Gutsreste, die von den Schabern nicht abgenommen werden, verderben. Das Abschleifen der Walzen geschieht meist in warmem Zustand durch am Trocknergestell angebrachte Vorrichtungen. Besondere Aufmerksamkeit ist der guten Brüdenabsaugung zu schenken, um ein Wiederfeuchtwerden des Trockengutes zu verhindern. Gegebenenfalls wird zur Beseitigung der Brüden zusätzlich Warmluft verwendet, sodaß dann der Trockner sowohl nach dem Verdampfungs- als auch dem Verdunstungsprinzip arbeitet. In allen Fällen wird jedoch die Wärme im wesentlichen von der Heizfläche an das Gut und dessen Feuchtigkeit und dann zum größten Teil mit dem Dampf an die Luft übergehen.

Aus diesen Gesichtspunkten heraus ergibt sich zwecks Vermeidung von Kondensation für jeden beliebigen Fall die anzustrebende Vorwärmtemperatur der Luft. Der Zustand der Abluft ist dann für die richtige wärmetechnische Führung des Trocknungsprozesses maßgebend.

2. Gut wird fortlaufend umgebrochen

In den liegenden zylindrischen Schaufeltrocknern oder Schneckenrocknern wird das pulver- oder pastenförmige Feuchtgut durch kräftige Rührwerkzeuge, die langsam unlaufen, fortlaufend umgebrochen und an der beheizten Zylinderwand vorbeigeführt. Die Rührwerkzeuge sind oft ebenfalls beheizt, um bei größeren Apparaten eine möglichst große Heizfläche unterzubringen. Diese Bauart ist besonders für backendes Gut geeignet, da infolge des Durcharbeitens immer wieder neue Oberflächen zum Austritt der Feuchtigkeit aus dem Gutsinnern geschaffen werden. Zum Abtrocknen von Lösungsmitteln, die später wiedergewonnen werden müssen, eignet sich diese Bauart infolge ihrer absoluten Dichtigkeit ebenfalls. Die Apparate werden sowohl diskontinuierlich als auch kontinuierlich betrieben, wobei für größere Leistungen meist mehrere Apparate übereinander angeordnet werden und das Gut die einzelnen Trockner von oben nach unten durchläuft. Infolge des meist großen Staubanfalles müssen die Brüden über beheizte Staubabscheider abgezogen werden. Sorgfältige Isolation, besonders der nicht beheizten Stirnwände, ist notwendig, um Kondensation von Brüden und Schilbenbildung des Trockengutes zu verhindern. Die Anwendung geringer Luftmengen zur Abführung der Brüden ist auch häufig üblich.

Die Tellerrockner stellen eine weitere Art der Kontaktrockner dar, d. h. Trockner, bei denen die zur Trocknung erforderliche Wärme durch Berührung von heißen Flächen unmittelbar an das Gut übergeht. Die wesentlichen Bauteile dieser Trocknerart sind in gleichen Abständen übereinander fest angeordnete kreisförmige Hohl-scheiben, die beheizt werden und so die Heizfläche

für das auf ihnen liegende Gut bilden. Über jedem Teller befindet sich ein Rührwerk, das das Gut laufend umbricht und durch Öffnungen in den einzelnen Etagen langsam von oben nach unten befördert. Die Rührschaufeln und Durchfallöffnungen sind so angeordnet, daß das Gut auf den einzelnen Etagen abwechselnd von außen nach innen und umgekehrt gefördert wird. Verschieden starke Beheizung der einzelnen Etagen gestattet die Anpassung an die jeweilige Gutsfeuchtigkeit. Die Abführung der Brüden erfolgt auch hier mittels im Gegenstrom zum Gut geführter geringer Warmluftmengen.

3. Schwerkraftumwälzung

Während die vorstehend beschriebenen Trocknerbauarten nur mit verhältnismäßig kleinen Heizflächen ausgerüstet werden können, ist beim Röhrentrockner die Unterbringung großer Heizflächen im Innern der sich drehenden Trockentrommel möglich. Der Trockner ähnelt sehr stark dem unter 1 3 beschriebenen Trommeltrockner. Er ist im Gegensatz zum Schaufeltrockner nur für leicht rieselnde, nicht verbackende und klebende, faustgroße bis pulverförmige Güter geeignet.

Meist mit Dampf beheizt, eignet sich der Trockner sowohl für reine Verdampfungstrocknung als auch für den Zusatz von Warmluft im Gegenstrom zum Gut zwecks Abführung der Brüden. Das Feuchtgut wird durch die außenbeheizten Röhren geführt und mittels einer Eintragvorrichtung am höher liegenden Teil des Trockners fortlaufend in diese eingefüllt. Es rieselt infolge der Drehbewegung des Trockners schraubenförmig an den außen beheizten Rohrwandungen entlang bis zu der tiefer liegenden Ausfallseite der Trommel, wo es aus den Röhren ausfällt und durch eine anschließende Fördereinrichtung fortgeschafft wird. Eine Abart dieses Trockners stellt die außenbeheizte Rohrmühle dar, in der das Gut während des Trockenprozesses durch Metallkugeln oder Stäbe zerkleinert wird.

III. Trocknen durch Ausdampfen unter Vakuum¹⁰ (Kontaktrockner)

1. Gut ruht

Fast alle unter II beschriebenen Trockenapparate lassen sich bei entsprechender vakuumfester Gestaltung auch unter vermindertem Druck betreiben. Infolge der dann herabgesetzten Siedetemperatur der aufzutrocknenden Flüssigkeit können auf diese Weise auch temperaturempfindliche Güter, bei Anfall kleinerer Mengen, insbesondere Filterpreßkuchen, im Vakuumtrockenschrank, bei größeren Mengen auf Walzentrocknern, getrocknet werden. Die vakuumfeste Ausführung erfordert meist schwere Apparaturen. Das Ein- und Ausschleusen des Feucht- bzw. Trockengutes kann über vakuumfeste Wechselgefäße oder automatisch arbeitende Schleusen erfolgen. Auch bei der Vakuumtrocknung muß für eine gute Abführung der Brüden gesorgt werden. Dies geschieht

¹⁰ E. L. HOLLAND-MERTEN, *Die Vakuumtechnik*, 2. Auflage, Verlag Wilh. Knapp, Halle/Saale (1950).

meist durch laufendes Einlassen kleiner Mengen «Schiebeluft» in den Trockner. Durch die Schiebeluft wird die relative Feuchtigkeit der Brüden herab gesetzt. Für eine gute Isolation, gegebenenfalls Heizung der Staubfänge oder Filter, muß gesorgt werden, um Kondensation in diesen Apparaten zu vermeiden.

2. Gut wird fortlaufend durch Rührwerkzeuge umgebrochen

Der Schaufel-, Mulden- oder Schneckenrockner kann gleichfalls unter Vakuum betrieben werden. Neben der Kondensationseinrichtung für die Brüden, der Luftpumpe zur Aufrechterhaltung des Vakuums, sind auch hier gut isolierte oder beheizte Staubfänger – meist Filterschläuche – notwendig. Empfindliche, backende Güter lassen sich auf diese Weise trocknen. Die Wiedergewinnung von Lösungsmitteln ist auch in diesem Fall bei der Verwendung einer Wasserringluftpumpe gegeben.

Zum Schluß seien noch einige Sonderverfahren erwähnt, die sich vor allem in Amerika in den letzten Jahren eingeführt haben. Hierzu gehören die Trockner, die auf der Wärmeübertragung durch Strahlung beruhen. Vor allem die langwellige Ultrarotstrahlung¹¹, entweder auf elektrischem Wege oder mittels gasbeheizter Elemente erzeugt, dient hierfür als Wärmequelle.

Diese Trockner werden als Band- oder Schneckenrockner gebaut und können in der chemischen Industrie, vor allem zum Beseitigen von Restfeuchtigkeit bei pulverförmigen Stoffen und dergleichen, vielseitige Anwendung finden. Die Absorptionseigenschaften des Gutes für die Strahlung spielen bei diesem Verfahren eine bedeutende Rolle.

Die Trocknung mittels Hochfrequenz, die auf der Erwärmung des Gutes infolge dielektrischer Verluste in diesem beruht, hat gleichfalls in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht. Auch diese Trocknung kann erfolgreich zur Beseitigung von Restfeuchtigkeit angewandt werden. Infolge der verhältnismäßig hohen Kosten kommt diese Trocknungsart nur für wertvolle Güter und kleinere Mengen in Frage. Bei der Hochfrequenzrocknung spielen die physikalischen Eigenschaften des Gutes, dessen Dielektrizitätskonstante,

¹¹ S. J. FRIEDMANN, o. a., Nr. 5; J. D. HALL, *Industrial Applications of Infrared*, McGraw-Hill Book Comp., Inc., New York 1947.

Verlustwinkel usw.¹² eine besondere Rolle und müssen von Fall zu Fall eingehend geprüft werden. Stückige, pulverige oder faserige Güter können auf Apparaten, die den Bandrocknern ähneln, getrocknet werden.

Als Sonderverfahren hat sich in den USA noch die Gefriertrocknung, bei der der Trockenvorgang durch Sublimation des Wassers erfolgt, eingeführt. Dieses Verfahren wird vor allem für sehr hitzeempfindliche Substanzen angewandt, bei denen meist Wasser nach dem Einfrieren unter hohem Vakuum entzogen wird. Mehrere Veröffentlichungen behandeln dieses Verfahren zur Trocknung von Blutplasma¹³, Penicillin¹⁴ und Streptomycin¹⁵. Ein kombiniertes Verfahren von Sublimation und dielektrischer Trocknung beschreiben G. H. BROWN, R. A. BIERWIRTH und C. N. HOYLER¹⁶.

Neuerdings gewinnt auch das stetige Trocknen von Filterkuchen mit vorgewärmter Luft, die nicht wie sonst üblich an der Oberfläche des Feuchtgutes vorbeiströmt, sondern durch dasselbe hindurchgesaugt wird, für bestimmte Produkte an Bedeutung. Bei diesem Verfahren kann die mechanische Vorentwässerung und die thermische Restentfeuchtung in apparativ einfacher Weise vereint werden. Modellversuche von J. ALLERTON, L. E. BROWNELL und D. L. KATZ¹⁷ konnten die theoretischen Zusammenhänge weitgehend klären.

Trockenapparate, die nach dem Prinzip des Wirbelschichtverfahrens¹⁸ arbeiten, gewinnen für die Trocknung¹⁹ von feinkörnigen Feststoffen ebenfalls laufend an Interesse.

¹² C. A. MANN, N. H. CEAGLSKE und A. C. OLSON, *Ind. Eng. Chem.* 41, 1686-94 (1949), und L. GRIMSTEAD, *J. Brit. Inst. Radio Engos* 5, 128-51 (1945).

¹³ G. A. BELSKY, *Refrigerat Eng.* 49, 282-4 und 322-4 (1945); E. W. FLOSDORF, L. W. HULL und S. MUDD, *J. Immunology* 50, 21-54 (1945); D. B. KENDRICK, *Refrigerat Eng.* 47, 33-9 (1944); H. W. STENERSON, *Ind. Eng. Chem. News Ed.* 23, 714-7 (1945).

¹⁴ *Sci. Amer.* 170, 9 (1944); D. H. CAMPBELL und D. PRESSMAN, *Science (New York)* 99, 285/6 (1944); E. W. FLOSDORF, *Brit. Med. J.* 1945, 216-8; J. I. N. GREAVES, *Nature (London)* 153, 485-7, (1944); J. A. REAVELL, *Indian Eastern Chemist* 20, 54 (1944).

¹⁵ G. H. BROWN, R. A. BIERWIRTH und C. N. HOYLER, *Proc. Inst. Radio Eng.* 34, 58-65 (1946).

¹⁶ R. W. PORTER, *Chem. Ind.* 53, 98 (1946).

¹⁷ J. ALLERTON, L. E. BROWNELL und D. L. KATZ, *Chem. Eng. Progr.* 45, 619-35 (1949).

¹⁸ *Chem.-Ing.-Techn.* 24, 57 ff. (1952).

¹⁹ Wirbelschichtrockner, USA Pat. Nr. 2513369 vom 2.7.1946/4.7.1950, und Roto-Louvre-Trockner, Bauart Dunforth & Elliot Ltd., London.

Zeitsparende Dokumentation

Von Dr. FRITZ KUTTER

Es liegt im Wesen der Chemie mit ihren unzähligen Verbindungen, daß sich der forschende Chemiker fortwährend mit der Literatur beschäftigen muß. Die Zahl der Fachschriften nimmt immer mehr zu, so daß die papierene Sintflut, von welcher C. OPPENHEIMER bereits vor 25 Jahren (*Chem.-Ztg.* 51, 229. 1927) schrieb, an-

steigt. Damit sich der Chemiker in dem ungeheuren Dokumentationsmaterial zurechtfindet, sind Systeme notwendig (BEILSTEIN, RICHTER, LANDOLT-BÖRNSTEIN, Chemisches Zentralblatt usw.), deren Beherrschung zum Auffinden gesuchter, unbekannter, charakteristischer Werte Voraussetzung ist. Die Formelsprache ist zwar