

diese nur sehr gering; eine merkbare Beeinflussung des Erstarrungspunktes von Kryolith war nicht festzustellen.

### Zusammenfassung

$\text{Na}_2\text{O}$ : Durch Zusatz von z. B. Kupfer zum abgeschiedenen Rohaluminium läßt sich die Stromausbeute eines technischen Elektrolyseofens in kurzen Zeitabständen genau bestimmen. Mit diesem Meßverfahren und einer Bleischicht als Hilfskathode wurde nachgewiesen, daß laufend an der Kathode (schmelzendes Rohaluminium) metallisches Natrium mit abgeschieden wird und daß die Stromausbeute mit steigendem Na-Partialdruck an der Kathode sinkt.

$\text{Na}_2\text{O}$  wird den Elektrolyseöfen fast ausschließlich als Beimengung der Tonerde zugeführt. Die Wirkung dieser Mengen an  $\text{Na}_2\text{O}$  ist vor allem abhängig vom Gehalt der Ofenauskleidung an Na-Verbindungen, d. h. vom Betriebsalter der Elektrolysewanne, da eine ständige Wechselwirkung besteht zwischen der Na-Konzentration des Betriebselktrolyten und des abgeschiedenen Rohaluminums einerseits und dem Gehalt an Na-Verbindungen der Ofenwanne anderseits. Von diesen kommt dem Na-Carbide und -Cyanid eine besondere Stellung zu. Die in Frage kommenden, stark temperaturabhängigen Reaktionen haben offenbar einen allmählichen Austausch von Kohlenstoff gegen Natrium zur Folge.

$\text{BeO}, \text{MgO}, \text{CaO}$ : Nach mehrjähriger Betriebsdauer kommt es zu einer Anreicherung dieser Fremdoxyde im Elektrolyt, da diese nicht reduziert und abgeschieden werden, aber relativ gut löslich sind. Die kathodische Abscheidung von Natrium wird durch  $\text{CaF}_2$  im Betriebselktrolyt zurückgedrängt.

$\text{TiO}_2$ : Bei der direkten Herstellung von Ti-haltigem Rohaluminium treten infolge Schwerseigerung von  $\text{Al}_2\text{Ti}$ -reichen Anteilen große Schwankungen im Ti-Gehalt auf;  $\text{TiO}_2$  wird rein chemisch durch Aluminium reduziert und nicht elektrolytisch.

$\text{V}_2\text{O}_5$ : Der Rückgang der Stromausbeute bei Verarbeitung vanadiumhaltiger Einsatzstoffe ist eine Folge der reversiblen Oxydations-Reduktions-Vorgänge, die sich über z. B.  $\text{V}_2\text{O}_5$  an den Elektroden abspielen.

Von den übrigen Oxyden wurde noch  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  näher behandelt, dessen Reduktion als Fremdoxyd Interesse hat für Gleichgewichtsuntersuchungen in der Al-Elektrolyse.

Eingeg. am 23. Juli 1947 [B 30]

### Berichtigung

In dem Aufsatz „Rohstoffe für Acetylen und Aethylen“, diese Zeitschr. B 8, 211 (1947) beziehen sich auf die Ausführungen auf Seite 213 r. Sp. Z. 19 bis 45 auf die Anlage in Hüls und sind daher auf der Seite 214 r. Sp. hinter Zeile 11 einzugliedern.

## BERICHTE AUS DER CHEMISCHEN TECHNIK

### Versammlungsberichte

#### Apparatebautagung der Technischen Hochschule Karlsruhe in Ettlingen vom 25. bis 27. September 1947

Der Leiter des veranstaltenden Institutes für Apparatebau der Technischen Hochschule Karlsruhe, Prof. Dr.-Ing. Emil Kirschbaum, wies einleitend auf die Bedeutung der in den Vorträgen behandelten Gebiete hin. Die zahlreichen gerade heute besonders wichtigen Forschungsaufgaben können nur durch Zusammenwirken von Wissenschaft und Technik in gegenseitiger Befruchtung gelöst werden. Die Zusammensetzung der Teilnehmer und Vorträge waren ein Beweis dafür, daß diese Voraussetzung der Gemeinschaftsarbeit erfüllt ist. Es wurde dankend hervorgehoben, daß es früher und heute die deutsche Apparatebau-Industrie und andere einsichtsvolle Stellen waren, welche wieder Mittel aufbrachten, um die Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiete des Apparatebaus durchzuführen, über die unter anderem bei der Ettlinger Tagung berichtet wurde.

Durch folgende Gesichtspunkte war die Wahl der Stoffgebiete bestimmt: Sie zeichnen sich durch ihre besondere Bedeutung und durch enge physikalische Verwandtschaft aus. Dem reinen Wärmeübergang der Wärmeaustauscher ist beim Trocknen ein einseitiger, beim Rektifizieren ein doppelseitiger Stoffaustausch überlagert. Das Karlsruher Institut hat zahlreiche Forschungsarbeiten auf diesen Gebieten durchgeführt.

#### I. Destillier- und Rektifiziertechnik

Diskussionsleiter E. Kirschbaum, Karlsruhe.

R. HAASE im Auftrag von N. JOST, Marburg: Siedeverhalten und Rektifikation von Zwei- und Mehrstoffgemischen.

Unter Anwendung der Troutonschen Regel und der Clausius-Clapeyron'schen Gleichung wird für ein binäres Gemisch der Trennfaktor  $\alpha_0 = \text{Dampfdruckverhältnis der reinen Stoffe}$  angegeben durch die Gleichung

$$\alpha_0 = \frac{22 \cdot \Delta Ts}{4,57 \cdot T} \quad \dots (1).$$

$\Delta Ts$  = Siedepunktdifferenz und  $T$  = Siedetemperatur bei Normaldruck. Für hochangereichertes Endprodukt läßt sich eine einfache Formel für das Mindestrücklaufverhältnis  $v_{\min}$  ableiten

$$v_{\min} = \frac{1}{(\alpha_0 - 1) \cdot x_0} \quad \dots (2).$$

$x_0$  = Molenbruch der leichter siedenden Komponente in der Blase. Obige Gleichungen gelten streng nur für ideale Gemische und werden auf den Sonderfall regulärer Gemische mit symmetrischem Verlauf der Mischungswärme ausgedehnt. Durch einen Meßpunkt des Phasengleichgewichts läßt sich bei solchen Gemischen, für welche einige Beispiele aufgeführt werden, die Gleichgewichtskurve nach folgender Formel berechnen:

$$\alpha = \frac{x_D / (1 - x_D)}{x_F / (1 - x_F)} = \alpha_0 \cdot 10^{\beta \cdot (1 - 2x_F)} \quad \dots (3).$$

$x_D$  und  $x_F$  sind die Molenbrüche der leichter siedenden Komponente im Dampf und in der Flüssigkeit,  $\beta$  ist ein Ausdruck für die maximale Mischungswärme. Die Erweiterung dieser Gleichung auf Mehrstoffgemische wurde von Jost kürzlich behandelt<sup>1)</sup>. An Hand der Gleichgewichtskurven von Benzol-Cyclohexan und n-Heptan-Toluol mit und ohne Zusatz von Anilin wird der Einfluß einer dritten Komponente gezeigt, die bei geeigneter Wahl die Trennung ermöglicht oder erleichtert. Auf die Wichtigkeit der Messung von Phasengleichgewichten, Mischungswärmen bzw. Entmischungsdaten und der thermodynamischen Behandlung von Mehrstoffgemischen wird hingewiesen. Arbeiten hierüber werden im physikalisch-chemischen Institut der Universität Marburg durchgeführt.

Diskussion: Klar, Frankfurt: Die von Jost aufgestellten Nomogramme zur Bestimmung von  $\alpha_0$  und  $\alpha$  sind handlich und haben sich zur näherungsweisen Vorausberechnung bewährt. Kirschbaum: Die Anwendung der Formel für das Mindestrücklaufverhältnis muß mit Vorsicht erfolgen, denn bei Gemischen mit Wendepunkt können in gewissen Konzentrationsbereichen Fehler auftreten. Bei der Bestimmung der Gleichgewichtskurven von Äthylalkohol-Wasser im Karlsruher Institut für Apparatebau wurde die Temperatur der Flüssigkeitsoberfläche als Gleichgewichtstemperatur gemessen. Vortr. ließ bei seinen Messungen Flüssigkeits-Dampfgemisch gegen das Thermometer spritzen.

E. KIRSCHBAUM, Karlsruhe: Rektifizierung von Austauschböden.

Es wird eine neue Darstellung des physikalischen Grundvorgangs der Rektifizierung gegeben. Bedingung für diesen ist, daß in einem waagerechten Querschnitt einer Rektifizierkolonne kein Phasengleichgewicht, also eine Gleichgewichtsstörung vorliegt. Diese wird dadurch erzeugt, daß Flüssigkeit und Dampf im Gegenstrom zueinander geführt werden, wobei das Kondensat des Dampfes am Kopfe der Kolonne zum Teil oder ganz den Flüssigkeitsstrom bildet. Aus der Störung des Siedegleichgewichtes zwischen Dampf und Flüssigkeit in einem waagerechten Querschnitt wird abgeleitet, daß der Dampf eine höhere Temperatur hat als die Flüssigkeit. Deshalb geht Wärme von der Stelle hoher Temperatur, also vom Dampf, auf die Stelle niedriger Temperatur und damit in die Flüssigkeit über. An der Berührungsstelle zwischen den beiden Phasen herrscht eine Oberflächentemperatur, durch welche der Gleichgewichtszustand an der Oberfläche festgelegt ist. Zu ihm gehören bestimmte Konzentrationen. Es zeigt sich, daß der Gehalt an Leichtersiedendem an der Oberfläche der Flüssigkeit niedriger ist als im Flüssigkeitskern und der Gehalt an Leichtersiedendem im Dampf an der Berührungsfläche höher ist als

<sup>1)</sup> W. Jost, Naturforsch. 2a [1946].

im Dampfkern. Weil auch die Stoffe stets von der Stelle der höheren Konzentration zu derjenigen niedrigerer Konzentration wandern, bewegt sich der leichter siedende Stoff in der Mischung vom Flüssigkeitskern an die Oberfläche und von dort in den Dampfkern hinein. Er muß deshalb an der Oberfläche verdampft werden. Die Verdampfungswärme für den leichter siedenden Stoff röhrt davon her, daß der schwerer siedende Stoff zum Beispiel eines Zweistoffgemisches aus der angeführten Konzentrationsänderung im Dampf und in der Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung zu dem leichter siedenden Stoff, also vom Dampfkern an die Oberfläche und von der Oberfläche in den Flüssigkeitskern, wandert. An der Berührungsfläche kondensiert also der schwerer siedende Stoff. Dessen Verdampfungswärme wird dazu benutzt, um den leichter siedenden von Flüssigkeit in Dampf zu verwandeln. Damit ist erstmalig und eindeutig der Rektifizierungsvorgang grundsätzlich gedeutet. Mit dieser Grundanschauung können verschiedene, neuartige Berechnungsmethoden aufgestellt werden. Z. B. gelingt es, die Höhe einer Füllkörpergeschicht zu bestimmen oder durch einfache Beziehungen bei der Berechnung der Bodenzahl einer Kolonne die Verschiedenheit der molaren Verdampfungswärmen der zu trennenden Komponenten zu berücksichtigen. Der Vortragende benützte diese neue Erkenntnis, um die auf einem theoretisch arbeitenden Boden auszutauschende Wärmemenge und das für den Austausch zur Verfügung stehende Temperaturgefälle zu bestimmen. Aus diesen beiden Größen läßt sich der Wirkungsgrad eines Bodens vorausberechnen, dessen Verlauf durch Versuche bei dem Gemisch Benzol-Toluol und Äthylalkohol-Wasser als richtig bestätigt ist. Dort wo der Versuch bei fuselöhlhaltigem Aethylalkohol-Wasser-Gemisch kleinere Werte als die theoretische Berechnung ergab, ist die Abweichung dadurch gegeben, daß das fuselöhlhaltige Gemisch im Gegensatz zu dem fuselölfreien Gemisch nicht schäumt. Die Beseitigung des Schäumes führt zu einer Verminderung der Berührungsfläche der beiden Phasen und damit zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades. Wie sich sowohl das schäumende als auch das nichtschäumende Gemisch auf verschiedenartigen Rektifizierböden bewegt, wird von dem Vortragenden an Hand von Filmaufnahmen in normalem Zeitmaß und als Zeitlupenaufnahmen gezeigt. Sowohl die Theorie als der Versuch ergeben, daß bei niederen und bei hohen Alkoholkonzentrationen der Wirkungsgrad sinkt.

**Diskussion:** Stage, Helmstedt, wirft gegen die Annahme turbulenter Grenzschichten ein, daß in Wirklichkeit bei Füllkörperkolonnen die Strömung laminar sei. Kirschbaum bemerkt, daß sich hierdurch kein grundsätzlicher Unterschied ergibt, sondern sich lediglich die Grenzschichtdicke ändert. Fuchs, Konstanz, erwähnt die Anwendung von Saponin als Schaummittel. Er erinnert an die große Wirksamkeit von Essigsäure-Wasser-Trennsäulen, welche mit Holzmehl gefüllt sind und bei welchen der Rücklauf durch das Porenvolumen erfolgt. Kirschbaum und Schumacher, Karlsruhe, führen diese Erscheinung, welche bei Kohlenwasserstoffen nicht auftritt, auf Oberflächenkatalyse zurück. Kirschbaum erklärt ferner, daß der Benetzungsgrad von Füllkörpern vermutlich schlecht und von der Füllkörpergröße abhängig sei. 25-mm-Ringe verhalten sich am besten, was auch ihre Bevorzugung in der Praxis erklärt. Füllkörper mit poröser Oberfläche zeigten bei Alkohol-Wasser keine Vorteile gegenüber glatten Füllkörpern.hausen, Höllriegelskreuth, hat bei der Luftzerlegung ebenfalls eine Minderung des Verstärkungsverhältnisses in Richtung der Blase festgestellt.

W. FISCHER, Duisburg-Meiderich: Eine einfache Methode zur seriennäßigen Bestimmung von theoretischen Bodenzahlen bei beliebigem Rücklaufverhältnis.

Für die Beurteilung von Rektifiziersäulen muß ein Wirkungsmaßstab festgelegt und gezeigt werden, wie er zu ermitteln ist. In diesem Zusammenhang wurde der Wunsch nach einer Normung der Bezeichnungen und Formelzeichen ausgesprochen. Grundsätzlich besteht für die praktische Anwendung zwischen der theoretischen Bodenzahl  $n_t$  und der Transfer-Unit kein Unterschied, weshalb der einfach zu ermittelnde Bodenzahl — wie das auch Kirschbaum getan hat — der Vorzug gegeben wird. In einem Gefällediagramm nach Randall und Longtin lassen sich für binäre Gemische bei gegebener Gleichgewichtskurve für angenommenes Rücklaufverhältnis  $v$  Kurven konstanter theoretischer Bodenzahl  $n_t$  — Vortr. nennt sie Isochenen — konstruieren, die es gestatten, aus beliebigen zusammengehörigen Werten von Blasen- und Kopfkonzentration  $n_t$  graphisch zu ermitteln. Das Rücklaufverhältnis kann im Betrieb nicht genau konstant gehalten werden, weshalb das nach obiger Methode für ein angenommenes  $v$ , welches im Bereich der Betriebswerte liegen soll, bestimmte  $n_t$  korri-

giert werden muß. Dies gelingt in einfacher Weise durch Anwendung der Näherungshyperbel nach Rose<sup>2)</sup>. Aus dem Gefällediagramm wird das Mindestrücklaufverhältnis  $v_{min}$  und aus der für  $v = \infty$  bekannten Kurve für die theoretische Bodenzahl in Abhängigkeit von der Konzentration die Mindestbodenzahl  $n_{min}$  bestimmt.  $v_{min}$  und  $n_{min}$  sind die Asymptoten der Näherungshyperbel. Im Betrieb sind Blasenkonzentration, Kopfkonzentration und Rücklaufverhältnis zu messen, woraus dann von angelernten Kräften  $n_t$  mittels obigen Verfahrens bestimmt werden kann. Eine Säule arbeitet im allgemeinen dann wirtschaftlich, wenn  $(v - v_{min}) \approx (n_t - n_{min})$ .

**Diskussion:** Kirschbaum befürwortet den nochmaligen Versuch einer Einigung über die Bezeichnungen, möglichst unter Hinzuziehung von Fachleuten des Auslandes. Er zieht die theoretische Bodenzahl der Transfer-Unit vor, weil jene unter der nicht zutreffenden Annahme abgeleitet wird, daß der Übergangswiderstand nur in der Dampfphase liegt. Vortr. weist darauf hin, daß man eine Transfer-Unit auch für die Flüssigkeitsseite ableiten kann unter der Annahme eines alleinigen Widerstandes in der flüssigen Phase. Die theoretische Bodenzahl liegt zahlenmäßig zwischen beiden Definitionen der Transfer-Unit; bei Werten von  $n_t > 10$  sind alle drei praktisch gleich. Klar, Frankfurt, spricht sich ebenfalls für die theoretische Bodenzahl aus, weil sie anschaulich und auf die Extraktion übertragbar ist.

Gg. R. SCHULTZE, Hannover: Neue Versuche zur Verbesserung hochwirksamer Laboratoriumskolonnen.

Der Mangel an guten Trennsäulen für Laboratoriumszwecke war gegen Kriegsende so fühlbar geworden, daß ein besonderer Ausschuß von etwa 12—15 Destillationsfachleuten aus Industrie und Hochschule sich die Aufgabe stellte, eine Normalkolonne zu entwickeln, die bei einfacher Bau- und Betriebsweise möglichst allen normalen Ansprüchen an eine Hochleistungskolonne hinsichtlich Belastbarkeit, Trennschärfe, Bruchempfindlichkeit usw. genügen sollte.

Die 816 mm lange Normalkolonne ist eine Füllkörperkolonne mit einer wirksamen Länge von 600 mm und 24 mm lichter Weite<sup>3)</sup>. Zur thermischen Isolierung ist sie von einem versilberten und mit Sichtstreifen versehenen Vakuummantel umgeben, in den die beiden Normalschliffe am unteren und oberen Ende zum Ansetzen der Blasen (0,5, 1 und 4 l) und des totalkondensierenden Aufsatzes mit eingezogen sind. Durch Aufeinandersetzen zweier Kolonenschüsse kann bei doppelter Länge die Trennwirkung nahezu verdoppelt werden (Aufbaukolonne). Die Wirksamkeit der Normalkolonne wurde im Institut für chemische Technologie der Technischen Hochschule Braunschweig und in Parallelversuchen bei der DECHEMA unter den verschiedensten Betriebsbedingungen geprüft. Eine verbesserte, allgemein anwendbare Methode zur Testung von Kolonnen wird mitgeteilt, die zu einheitlichen und reproduzierbaren Ergebnissen führt. Für eine größere Anzahl verschiedenster Füllkörper wurde an dem Gemisch Benzol-Äthylchlorid die Abhängigkeit der Bodenzahl von der Einstellzeit, der Belastung und dem Druckverlust, sowie die Vakuumtüchtigkeit der Normalkolonne untersucht<sup>4)</sup>. Die neu entwickelten Braunschweiger Wendeln, Füllkörper nach Art der Raschigringe, aus enggewickelten V2A-Drahtwendeln von 2 mm Durchmesser und 2 mm Länge, haben bei weitem die höchste Wirksamkeit<sup>2)</sup>. Mit ihnen konnte unter entsprechenden Versuchsbedingungen eine Trennwirkung von rund 50 theoretischen Böden erreicht werden, während alle anderen Füllkörperarten maximal etwa 15 theoretische Böden ergeben. Der Betriebsinhalt (working hold up) der Normalkolonne liegt bei Verwendung von Braunschweiger Wendeln bei etwa 20 cm<sup>3</sup>, so daß eine Mindestcharge von etwa 200 cm<sup>3</sup> erforderlich ist. Die Leistungsgrenze der Normalkolonne liegt bei etwa 3000 cm<sup>3</sup> Rücklauf je Stunde. Die Normalkolonne kann für analytische und präparative Zwecke verwendet werden. Da das Jenaer Glaswerk Schott und Gen. vorläufig als Lieferfirma ausfällt, hat die Firma Arthur Pfeiffer-Wetzlar die Herstellung übernommen.

**Diskussion:** Kirschbaum, Karlsruhe, weist zusammen mit Kolling, Oberhausen, auf die unterschiedlichen Belastungsbereiche der Normalkolonne mit  $\Delta p = 5$  mm WS und der Ruhrchemie-Kolonne mit  $\Delta p = 60$  mm WS hin, die wahrscheinlich durch den an halbtechnischen Kolonnen in Karlsruhe gemessenen charakteristischen Verlauf der Bodenzahlkurve über der Belastung erklärt werden können.

<sup>2)</sup> Rose, Industr. Engng. Chem. 33, 594 [1941].

<sup>3)</sup> Vgl. F. Stage, diese Ztschr. B 19, 215 [1947].

<sup>4)</sup> 2 mm-Prymringe wurden nicht untersucht.

<sup>5)</sup> Vgl. F. Stage, diese Ztschr. B 19, 179 [1947].

**H a a s e**, Marburg, teilt mit, daß in Marburg mit Silberwendeln kleinere Bodenzahlen als mit Glasspiralen erreicht wurden. Wegen der dephlegmierenden Arbeitsweise der betreffenden Kolonne sind direkte Vergleiche mit den Werten vom Vortr. nicht möglich. Da nach den Braunschweiger Messungen Glasspiralen aber nur  $\frac{1}{4}$  der Wirksamkeit von Braunschweiger Wendeln aufweisen, glaubt Vortr., daß die Erklärung entweder in ungenügender Fertigung der Silberwendeln oder in einer Oberflächenwirkung des V2A zu suchen sei.

**F i s c h e r**, Duisburg: In England verwendet man neuerdings anstatt der Vakuumisolierung die Mantelbeheizung.

**T r a m m**, Oberhausen: Automatisch geregelte Mantelbeheizung durch eine puffernde Isolationsschicht hindurch gewährleistet allein die adiabatische Rektifikation.

**H. K O L L I N G**, Oberhausen-Holten: Erfahrungen über neue Rektifizierapparate des Laboratoriums und Betriebes.

Im Hauptlaboratorium der Ruhrchemie AG. wurden Laboratoriumskolonnen entwickelt, welche bei einer Leistung von rd. 1 l Destillat je Tag eine Trennwirkung von 20—40 theoretischen Böden erreichten und mit Mitteln des eigenen Betriebes herzustellen waren.

Es wurden 1 und 2 m hohe Füllkörpersäulen von 30 mm Innendurchmesser für absatzweisen sowie stetigen Betrieb bei Normaldruck und bei Vakuum beschrieben, die sich durch weitgehende selbsttätige Regelung auszeichnen. Die Heizung der Blase wurde vom Druckverlust gesteuert. Das Rücklaufverhältnis, welches größer als 50 sein mußte, konnte durch ein Nadelventil eingestellt werden, bei stetig arbeitender Säule wurde es von der Kopftemperatur gesteuert. Das Vakuum konnte durch ein elektromagnetisches Ventil auf  $\pm 1$  mm Hg konstant gehalten werden. Bei stetigem Betrieb wurde auch die Zulaufmenge vollautomatisch konstant gehalten. Bemerkenswert ist die Isolierung, welche durch doppelten Isoliermantel mit dazwischenliegender elektrischer Heizung erfolgte, wobei der Temperaturunterschied zwischen Kolonnenmittel und innerer Isolierschicht die Heizung steuerte.

Praktische Anwendung fanden diese Laboratoriumskolonnen für präparative Zwecke, nämlich die Zerlegung von Erdölbenzinen verschiedener Herkunft in motorisch hoch- und minderwertige Fraktionen. Die hierbei erzielten günstigen Ergebnisse führten zu halbtechnischen Versuchen in einer Säule von 300 mm Dmr. mit Kittelhorden in 100 mm Abstand. Bei der Dampfgeschwindigkeit von 0,4 m/s trat ein „Aufhängen“ ein, Werte einer anderen Kolonne von 2,5 m Dmr. ergaben eine maximale Geschwindigkeit von 0,9 m/s. Beide Säulen erreichten ein Verstärkungsverhältnis von 0,3. Sie sind sowohl hinsichtlich Leistung als auch Belastungsbereich schlechter als die bekannten Säulenbauarten.

**E. K I R S C H B A U M**, Karlsruhe: Wirkung und Druckverlust von Pilzglockenböden aus Porzellan.

Um auch Glockenböden korrosionsfest zu machen, wurde von dem Vortragenden ein Austauschboden aus Porzellan entwickelt, der sich durch seine werkstoffgerechte Konstruktion auszeichnet. Die Glocken sind auf der Unterseite mit Beschwerungskörpern versehen, welche durch den Dampfhals geführt werden, während die Glocken auf drei zentrierten Tragrippen auf dem oberen Rande des Dampfhalses ruhen. Für den Flüssigkeitsablauf sind zur Brechung des Schaumes ebenfalls vom Vortragenden vor etwa 20 Jahren erstmalig verwendete Ablaufwehre und Ablaufbecher vorgesehen. Die Bewährung dieser Böden wurde durch Messung ihrer Wirkungsgrade, Druckverluste des durchströmenden Dampfes und der Flüssigkeitsinhalte an Kolonnen nachgewiesen. Der Wirkungsgrad eines solchen Bodens ist mindestens gleich demjenigen der üblichen Glockenböden aus Metall, während seine Belastbarkeit beachtlich größer ist, weil die im Dampf mitgerissene Flüssigkeit durch die bewährten Beschwerungskörper ausgeschieden wird. Die neuartigen Pilzglockenböden aus Porzellan wurden bisher mit Durchmessern bis zu 1000 mm durchgeführt und haben sich in der Praxis bewährt.

**H. STAGE**, Helmstedt: Berechnung und Bestimmung von Phasengleichgewichten<sup>a)</sup>.

Apparaturen für die Phasengleichgewichtsbestimmung müssen folgende Bedingungen erfüllen: Kleine Destillatprobe im Verhältnis zur Flüssigkeitsprobe, konstanter Druck während einer Versuchsreihe, schnelle Einstellung des Gleichgewichts und kleine Flüssigkeitsmenge wegen der Schwierigkeit der Beschaffung reiner Stoffe. Es werden die Verfahren von Rosanoff, Othmer, Stage, Jones und Mitarb. sowie Colburn und Mitarbeiter besprochen. Die Ungenauigkeit der experimentellen Methoden ist oft noch recht groß, vor allem die übliche Methode nach Othmer hat manche Nachteile, von welchen die lange Einstellzeit

<sup>a)</sup> Der Vortrag wird demnächst in dieser Zeitschrift veröffentlicht.

am schwersten ins Gewicht fällt. Theoretisch lassen sich nur ideale Gemische restlos erfassen, wofür die verschiedenen Verfahren angedeutet werden. Um so wichtiger sind Prüfungsmethoden für vorhandene Gleichgewichtskurven. Bei Zweistoffgemischen wird am besten der isotherme Dampfdruckverlauf in Abhängigkeit von der Konzentration herangezogen, während die ausführlicher behandelte Prüfungsmethode mit Hilfe der Aktivitätskoeffizienten auch für Mehrstoffgemische anwendbar ist. Unter Aktivitätskoeffizient versteht man den Quotienten aus der Flüchtigkeit der betrachteten Komponente in der Mischung und als reiner Stoff dividiert durch ihren Molenbruch. Der Konzentrationsverlauf der Aktivitätskoeffizienten liefert einige Kriterien für gemessene Phasengleichgewichte, welche z.B. zeigen, daß die von Kirschbaum und Gerstner angegebene Gleichgewichtskurve für Äthylalkohol-Wasser, im Gegensatz zu andern Werten von Grumbt und Baker, richtig sein muß. Die Lage des azeotropischen Punktes kann näherungsweise bestimmt werden und bietet zusammen mit weiteren Anhaltspunkten eine Möglichkeit zur Abschätzung von Phasengleichgewichten.

**D i s k u s s i o n**: **K l a r**, Frankfurt: Die Messungen von Siek beweisen die Brauchbarkeit der Othmer-Apparatur bei genügend kleiner Einstellzeit. Benzol-Dichloräthylen eignet sich wegen der bequemen und genauen Konzentrationsbestimmung am besten als Testgemisch. **L o r e n z**, Ludwigshafen a. Rh.: Die dampfförmige Probeentnahme, wie sie auch von Kirschbaum angewandt wurde, erscheint am günstigsten.

**E. K I R S C H B A U M**, Karlsruhe: Neuartige Füllkörper und ihre Beurteilung.

Der Vorteil der Füllkörper, der darin besteht, daß man sie aus korrosionsfestem Baustoff herstellen kann und daß sie für Vakuumbetrieb sich am besten eignen, führt zur Entwicklung neuartiger Füllkörperperformen. Aus systematischen, zahlreichen Versuchen ergibt sich, daß die neuartigen Füllkörper (Stern, Spule, längsgerillter und quergerillter Ring) die bekannten an Wirkung nicht übertreffen. Auch hinsichtlich des Druckverlustes sind sie als nicht besser zu beurteilen, so daß man sagen kann, daß der altbekannte Raschiring mit einer Abmessung von 25 mm heute der wirtschaftlichste Füllkörper ist. Der Sattelfüllkörper hat bekanntlich bei gleicher Abmessung einen kleineren Druckverlust als der Raschiring und ergibt deshalb eine größere Belastbarkeit. Er hat aber eine geringere mechanische Festigkeit. Unter den erwähnten vier neuartigen Füllkörpern befindet sich die Spule, welche eine Kombination des Raschirings und des Sattelfüllkörpers darstellt, deren Wirkung nicht besser ist als die der genannten beiden letzten Füllkörper, die aber in der Herstellung sehr viel teuer ist als diese.

**D i s k u s s i o n**: Die Frage von Kraussold, Frankfurt, nach der Wirksamkeit von Intosköpfen im Vergleich zu den im Vortrag behandelten wird dahingehend beantwortet, daß 25mm - Intoskörper etwa 35mm - Raschiringen entsprechen.

**F. V. A. E N G E L**, Frankfurt: Neue Forschungsarbeiten in USA über Wärme- und Stoffaustausch.

Die von Karmann<sup>b)</sup> und Sherwood<sup>c)</sup> nach den Grundsätzen von Karmann über den Zusammenhang zwischen Reibung und Wärmeübergang abgeleiteten Formeln zeichnen sich durch große Einfachheit aus und werden nach Ansicht des Vortragenden den physikalisch wahrscheinlichen Zusammenhängen eher gerecht als Potenzfunktionen.

**W. F I S C H E R**, Duisburg-Meiderich: Stetige Destillation des Vielstoffgemisches Steinkohleter<sup>d)</sup>.

Die stetige Destillation von Teer erfolgt ausschließlich im Röhrenofen. Die hierbei wichtige Spontanverdampfungstemperatur in Abhängigkeit von Druck und Ausdampfung läßt sich genau nur experimentell, näherungsweise aus der Engleranalyse bestimmen (nach Piromoor und Beiswenger). Die Betrachtung der relativen Flüchtigkeit zeigt, daß mit Ausnahme weniger Gemischanteile, wie Naphthalin-Phenol und Naphthalin-Kresol, die Trennung mit sinkendem Druck gewöhnlich leichter durchzuführen ist. Es werden Verfahren für die näherungsweise Bestimmung des Temperatur- und Druckverlaufs im Röhrenofen, sowie des Wärmeaufwands für die Destillation im Blasenapparat oder im Röhrenofen beschrieben. Ein Vergleich von Wärmeverbrauch und Temperatur zeigt die Überlegenheit des Röhrenofens. Aufbau- und Betriebsdaten einer neuen Anlage für die Verarbeitung von 12 t/h entwässerten Teers werden erklärt. Die Vorausberechnung konnte durch Betriebsmessungen bestätigt werden.

<sup>b)</sup> K. Karmann, Trans A. S. M. E. 1939, S. 705.

<sup>c)</sup> T. K. Sherwood, Trans Amer. Inst. Chem. Engrs. 817/40 [1940].

<sup>d)</sup> Wiedergabe in Z. Ver. dtsch. Ing. Beiheft Verfahrenstechn. 13/19 [1944].

**Diskussion:** Kirschbaum, Karlsruhe, verweist auf die Ähnlichkeit des Temperaturverlaufs von Röhrenofen und Umlaufverdampfer und fragt nach Verkrustung und damit zusammenhängenden Einzelheiten. Vortr.: Rohrlänge ist > 1000 m und wird mit einer Geschwindigkeit von 0,3 bis 0,5 m/s durchlaufen. Verkrustung tritt an der Stelle höchster Wärmebelastung auf. Rezirkulationspumpen sind bei Steinkohlefeuer wegen des Pechgehalts von rd. 50% nicht erforderlich. Engel, Frankfurt, hält die Druckverlustgleichung nach Blasius hier nicht für geeignet, weil sie nur für glatte Rohre gilt. Schumacher, Karlsruhe, erwähnt, daß in Leuna durch überkritische Erhitzung und anschließende Drosselung die Verkrustung vermieden werden sollte. Die Einführung des Dampfes am Fuß der Kolonnen läßt eine scharfe Trennung nicht zu, da höchstens durch Überhitzung des Teerdampfes noch ein kleiner Teil der Säule dem Abtrieb dienen kann. Kirschbaum erklärt, man lege in der Teerindustrie keinen Wert auf scharfe Trennung.

## II. Wärmeaustauschapparate

Diskussionsleiter Jaroschek, Hannover.

K. Jaroschek gibt einen Abriß der Arbeiten vergangener Jahre, wobei die dimensionslosen Gleichungen, die Berechnung von Wärmedurchgangszahlen und die Richtlinien für Versuche an Verdampfern besonders erwähnt werden. Für die neuaufliegende Entwicklung umreißt er folgende Aufgaben als vordringlich: Wirtschaftliche Erwägungen stehen im Vordergrund, Kapital, Material und Energie müssen gespart werden. Die Schaffung des schon früher geplanten Wärmeatlas sollte energisch betrieben werden, die Frage der Heißdampfkondensation harrt noch der endgültigen Klärung, und der Anschluß an die Arbeiten des Auslandes ist dringend erforderlich. Die im Zusammenhang mit der Atomkraftnutzung zu erwartende neue Entwicklungsrichtung können wir leider nur von ferne betrachten.

H. Kraussold, Frankfurt-Höchst: Dimensionslose Gleichungen zur Berechnung von Wärmeaustauschapparaten.

Die Berechnung von Wärmeaustauschflächen ist für den Ingenieur der Praxis immer noch mit erheblichen Schwierigkeiten verknüpft trotz der großen Fortschritte der Forschung in den letzten zwei Jahrzehnten. Das kommt vor allem daher, daß Zeitschriftenliteratur, Sammelwerke, Spezialbücher und Handbücher die verschiedenartigsten Gleichungen für die gleiche Aufgabe bringen ohne eine Kritik ihrer Genauigkeit und ihres jeweiligen Geltungsbereiches. Dazu kommt, daß ein Teil dieser Gleichungen, nämlich die dimensionslosen Beziehungen der Ähnlichkeitstheorie eine ungewohnte und zunächst nicht anschauliche Form haben. Vortr. hat daher zunächst diese Gleichungsform als besonders zweckmäßig und einfach klarzustellen versucht und anschließend für die wichtigsten Arten des konvektiven Wärmeüberganges die am besten gesicherten Zahlenwerte einschließlich des Gültigkeitsbereichs für die einzelnen Formeln zusammengestellt. Verdampfung und Kondensation werden nur kurz gestreift, da sie besser nicht mit den Mitteln der Ähnlichkeitstheorie behandelt werden.

**Diskussion:** Vor allem wurde über die Zweckmäßigkeit der physikalisch besser begründeten Prandtl'schen Gleichung und ihre Abänderungen gesprochen, der Nusselt'schen aber wegen ihrer Einfachheit allgemein der Vorzug gegeben. Über die Frage, ob die graphische Darstellung besser auf Leitertafeln oder Kurvenblättern erfolgt, bestehen entgegengesetzte Ansichten, doch neigt man allgemein zur zweiten Form.

E. KIRSCHBAUM, Karlsruhe: Wärmedurchgang durch Verdampferrohre aus nichtmetallischen Baustoffen.

Durch systematische Versuche wurde die Wärmedurchgangszahl für zwangsläufigen und für selbsttätigen Umlauf der Flüssigkeit in den Rohren bestimmt. Bei einer Flüssigkeitsgeschwindigkeit von 2 m/s wird beim Porzellanrohr eine Wärmedurchgangszahl von rund 250 kcal/m<sup>2</sup> h°C und beim Graphitrohr von 2400 kcal/m<sup>2</sup> h°C erreicht. Auch die Wärmedurchgangszahl von kondensierendem Dampf an im Rohr siedende und selbsttätig umlaufende Flüssigkeit (Wasser) zeigt ähnlich große Unterschiede für die beiden Baustoffe. Weil beim Porzellanrohr der gesamte Wärmedurchgangswiderstand in der Rohrwand liegt, haben die Siedetemperatur der Flüssigkeit und der Flüssigkeitsstand praktisch keinen Einfluß. Der selbsttätige Umlauf beginnt hier bei einer Siedetemperatur von 100°C erst bei einem Gesamtgefälle von 25° und bei einer Siedetemperatur von 50° erst bei 62°C Gefälle. Die Wärmedurchgangszahl hat einen Wert von rund 250 kcal/m<sup>2</sup> h°C. Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse beim Graphitrohr. Bei einer Siedetemperatur des Wassers von 100°C beginnt der Umlauf bei 7° Temperaturgefälle und bei einer Siedetemperatur von 50°C bei 11°. Im erstgenannten Falle werden bei Gesamtgefällen von

35° C Wärmedurchgangszahlen von 2300 kcal/m<sup>2</sup> h°C erreicht. Im Vakuum sinken diese Werte auf 1700 kcal/m<sup>2</sup> h°C. Mit dem Graphitrohr werden also Wärmedurchgangszahlen erreicht, wie sie sonst nur von Rohren aus Metall bekanntgeworden sind.

**Diskussion:** Gräbmann, Frankfurt, glaubt, daß bei der Fertigung von Graphitrohren hohe Temperaturen Anwendung finden, die eine Rekristallisation hervorrufen. So kann man z. B. bei schlechteitender Steinkohle durch Sintern bei hoher Temperatur eine Kristallisation in Richtung des Diamantgitters erreichen, was die Wärmeleitung sehr steigert. Fuchs, Konstanz, berichtet ebenfalls über den starken Sprung in der elektrischen und in der Wärme-Leitfähigkeit von Holzkohle beim Übergang in Graphit, der sich bei 900° vollzieht. Harnisch, Heidelberg, fragt nach der chemischen Beständigkeit von Graphit, die gegen oxydierende Säuren nicht genügend sein soll. Koelsch, Bitterfeld, teilt mit, daß Graphit als Werkstoff für HCl-Kondensatoren und für gechlorte Alkohole Anwendung fand, während Kienzle, Söllingen, anführt, daß Graphitelektroden gegen Flußsäure und Fluor voll beständig sein können. Über die mechanische Festigkeit kann keine Auskunft gegeben werden. Verkrustungsversuche wurden nicht durchgeführt.

H. KÜHNE, Hannover: Berechnung von Wärmeaustauschern.

Es wird ein Weg gezeigt, wie die erforderliche Größe einer Wärmeaustauschfläche und die beiderseitigen Strömungsquerschnitte berechnet werden können, wenn die dem Praktiker geläufigen Betriebsgrößen gegeben, die Stoffwerte und die für den jeweiligen Fall anzuwendenden Gesetze für Wärmeübergang und Druckverlust bekannt sind. Dabei wird aber nur der Druckverlust durch Wandreibung berücksichtigt. Der Wärmedurchgangswiderstand  $R = \frac{1}{A} \cdot \frac{1}{Q} = R_{\text{ü}}_1 + R_{\text{ü}}_w + R_{\text{ü}}_2$  ist stets bekannt und setzt sich aus den beiden Übergangswiderständen  $R_{\text{ü}}_1$  und  $R_{\text{ü}}_2$  und dem Leitwiderstand  $R_{\text{ü}}_w$  zusammen. Durch Auflösung der Nusselt'schen Gleichung nach dimensionsbehafteten Einzelgrößen, wobei die Geschwindigkeit mit Hilfe des ebenfalls als Potenzfunktion angenommenen Druckverlustgesetzes eliminiert wird, werden diese drei Widerstände in Abhängigkeit der Betriebsgrößen, Stoffwerte, Festwerte und Exponenten der dimensionslosen Ausgangsgleichungen je nach Art und Richtung der Strömung, sowie konstruktiver Gegebenheiten wie Reihenzahl und Umlenkungen bei Rohrregistern dargestellt. Die  $R_{\text{ü}}$ -Werte werden in einem Schaubild über der Fläche als Kurvenscharen in Abhängigkeit eines Parameters aufgetragen, welcher je nach den Strömungsverhältnissen eine bestimmte Funktion der Betriebs- und Stoffwerte ist. Dieses Schaubild gestattet nun, die gesuchte Fläche mit Hilfe von  $R$  schnell zu finden. Etwas einfacher, aber hinsichtlich Aufbau der Formeln ähnlich, wird die Berechnung der Strömungsquerschnitte durchgeführt. Für gegebene Betriebsverhältnisse ist diejenige Oberflächenform am günstigsten, welche die kleinste Fläche benötigt, also den geringsten Wärmeübergangswiderstand  $R_{\text{ü}}$  aufweist. Ein Vergleich verschiedener Oberflächen ist also mittels der Formel für  $R_{\text{ü}}$  möglich, wobei es besonders vorteilhaft ist, daß die Strömungsgeschwindigkeit nicht in Erscheinung tritt<sup>10</sup>). Der Vortragende glaubt, daß die dargelegte Methode für den Ingenieur der Praxis eine Erleichterung der Berechnung von Wärmeaustauschern bei ausreichender Genauigkeit bedeutet und dem Wissenschaftler einen anschaulichen Einblick in die Zusammenhänge zwischen Gesetzmäßigkeiten, Betriebsverhältnissen und Abmessungen bietet.

P. GRASSMANN, Frankfurt: Die Erzielung eines günstigen Wärmeüberganges bei kleinem Druckverlust<sup>11</sup>.

Wesentlich für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmeaustauschers ist in vielen Fällen die Ausnutzung der aufgewendeten Ventilationsleistung im Hinblick auf die Steigerung der Wärmeübergangszahl. Als Maßstab wird eine Gütezahl vorgeschlagen, welche bei konstanter Ventilationsleistung je Flächeneinheit,  $L/F$ , das Verhältnis der  $\alpha$ -Werte des praktischen Wärmeaustauschers und eines glatten Rohres angibt. Ausgehend von der Nusselt'schen Gleichung für den Wärmeübergang und der entsprechenden Gleichung für den Druckverlust findet er für das glatte Rohr  $\alpha_0 = \text{konst} (L/F)^{0,29}$ . Die Konstante ist stoffabhängig und bringt zum Ausdruck, wie günstig ein Stoff für den Wärmeaustausch hinsichtlich des Druckverlustes zu beurteilen ist; so verhalten sich z. B. die Wärmeübergangszahlen bei gleicher Ventilationsarbeit von Wasser und Luft wie 100 zu 1. Der Gütegrad  $G = \alpha/\alpha_0$  wurde für verschiedene Systeme mit weitem Bereich der Durchströmungsmenge und damit des Druckverlustes bestimmt; dabei waren die Druckverluste der Zu-

<sup>10</sup>) Zum Teil werden obige Ausführungen in Technik 2, 127 [1947] behandelt. Ausführliche Wiedergabe demnächst in dieser Zeitschrift.

leitungen einbegriffen. Es ergaben sich Werte von etwa 36% für Bündelrohrapparate, während das „Twisted Tube“ rd. 70% ergab und an Wendelrohrkühlern 60—86% gefunden wurden. Kennt man die Größenordnung der Gütezahl, dann gibt eine bequeme Berechnungsformel den Zusammenhang zwischen den gegebenen Betriebsgrößen, der Ventilationsarbeit und der Austauschfläche und damit die Möglichkeit, die wirtschaftlichsten Abmessungen zu finden. Der Versuch, nicht das glatte Rohr, sondern eine Fläche als Vergleichsmaßstab zu wählen, an welcher der Wärmeübergang ohne laminare Grenzschicht und unter vollständiger Ausnutzung der Ventilationsarbeit zum Wärmetransport erfolgt, und so zu einem Gütegrad zu kommen, der stets  $\leq 1$  sein muß, führt zwar zu einem Ergebnis, doch ist der Vortragende selbst der Ansicht, daß der ursprüngliche Weg der zweckmäßiger ist, weil im zweiten Fall Austauscher für zähe Flüssigkeiten relativ schlechtere Gütegrade ergeben müßten. Wesentlich erscheint ihm jedoch weniger die Frage, welchen Vergleichsmaßstab man wählt, als vielmehr die Tatsache, daß man überhaupt einen solchen festlegt.

**W. LINKE, Aachen:** *Gesichtspunkte für die zweckmäßige Gestaltung von Wärmeaustauschern.*

Bei der Entwicklung von Kühlern mit kleinem Druckverlust und hohen Luftgeschwindigkeiten haben sich folgende Größen als zweckmäßig für die vergleichende rechnerische Behandlung verschiedener Systeme erwiesen: Die Widerstandszahl  $C_k = 2 \cdot \Delta p / \rho \cdot v_k^2$  bei isothermer Strömung bezogen auf die Geschwindigkeit  $v_k$  vor dem Kühler und die Kühlleistung  $q = Q/F_k \cdot \vartheta_e$  oder der Lufterwärmungsgrad  $\eta_{th} = \Delta t / \vartheta_e$ ; dabei bedeuten  $Q$  die übergehende Wärmemenge in kcal/h,  $F_k$  die Stirnfläche in  $m^2$ ,  $\vartheta_e$  die mittlere Temperaturdifferenz zwischen eintretender Luft und gekühlter Flüssigkeit und  $\Delta t$  die Lufterwärmung im System. Es werden Formeln für die Wärmeübergangszahl von Kühlflächen ohne und mit Rippen angegeben für den Fall, daß der Wärmeübergangswiderstand in der Wand und in der Flüssigkeit vernachlässigt werden können. Auch die Korrektur von  $c_k$ , welche infolge der Lufterwärmung notwendig ist, kann bei inkompresibler Strömung recht genau, bei kompressibler Strömung näherungsweise berechnet werden. Praktische Messungen ergaben, daß es zweifelhaft ist, ob man verschiedene Systeme gegenseitig mittels einer Gütezahl richtig beurteilen kann, welche das Verhältnis der wirklichen Wärmeübergangszahl zu der aus dem Druckverlust nach der Gleichung von Reynolds berechneten darstellt<sup>11)</sup>. Diese Gütezahl ist stark kennzahlabhängig. Sie erreicht im Übergangsgebiet von laminarer zu turbulenten Strömung ein Maximum und nimmt erst bei großem Re etwa konstante Werte an. Es wurde noch über den Einfluß der Schräganströmung auf den Druckverlust bei verschiedener Kühlflächenbauart berichtet.

### III. Trockentechnik

Diskussionsleiter von Sybel, Heidenheim/Br.

Von Sybel wies in einer kurzen Begrüßungsansprache auf die augenblickliche und zukünftige große Bedeutung der Trockentechnik besonders für die Ernährung und Landwirtschaft hin, da hier noch große Gebiete ingenieurmäßig erschlossen werden müssen und wertvolle Einsparungen an Nährstoffen und Energie zu gewinnen sind.

**E. KIRSCHBAUM, Karlsruhe:** *Neue Erkenntnisse über den Wärme- und Stoffaustausch bei der Trocknung.*

Für temperaturempfindliches Trockengut ist es wichtig, dessen Temperatur bestimmen zu können. Wie dies möglich ist, zeigt der Vortragende für nichthygroskopisches Gut und für den Fall, daß keine Wärme auf letzteres von heißen Wänden aus einstrahlt. Um dessen Temperatur niederzuhalten, ist jede Einstrahlung grundsätzlich zu vermeiden. Aus einfachen Wärmebilanzgleichungen wird ein Zusammenhang zwischen dem Zustand der Trockenluft und der Temperatur des Gutes hergeleitet. Dieser Zusammenhang ist bedingt durch das Verhältnis zwischen Wärmeübergangs- und Verdunstungszahl. Letzteres wird sowohl für laminare als auch turbulente Strömung abgeleitet und gezeigt, wie es genau, einfach und sicher vorausberechnet werden kann. Für die Bestimmung der Gutstemperatur aus dem Zustand des heißen Gases ist die Anwendung des bekannten Mollierschen *i, x*-Bildes notwendig, ohne das ein moderner Trockentechniker nicht mehr auskommt. Die theoretischen Ergebnisse sind durch ausgedehnte planmäßige und sehr genaue Versuche des Vortragenden als richtig bestätigt, die sich über eine Reihe von Jahren erstrecken. Die Ergebnisse bilden auch den Ausgangspunkt für die Behandlung nichthygroskopischen Gutes.

<sup>11)</sup> Vgl. M. ten Bosch, *Die Wärmeübertragung*, 2. Aufl. S. 99.

Eine lebhafte Diskussion folgt auf dieser Vortrag, dem von Sybel die Klärung alter Streitfragen zuspricht.

Koch, Bingen und Heyser, Emmendingen, erklären die Anwendung einer auf das Teildruckgefälle bezogenen Stoffaustauschzahl als allein zulässig. Bei großen Teildruckgefällen gelten die Potenzgleichungen für Wärme- und Stoffaustausch nicht mehr. Kirschbaum hält dem entgegen, daß die Praxis handliche Gleichungen benötigt und nur nach obigem Verfahren, dessen Ansätze aus dem Fickschen Gesetz abgeleitet sind, die Verwendung des vielseitigen Molierschen *i, x*-Bildes möglich ist. Es ist durch zahlreiche Versuche die genügende Genauigkeit der Nusseltischen Gleichung in weitem Bereich belegt. Kienzle, Söllingen, weist darauf hin, daß die Ansatzgleichung dimensionsgerecht ist, weil die Diffusionszahl mit dem mittleren spez. Gewicht der Luft multipliziert wird.

**F. KIERMEIER, München:** *Chemische Einflüsse beim Trocknen<sup>8)</sup>.*

Im Gegensatz zu der üblichen physikalischen und ingenieurmäßigen Betrachtungsweise wurde versucht, chemische Gesichtspunkte zur Deutung der mannigfaltigen Wirkungen des Trocknens heranzuziehen. Schon die reine Entwässerung hat eine Reihe von Wirkungen zur Folge, die zunächst als physikalische anzusprechen sind, schließlich aber in chemischen enden. Mit dem Wasserentzug ist eine Erhöhung der Konzentration der anderen vorhandenen Stoffe verbunden, die z. B. bei der Konzentrierung der Wasserstoffionen, wie sie vor allem bei Säften beobachtet wird, zur Koagulation von Eiweißstoffen, insbesondere Fermenten, oder zur Hydrolyse von Kohlehydraten führt. Als weitere Wirkung des Wasserentzugs tritt ein unlöslichwerden auf (Eiweißstoffe, Salze), dem durch besondere Schutzstoffe entgegengearbeitet werden kann. Auch die Verschiebung des für das Lebensmittel charakteristischen Aromas durch Abdampfen wichtiger Duftstoffe ist eine Folge des Wasserentzugs. Scheinbar ist dies nur geringfügig, in Wirklichkeit wird jedoch der Geschmack der Lebensmittel unter Umständen grundlegend geändert. Nur bei Lebensmitteln mit großem Aromareichtum (Zwiebeln, Lauch) fällt die Menge der flüchtig gegangenen Aromastoffe zu der der verbliebenen nicht ins Gewicht. Gleichzeitig mit dem Entzug des Wassers finden Moleküleingriffe statt, die zunächst das „chemisch gebundene“ Wasser betreffen. Die Wärmeentwicklung getrockneter Lebensmittel, vor allem stärkehaltiger, beim Zufügen von Wasser liegt hierin begründet. Durch den verdampfenden Wasser wird je nach der Geschwindigkeit des Entzugs die Oberfläche mehr oder minder verändert, was sich in dem verschiedenen Verhalten gegenüber dem Luftsauerstoff bemerkbar macht. Es sei nur an die verschiedene Haltbarkeit der nach dem Walzentrockner oder nach dem Sprühtröcknerverfahren hergestellten Trockenmilch erinnert. Neben diesen primären physikalischen Einflüssen des Trocknens spielen die sekundären physikalischen Einflüsse wie Temperatur, Licht, Luft und Trocknerbeschaffenheit eine gleich wichtige Rolle. Eine Reihe der vorgenannten Wirkungen können durch sie gesteigert werden. Je nach der Fragestellung des betreffenden Industriezweiges können die Effekte unerwünscht oder erwünscht sein (z. B. Quellstärkeindustrie) und je nach der Stärke des Effektes sind mehr oder minder tiefe Eingriffe in den Molekülbau zu erwarten (Melanoidin-, Carambildung). Schließlich bewirkt die Beschaffenheit des Trocknersystems unter Umständen Aufnahme von Metallspuren in das Trockenkugel, die ihrerseits entweder schon während des Trockenprozesses oder bei der späteren Lagerung zu Autoxydationen (Vitamin, Fett) und katalytisch beschleunigten Fermentreaktionen führt.

**R. HEISS, München:** *Technologische Fortschritte auf dem Gebiet der Gemüsetrocknung<sup>9)</sup>.*

Die auch heute noch oft unbefriedigende Qualität von Trockengemüse hat das Münchener Institut für Lebensmittelorschung veranlaßt, die Voraussetzungen zu klären, welche zur Erzeugung markenfähiger Ware erfüllt sein müssen. Auf den Einfluß von Sortenwahl, Reinigung und Zwischenlagerung wird hingewiesen. Das Blanchieren bildet das Kernstück der Verarbeitung. Da vollkommene Abtötung der Fermente in Gemüsen nur durch übermäßige Auslaugung und damit verknüpfter Farb- und Geschmacksänderung zu erkennen ist, muß die optimale Blanchierzeit festgestellt werden. Die Entwicklung einer Testmethode zur Bestimmung der richtigen Blanchierbedingungen steht vor dem Abschluß. Der Einfluß der Trocknerbauart wird häufig überschätzt. Wesentlich ist die Vermeidung ungefüglicher oder übermäßig getrockneter Gutsnester. Die günstigsten Temperaturen sind 55—60°, für Kohlrabi und Rotkohl nur 40°. In modernen Anlagen der USA wird bis 50% Wassergehalt im Gleichstrom, dann bis etwa 10% im Gegenstrom und anschließend im Silo auf 5—9% getrocknet, weil fermentative Veränderungen des Gutes bei der Lagerung durch niedrigen Wassergehalt

halt zurückgedrängt werden. Es ist zu vermuten, daß der Vitamin-C-Gehalt derart getrocknet Gutes beim Lagern nicht abnimmt, doch liegen hierüber nur orientierende Versuche vor. Wie aus vermessenen Sorptionsisothermen ersichtlich ist, steht Gemüse von 6–8% Wassergehalt mit Luft von 20–30% relativer Feuchtigkeit im Gleichgewicht, weshalb eine luftdichte Verpackung unerlässlich ist, die zwecks Materialersparnis in gepreßtem Zustand der Ware und in dampfdichten Einsatzbeuteln erfolgt. Bei der Zubereitung bietet das Quellenlassen vor dem Kochen keinen Vorteil. Bemerkenswert ist, daß der Vitamin-C-Verlust von Frischgut beim Kochen größer ist als der des Trockengutes.

Im Rahmen der Diskussion teilt Vor tr. noch mit, daß die Sorptionsisothermen mit zunehmender Trocknung aufgenommen wurden und eine leichte Hysteresis wegen des veränderlichen Benetzungswiderstandes vorhanden ist. Die Blanchierzeit ist in den USA nur wenig länger als in Deutschland, England und Australien, sie rechnet vom Augenblick des Aufkochens an. Die Blanchiertemperatur liegt zwischen 90 und 100°C. Von Sybel glaubt, daß Dampfblanchieren bei genügender Durchwirbelung erfolgversprechend ist.

*P. GÖRLING, München: Technologische Gesichtspunkte beim Bau und Betrieb von Lebensmitteltrocknern.*

In der Lebensmitteltrocknung bildet neben den üblichen technisch-wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Qualitätshöhe des Erzeugnisses den wesentlichen Faktor für die Lenkung des Trocknungsvorganges und die Ausbildung der Apparate. Auf Grund der Vorgänge im Gutsinnern, Flüssigkeits- und Dampfdiffusion bei gleichzeitiger Gutsschrumpfung und zunehmender Hygroskopizität, ergeben sich folgende Forderungen für die Trocknungsführung: 1. Vorbehandlung zur Erreichung eines grobkapillären Porensystems, 2. Verhinderung vorzeitiger Schrumpfung, 3. Steuerung der Gutstemperatur durch Senken der Lufttemperatur mit fortschreitender Austrocknung, 4. Einstellung eines hohen Dampfdruckgefälles im letzten Abschnitt, 5. Anwendung niedriger Temperaturen zwecks Schonung des Gutes, 6. Kurze Trockenzeiten zur Reduzierung der Vitaminverluste. Trockner müssen also so gebaut sein, daß eine Trocknungsführung nach obigen Richtlinien möglich ist. Die Tatsache, daß im ersten Abschnitt der Trocknung Gleichstrom und im zweiten Abschnitt Gegenstrom vorteilhaft ist, wird in den USA bei Kanaltrocknern teilweise ausgenutzt. Da nach neuen Erkenntnissen die Haltbarkeit von Trockenlebensmitteln i. A. einen niedrigeren Wassergehalt erfordert als bisher üblich gewesen ist, können bei vorhandenen Anlagen Stockungen wegen der starken Belastung des letzten Trockengliedes entstehen. Hier hilft oft die Verlegung eines Teils des letzten Trockenabschnittes in einen Silotrockner. Es werden die Möglichkeit der Strahlungsheizung und die Einflüsse von Luftführung, Hordenbauart, Belebungsstärke und Kontaktwärme gestreift. Mit den heute in der Lebensmitteltechnik verwendeten Apparaten läßt sich bei richtiger Bedienung die erforderliche Qualität meist erreichen. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurde eine Reihe von Horden- und Bandtrocknern, die für die Kohltrocknung eingesetzt waren, miteinander hinsichtlich Grundflächenbedarf, Raumbedarf, Kraftbedarf, Dampfverbrauch, Arbeitsstundenbedarf, Eisenbedarf und Preis, jeweils bezogen auf 1 t Naßgut verglichen. Wesentliche Unterschiede konnten nicht festgestellt werden, wenn auch der Eisenbedarf bei Bandtrocknern höher, der Kraftbedarf bei Kammentrocknern höher zu liegen scheint. Bemerkenswert ist, daß Trockner, welche ein qualitativ gutes Produkt liefern, sich auch durch günstige Kennzahlen auszeichnen. Die Durchschnittswerte werden, umgerechnet auf gleiche Verdampfungsleistung, mit dem Walzen- und dem Sprührohr verglichen, wobei natürlich die günstigen Werte des Walzentrockners augenscheinlich werden, während der Sprührohr nur in bezug auf Grundflächenbedarf und Arbeitsstundenbedarf günstig abschneidet. Hierbei darf aber nicht vergessen werden, daß die Qualitätsanforderungen, welche bei diesem Vergleich nicht berücksichtigt werden konnten, ausschlaggebend sind.

In der Diskussion wird festgestellt, daß der Eisenbedarf auf Grund von Kontingentanforderungen der Lieferfirmen berechnet worden ist. König, Berlin, erklärt, daß die Trocknerbauart in erster Linie durch die Art des Gutes und erst in zweiter Linie durch die Wirtschaftlichkeit bestimmt ist. Der Engpaß in der Fertigung von Drahtgeflecht führt zwangsweise zum Bau von Holzrosthorden. In seinem Institut an der T. H. Berlin laufen Versuche über Hochfrequenztrocknung an.

*P. KRÜGER, Göppingen: Die Trocknung von Gelatine.*

Aus Messungen an 4 Kanaltrocknern, welche mit verschiedenen Luftgeschwindigkeiten, aber sonst hinsichtlich Trockengut (Blattgelatine) und Betriebsart (Frischlufverfahren, ab satzweise Beschickung) unter gleichen Bedingungen arbeiten, wurde festgestellt, daß die mittlere spez. Trockenleistung

$a$  [kg/m<sup>2</sup>h] für eine Charge der einzelnen Trockner eine lineare Funktion der Luftgeschwindigkeit und außerdem der Wärmeübergangszahl  $\alpha$  direkt proportional ist.  $\alpha$  wurde in Abhängigkeit von  $w$ , als Mittelwert nach Formeln von Mollier und Nusselt-Jürgens bestimmt. Aus  $a$  und  $\alpha$  er rechnen sich mittlere Temperaturdifferenzen zwischen Luft und Gut, welche auf hygrokopisches Verhalten des Guts während der Trocknung hinweisen.

Aus dem bekannten Ansatz für den Verdunstungs menstrom

$$\frac{dW}{dz} = \sigma \cdot F \cdot (K - x)$$

und der Stoffbilanz ergibt sich für  $\sigma$ ,  $F$ ,  $V$  und  $S = \text{konst.}$  unter Vernachlässigung der Wasserkonzentration in der Trockenluft und mit  $V = F \cdot S$  die Zeitfunktion der Gutskonzentration

$$K = K_a \cdot e^{-\frac{F \cdot \sigma \cdot z}{V}} \quad \dots (1)$$

Darin bedeuten:  $\sigma$  [m/h] Stoffübergangszahl,  $K$  [kg/m<sup>3</sup>] Wasserkonzentration im Gut,  $F$  [m<sup>3</sup>/h] Guts Oberfläche (Stirnflächen vernachlässigt),  $S$  [m] halbe Blattstärke,  $V$  [m<sup>3</sup>] Gutsvolumen.

Behandelt man den Konzentrationsverlauf als eindimensionales Feuchtigkeitsleitproblem nach dem Ansatz

$$\frac{\partial K}{\partial z} = D \frac{\partial^2 K}{\partial s^2} \quad (\text{entsprechend der Abkühlung einer ebenen Platte}),$$

so erhält man durch Abbrechen der Reihenentwicklung nach dem ersten Glied:

$$K = K_a \cdot \cos \left( \frac{\epsilon \cdot s}{S} \right) \cdot C \cdot e^{-\frac{t^2 \cdot D \cdot z}{S^2}} \quad \dots (2)$$

$\epsilon$  ist hier die erste Wurzel der transzendenten Gleichung  $\epsilon = \operatorname{ctg} \varphi \cdot (h \cdot S)$ , wobei  $h = \sigma/D$  . . . (3)

als relative Stoffübergangszahl bezeichnet wird. Für Werte von  $(h \cdot S) \leq 0,3$ , wie sie praktisch vorkommen, wird:

$$K = K_a \cdot e^{-\frac{(h \cdot S) \cdot D \cdot z}{S^2}} \quad \dots (4)$$

Die Gleichung (1) geht durch Einsetzen von (3) ebenfalls in (4) über. Die nach (4) berechneten Konzentrationskurven in dem Gelatineblatt verlaufen sehr flach. Hieraus schließt der Vortragende, daß die Hygroskopizität nicht aus einem niedrigen Feuchtigkeitsgehalt der äußersten Gutsschicht zu erklären ist. Gl. (1) dient zur Aufstellung eines Arbeitsblatts, das den Zusammenhang aller maßgebenden physikalischen und technischen Größen angibt und die Vorausberechnung von Blattgelatinetrocknungsanlagen ermöglicht. Den erforderlichen Luftbedarf errechnet man ebenfalls mit Hilfe der Exponentialfunktion aus der zulässigen Lufttättigung und der Verweilzeit, welche auch die optimale Länge des Trockenkanals bestimmt.

*VON SYBEL, Heidenheim: Die Trocknung loser Massen, insbesondere aus landwirtschaftlicher Erzeugung.*

Bei der Trocknung loser Massen stellt die Förderung ein Hauptproblem dar, weil mit ihr zusätzliche Wirkungen wie Glätten, Auflockern, Wenden, Mischen, Sichten, verknüpft werden müssen, wie man sie mit Bändern, Schwingböden, Schnecken, Trommeln und pneumatischen Förderungen erreichen kann. So wurde im Schubwender ein neues Förderelement entwickelt, welches der Grünfuttertrocknung dient, aber auch für Textilfasern und Körner aller Art anwendbar ist. An Hand von Lichtbildern gibt der Vortragende einen umfassenden Überblick auf die verschiedenen Bauarten, ihre Vor- und Nachteile. Aufgabenmäßig ist entweder die Nur-Körnertrocknung oder die Erzeugung von Grünkraftfutter zu bewältigen. Erste führt zu Großraumtrocknern mit Fließbetrieb. Die bei diesen immer noch vorhandene Gefahr der Verstopfung ließe sich in nächster Entwicklungsstufe durch den Schubwendetrockner vermeiden, welcher auch bei der Erzeugung von Trockengrünfutter die besten Ergebnisse vorweisen kann. In vollkommener Weise löst er die erforderliche Auflockerung des Gutes zur Verhinderung von Winkel- und Brandgefahr und Erzielung einer gleichmäßigen Trocknung, ohne einen zu großen Abrieb oder gar völlige Auflösung zu bewirken. Nachteile, welche Trommeltrocknern mit engen Einbauten, Schnellumlauftrocknern mit pneumatischer Förderung, Nur-Rieseltrocknern, Elevatortrocknern, Bandtrocknern mit Trommelreißern u. a. teilweise noch anhaften. Dabei weist der Schubwendetrockner gegenüber dem Bandtrockner die doppelte spez. Verdunstungsleistung auf und erfordert gegenüber dem Trommeltrockner nur ein Drittel des Stahlaufwandes. Sein spez. Kraftstoffbedarf nähert sich — wie schon bei der Trommel — einer kaum zu unterbietenden Schwelle, während im spez. Wärmeaufwand allgemein noch die Reserven der Wärmerückgewinnung zu nutzen sind.

VB 501 F. Neumann