

überragende Einfluß von Q/ϑ auf das Verstärkungsverhältnis ist damit von neuem nachgewiesen. Die Q/ϑ -Kurve erreicht einen

Tabelle 2
Bestimmung des Wertes Q/ϑ für das Gemisch Äthylalkohol-Wasser

x_{Fu} Mol-%	3	12	20	30	50	60	70
$x_{Dn} - x_{Dn}[\text{Mol}-\%]$	12,6	19,6	20	16,8	9,9	7,5	5
$\vartheta [^{\circ}\text{C}]$	1,4	6,02	7,05	5,9	2,43	1,36	0,7
$Q/\vartheta [\text{kcal}/^{\circ}\text{C}]$	316	272	272	274	391	530	686

Kleinstwert bei $x_{Fu} = 20$ Mol-%, während die s -Linie bei $x_{Fu} = 40$ Mol-% auf einen Höchstwert steigt. Ausschlaggebend dafür, daß sich die beiden erwähnten Extremwerte nicht bei derselben Konzentration einstellen, sind die bereits für das Gemisch Benzol-Toluol aufgeführten Gründe, nach denen neben dem Wert von Q/ϑ noch andere Einflüsse mitbestimmend sind und daß auf den untersuchten Böden nicht Flüssigkeitsdurchmischung und nicht vollkommener Austausch vorlag. Diese Einflüsse im einzelnen zu klären, soll Gegenstand einer besonderen Untersuchung sein.

Ausschlaggebend dafür, daß sich die beiden erwähnten Extremwerte nicht bei derselben Konzentration einstellen, sind bereits für das Gemisch Benzol-Toluol aufgeführte Gründe, nach denen neben dem Wert von Q/ϑ noch andere Einflüsse mitbestimmend sind. Gerade bei dem vorliegenden Versuchsgemisch war ein besonders stark sich auswirkender Einfluß dadurch vorhanden, daß in dem bei den Versuchen verwendeten „Primasprit“ immer noch Reste von Fuselöl vorhanden waren. Durch die eingebauten Säulenmantel aus Glas konnte sowohl bei Siebböden wie auch bei Glockenböden beobachtet werden, daß auf den unteren Böden der Verstärkungssäule, wo bekanntlich bei den niedrigeren Alkoholkonzentrationen das Fuselöl sich anreichert, das Gemisch die Schaumfähigkeit immer mehr verliert. Die Schaumblasen werden durch Flüssigkeitslamellen ersetzt. Die dadurch eintretende Verkleinerung der Berührungsfläche der beiden Phasen, mit der auch eine Veränderung der Austauschzahlen verbunden ist, hat eine

Erniedrigung des Verstärkungsverhältnisses zur Folge. Damit kann erklärt werden, daß das Verstärkungsverhältnis in dem Bereich von $x_{Fu} = 10$ bis 30 Mol-% kleiner ist, als es das Spiegelbild zur Q/ϑ -Linie erwarten läßt.

Die Richtigkeit dieser Erklärung beweisen Versuchsergebnisse amerikanischer Forscher⁵⁾. Erstere sind durch die gestrichelt gezeichnete Linie in Bild 3 dargestellt, welche die Abhängigkeit des Verstärkungsverhältnisses s von der Bodenablaufkonzentration des verwendeten Alkohol-Wassergemisches bei Rücklaufverhältnissen von $v = 1$ und $v = 2$ wiedergibt. Die gestrichelt gezeichnete Linie läßt nicht nur die Erhöhung von s durch das Schäumen erkennen, sondern sie weist auch bei $x_{Fu} = 5$ Mol-% wie die Q/ϑ -Linie eine starke Krümmung auf. Gerade diese Tatsache dürfte ein zusätzlicher Beweis für den Zusammenhang zwischen s und Q/ϑ sein.

Zusammenfassung

Für den Fall der theoretischen Anreicherung eines Rektifizierbodens wird nachgewiesen, daß eine ganz bestimmte Wärmemenge Q zwischen Flüssigkeit und Dampf ausgetauscht werden muß, zu deren Übertragung zwischen den beiden Phasen ein durch den Verlauf der Siede- und Taulinie gegebenes Temperaturgefälle ϑ zur Verfügung steht. Beide Werte sind von der Bodenablaufkonzentration x_F abhängig. Eine Überlegung führt zu der Erkenntnis, daß hohe Werte von Q/ϑ ein Absinken der Bodenwirkung zur Folge haben und umgekehrt. Grundsätzlich wird dieser Zusammenhang durch einen Vergleich von berechneten Q/ϑ -Werten mit gemessenen Verstärkungsverhältnissen s von Rektifizierböden als richtig bestätigt. Nur bei mittleren Gehalten an Leichtsiedendem in der Bodenablaufflüssigkeit ergeben sich begrenzte Abweichungen von dem erwähnten Zusammenhang zwischen Q/ϑ und s , wofür beigeordnete Einflüsse als mitwirkend angeführt werden.

Eing g. 16. Juni 1948 [B 66]

⁵⁾ L. Byman u. D. B. Keyes, Plate Efficiency Study in Ethyl Alcohol Distillation Chem. metallurg. Engng. 85/87 [1941].

Bau- und Wirkungsweise von Schwebstoff-Filtern

Von Dr. rer. nat. RICHARD WEBER, z. Zt. Dickschied ü. Bad Schwalbach (Taunus)*)

Der Wirkungsgrad von Schwebstoff-Filtern, die nur aus Zellstoff-Fasern bzw. Baumwoll-Linters bestehen, ist unzureichend. Die Herstellung hochwirksamer Filter gelingt erst mit Hilfe von Zusatzstoffen, die sich durch eine besonders hohe schwebstoffabscheidende Wirkung auszeichnen. Lange Zeit wurde zu diesem Zwecke zerfaserter Asbest mit Erfolg verarbeitet. Infolge der Asbestverknappung mußte nach Asbestaustauschstoffen gesucht werden, wobei der Kunststoff Polystyrol als Zusatzstoff gute schwebstoffabscheidende Wirkungen aufweist.

In Schleifereien, Mühlen und in Betrieben der chemischen Industrie treten mitunter sehr feintilige und daher gefährliche Staube und Nebel auf, deren Beseitigung aus der Atemluft oft große Schwierigkeiten bereitet. Die im allgemeinen gebräuchlichen Schwebstoff-Filter sind meist sehr einfach gebaut und bestehen aus Haarfilschichten oder irgendwelchen anderen Faser-, beispielsweise Watteschichten. Wie die vorliegende Untersuchung ergeben hat, sind aber solche Faserschichten nicht imstande, die gefährlichen feinsten Schwebstoffanteile zurückzuhalten. Hierdurch wurde die Entwicklung hochwirksamer Schwebstoff-Filter notwendig, auf die im folgenden näher eingegangen wird.

Bei der Filtration von Aerosolen mit Hilfe von Faserküchen¹⁾ (Höhe = 3,5 cm, Durchmesser = 13 cm) aus Baumwoll-Linters bzw. Zellstoff-Fasern wurde gefunden, daß der Wirkungsgrad des genannten Fasermaterials begrenzt ist, welchen mechanischen Bearbeitungen es auch immer unterworfen wird. Die subjektive

Prüfung der aus solchen Fasersorten hergestellten Filter gegen einen Diphenylcyanarsin-Nebel als Test-Aerosol ergibt, daß die Filter sofort durchschlagen werden, also unbrauchbar sind, obwohl im objektiven Prüfverfahren gegen einen verhältnismäßig feintiligen Ölnebel²⁾ mit hoher Massenkonzentration (4 g Öl/m³) etwa 93% der Masse dieses Nebels abgefangen werden. Das entspricht einer Massenkonzentration der durch diese Filter getretenen Nebelteilchen von etwa 280 mg Öl/m³. Bei einem Luftdurchtritt von 25 l/min betrug die Druckdifferenz an allen Filtern 15 mm WS, wobei etwa gleiche Fasermengen je Filter verbraucht wurden.

Die Massenkonzentration des Prüf-Ölnebels war absichtlich hoch gewählt worden, um eine möglichst kritische Bewertung der Filter zu erreichen. Praktisch kommen solch hohe Massenkonzentrationen nicht vor, und bei der subjektiven Prüfung der Filter betrug die Massenkonzentration des Test-Aerosols etwa 120 mg/m³. Empirisch wurde an Hand zahlreicher Prüfungen gefunden, daß Filter, die im objektiven Prüfverfahren eine Nebelmenge < 2,5

* Die Versuche zu dieser Arbeit wurden im Laboratorium der Auer-Gesellschaft, Werk Oeranienburg b. Berlin, durchgeführt.

¹⁾ Ob. d. H. r. die Herstellung der Faserküchen finden sich Angaben bei R. Weber, Z. Naturforsch. z, 217 [1946].

²⁾ D. r. Ölnebel wurde mit Hilfe eines Regener-Zerstäubers mit Spirale erzeugt; Literatur: H. Freundlich: Kapillarchemie II. Band, S. 787, 1932.

mg Öl/m³ durchließen, das sind 0,06% der Massenkonzentration des Prüfnebels, absolut hochleistend und damit für die Praxis geeignet waren.

Die Entwicklung der für die Praxis geeigneten Schwebstoff-Filter ist dadurch gekennzeichnet, daß nur geringe Mengen an Stoffen, die bezüglich ihrer schwebstoffabscheidenden Wirkung besonders ausgezeichnet sind, dem Fasermaterial, wie Baumwoll-Linters oder Zellstoff-Fasern beigemischt werden. Lange Zeit enthielten hochleistende Schwebstoff-Filter Faserkuchen, die aus einer Mischung von Baumwoll-Linters oder Zellstoff-Fasern und nur geringen Mengen weitestgehend aufgearbeitetem Asbest bestanden. Letzterer lag in dem Filtermaterial in Form dünner Fäserchen von 0,1 bis 1 μ Dicke vor. Die Wirkungsweise dieser Asbestfäserchen beruht sehr wahrscheinlich auf einem mechanischen Auffangen der Aerosolteilchen.

Infolge der bei uns im Verlaufe des letzten Krieges immer fühlbarer werdenden Asbestverknappung mußte nach Asbest-austauschstoffen für die Schwebstoff-Filterfabrikation gesucht werden. Da bekannt war, daß alle durch gute elektrische Isolereigenschaften ausgezeichneten Stoffe, wie beispielsweise Bernstein, Federn und Röhrhaar, eine gewisse schwebstoffabscheidende Wirkung aufweisen³⁾, wurden auch Versuche mit hochpolymeren organischen Kunststoffen, die als gute Isolatoren bekannt sind, in die Wege geleitet. Insbesondere wurden die beiden Kunststoffe Polyvinylcarbazol (Luvican) und Polystyrol (Trolitul) sowohl in Form von faserförmigem Material als auch in Form von Dispersionen auf ihre schwebstoffabscheidende Wirkung geprüft. Hierbei wurde gefunden, daß vor allem durch Faserkuchen, die aus mittels Polystyrol-Dispersion⁴⁾ imprägnierten Baumwoll-Linters bzw. Zellstoff-Fasern bestanden, der Prüfnebel so vollständig abgefangen wurde, daß die Massenkonzentration der die Filter durchschlagenden Teilchen unter den Wert von 0,2 mg Öl/m³, das sind 0,005% der Massenkonzentration des Prüfnebels, zu liegen kam⁵⁾. Aber auch mit Polyvinylcarbazol als schwebstoffabscheidend wirkendem Zusatzstoff, konnten hochwirksame Schwebstoff-Filter hergestellt werden.

Besonders bemerkenswert ist die Unempfindlichkeit gegen Feuchtigkeitseinflüsse der mit Polystyrol imprägnierten Filter. Selbst durch eine erhebliche Beladung mit Wasserdampf büßen die Filter kaum etwas von ihrem Wirkungsgrad ein. Auch A. Flammersfeld hat bei mit Hilfe von Polystyrol angestellten elektrostatischen Versuchen festgestellt, daß Feuchtigkeit, der Feind aller elektrostatischen Versuche, ohne Einfluß ist⁶⁾. Weiterhin verdienen noch die Leistungsbeständigkeit der Filter beim Lagern und die wasserabstoßende Wirkung polystyrol-imprägnierten Filtermaterials besondere Erwähnung.

Es ist als sehr wahrscheinlich anzusehen, daß für den Abscheidungseffekt an Filtern aus reinen Zellstoff-Fasern bzw. Baumwoll-Linters gegenüber dem Prüfnebel (hierbei werden etwa 93% der Masse des Nebels abgefangen) die von H. Witzmann⁷⁾ entwickelten Vorstellungen angewandt werden können, nach denen die Abscheidung der Teilchen durch Aufprall und Ausschleuderung, also mechanisch bewirkt wird, während für die Abscheidung des nur schwer filtrierbaren Restnebels, der offenbar mechanisch nicht so leicht zu entfernen ist, ein durch die Kunststoffe bewirkter elektrischer Effekt⁸⁾ angenommen werden muß. Da die mechanische Abscheidung gleichzeitig eine Sichtung des Nebels zugunsten der kleineren Teilchen zur Folge hat, würde demnach der Restnebel von 7% vor allem diese schwer filtrierbaren kleinen Teilchen enthalten. Man ersieht aus diesen Verhältnissen, daß den schwebstoffabscheidend wirkenden Zusatzstoffen die Aufgabe zufällt, die besonders schwer filtrierbaren Schwebstoffanteile niederzuschlagen. G. Stampe⁸⁾ hat mit Hilfe eines Regener-Zerstäubers mit Spirale⁹⁾ Paraffinölnebel erzeugt und die Teilchengrößen nach

³⁾ Franz. Patent Nr. 742425 (Gr. 19 — Cl. 4).

⁴⁾ Die Polystyrol-Dispersion wurde von der I.G. Farbenindustrie A.-G. fertig geliefert. Sie enthielt 30% Trockensubstanz (Polystyrol) und war gut haltbar. Zum imprägnieren des Fasermaterials wurde die Dispersion mit Leitungswasser verdünnt. Brauchbare Filter wurden noch bei Verwendung einer 0,6%igen Imprägnierflotte erhalten.

⁵⁾ R. Weber, Z. Naturforsch. 1, 218 [1946]; vgl. hierzu auch die deutschen Patentanmeldungen des Verf. A 96767 IV b/61b vom 10. 11. 1942 und A 97394 IV b/61b vom 5. 2. 1943.

⁶⁾ A. Flammersfeld, Kunststoff-Technik 13, 71 [1943].

⁷⁾ H. Witzmann, Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. 46, 313 [1940].

⁸⁾ G. Stampe, Z. Instrumentenkde. 52, 400 [1931].

einer von Wells und Gerke¹⁰⁾ angegebenen Methode bestimmt. Hierbei ergaben sich Teilchendurchmesser von

minimal $1,42 \times 10^{-5}$ cm,
maximal $4,05 \times 10^{-5}$ cm und
am häufigsten $3,29 \times 10^{-5}$ cm.

Die besonders schwer filtrierbaren Schwebstoffanteile dürften somit vor allem Teilchen mit Durchmessern nahe bei 1×10^{-5} cm enthalten.

Der elektrische Effekt kann in der Weise erklärt werden, daß beim Strömen von aerosolhaltiger Luft durch das Filter eine Aufladung der miteinander verfilzten kunststoff-imprägnierten Schwebstoff-Filterfasern stattfindet und sich sodann in der Umgebung der Oberflächen und spitzen Enden der Filterfäserchen inhomogene elektrische Felder ausbilden. Aerosolteilchen, die sich in solchen Feldern befinden, sind aber, ganz gleich ob es sich um geladene oder ungeladene Teilchen handelt, Kraftwirkungen ausgesetzt¹⁰⁾.

An ungeladenen Teilchen kommen die Kraftwirkungen dadurch zustande, daß solche Teilchen durch Influenz zu elektrischen Dipolen werden und die Feldstärke am Ort ihrer positiven und negativen Ladung verschieden ist. Hieraus resultiert eine Bewegung der Schwebeteilchen in Richtung auf die größere Feldstärke. Wir nehmen an, daß sich die als elektrische Dipole zu betrachtenden Schwebeteilchen mit ihrer elektrischen Achse l bereits in die Feldrichtung eingestellt haben und die Stärke des Feldes in der positiven Feldrichtung zunehme. Falls E der Betrag der Feldstärke am Orte der negativen Dipolladung $-e$ ist, hat am Orte der Dipolladung $+e$ die Feldstärke den Betrag $E + \frac{dE}{dx}$. Die Resultierende dieser beiden in entgegengesetzter Richtung wirkenden Kräfte liegt in Feldrichtung und hat den Betrag:

$$K = +e(E + \frac{dE}{dx}) - eE = e \cdot \frac{dE}{dx} [\text{dyn}] \quad (1)$$

Aus Gleichung (1) ist zu ersehen, daß die Kraftwirkungen auf Schwebeteilchen mit langgestreckter bzw. kettenförmiger Struktur in inhomogenen elektrischen Feldern im allgemeinen größer sein werden als beispielsweise auf runde, da dann der Abstand l der beiden Ladungen $+e$ und $-e$ und damit das elektrische Moment $M = e \cdot l$ größer werden. Tatsächlich wird diesem Faktor praktisch eine gewisse Bedeutung beizumessen sein, da bei der Aggregation von staubförmigen Schwebeteilchen in elektrischen Feldern dieselben sich bevorzugt zu Ketten aneinanderlagern¹¹⁾. Auch andere Einflüsse bewirken, daß die Teilchen aus kettenförmig aneinandergelagerten Primärteilchen bestehen¹²⁾ und in dieser Form in das Schwebstoff-Filter gelangen. Weiterhin geht aus der Gleichung (1) hervor, daß für die auf Schwebeteilchen wirkenden Kräfte nicht die Feldstärke selbst, sondern ihr Differentialquotient maßgebend ist. Es kommt also lediglich darauf an, möglichst inhomogene Felder zu erzeugen, eine Bedingung, die im Schwebstoff-Filter in äußerst weitgehendem Maße als erfüllt angesehen werden kann.

Um die Geschwindigkeit der Bewegung kennen zu lernen, welche die Schwebeteilchen unter der Wirkung der beschriebenen Kräfte im Filter annehmen, muß die Reibungskraft berücksichtigt werden, welche durch das schwebstoffführende Gas auf die Teilchen ausgeübt wird. Sie ist für kugelige Teilchen durch das Stokesche Gesetz gegeben, bei dem aber für die hier zu betrachtenden kugeligen Teilchen mit Radien zwischen 10^{-4} bis 10^{-5} cm noch ein von Cunningham eingeführtes Korrekturglied berücksichtigt werden muß. Für die Reibungskraft K' ergibt sich dann der Wert:

$$K' = \frac{6\pi\eta rv}{(1 + \frac{A\lambda}{r})} \quad (2)$$

In dieser Gleichung bedeuten η den spezifischen Reibungswiderstand, r den Teilchenradius, v die Geschwindigkeit der Teilchen, A eine Konstante und λ die mittlere freie Weglänge.

Die Gleichsetzung von K und K' liefert die Geschwindigkeit kugeliger Teilchen zu

$$v = \frac{e \cdot l \cdot \frac{dE}{dx}}{6\pi\eta r} (1 + \frac{A\lambda}{r}) \quad (3)$$

Eintrag. am 15. Juni 1947. [B 74]

¹⁰⁾ Wells u. Gerke, J. Amer. Chem. Soc. 41, 312 [1919].

¹¹⁾ Ultramikroskopische Beobachtungen ergaben, daß der Prüfnebel nur sehr wenig geladene Teilchen (etwa 5%) enthält. — Es wäre interessant zu untersuchen, wie sich die Filter gegenüber Aerosolen mit radioaktiven Teilchen verhalten.

¹²⁾ D. Beischer, Z. Ver. dtsch. Ing., B-Ing. Verfahrenstechn., S. 90 [1937].

¹³⁾ D. Beischer u. A. Winkel, Naturwiss. 25, 420 [1937]; Z. physik. Chem. (Abt. A) 176, 1 [1936].