

# Instantisieren pulverförmiger Lebensmittel\*

Helmar Schubert\*\*

Das Instantisieren pulverförmiger Stoffe ist eine spezielle technische Behandlung mit dem Zweck, ein schnelleres Lösen bzw. Dispergieren von Partikeln in Flüssigkeit zu erreichen. In dieser Übersicht werden die wichtigsten Verfahren zum Instantisieren von Lebensmitteln vorgestellt, ihre Vor- und Nachteile gegenübergestellt und an Beispielen diskutiert. Beim Instantisieren von Lebensmitteln ist zu beachten, daß Zusatzstoffe zur Verbesserung der Benetzbarkeit nur in beschränktem Umfang oder gar nicht verwendet werden dürfen und vielfach Aromakomponenten enthalten sind, die möglichst unverändert im Produkt verbleiben sollen. Entwicklungen, die diesen Forderungen Rechnung tragen, werden gezeigt. Durch das Instantisieren sollen Produkteigenschaften – die man unter dem Begriff Instanteigenschaften zusammenfaßt – verbessert werden. Die Methoden zur Messung der Instanteigenschaften werden dargelegt und eine Schnellmethode vorgestellt. Je nach Fragestellung müssen unterschiedliche Meßmethoden herangezogen werden. Zur Beurteilung eines Instantproduktes ist eine Gesamteigenschaft zweckmäßig, die sich aus den einzelnen Teileigenschaften wie Benetzbarkeit, Dispergierbarkeit und Löslichkeitsvermögen zusammensetzt. Soll ein Instantisierverfahren beurteilt oder verbessert werden, so sind auch Teileigenschaften von Interesse. Aufgrund der bis heute verfügbaren Meßergebnisse von Instanteigenschaften sowie einer einfachen Theorie lassen sich Hinweise über die günstigste Agglomeratgröße und Porosität geben. Die besonderen Schwierigkeiten, stark quellfähige Lebensmittel zu instantisieren und ihre Instanteigenschaften zu bestimmen, werden abschließend diskutiert.

**Instantisation of powdered foods.** Instantisation of powdered substances is a form of special technical treatment designed to make the particles dissolve or disperse faster in liquid than the untreated product. This article presents the principal processes for instantising foods, compares their advantages and disadvantages, and discusses them with the aid of examples. In this instantisation of foods it is important to note that additives for improving wettability are used only in limited quantities or not at all, and that aroma components are frequently present which should be preserved unchanged in the product as far as possible. Developments accounting for these demands are shown. Instantising is intended to improve properties which are grouped together as instant properties. Methods used for measuring instant properties are shown and fast method is presented. Depending upon the question raised, it may be necessary to employ different measuring methods. An overall property is appropriate for assessing an instant product; such a criterion can be made up of individual properties such as wettability, dispersibility, and solubility. If an instantisation process is to be assessed or improved, then the individual properties are of interest. Results obtained so far and a simple theory provide information about the most favourable agglomeration size and porosity. The paper concludes with a discussion of the special difficulties encountered in the instantisation of strongly swelling foods and in the determination of their instant properties.

## 1 Einleitung

Vor dem Gebrauch werden pulverförmige Lebensmittel im allgemeinen in Wasser oder einer wäßrigen Flüssigkeit dispergiert bzw. gelöst. Wegen seiner hohen Oberflächenspannung benetzt Wasser sehr feine Pulver nur schlecht. Zur Verbesserung der Benetzbarkeit bzw. für ein schnelleres Dispergieren und Lösen werden derartige Pulver vielfach instantisiert, d.h. einer speziellen technischen Behandlung unterworfen. Das Instantisieren dient also der Qualitätsverbesserung. Vielfach sollen durch das Instantisieren auch noch weitere Eigenschaften wie die Rieselfähigkeit und die Dosierbarkeit verbessert werden, dagegen dürfen Eigenschaften wie die sensorische und ernährungsphysiologische Qualität nicht nachteilig beeinflusst werden.

Neben Lebensmitteln werden auch viele andere Pulver wie einige Pharmazeutika, Farben und Düngemittel instantisiert, um eine höhere Qualität dieser Stoffe anbieten zu können. Auch wenn die im Rahmen dieser Arbeit zusammengestellten Grundlagen und Prinzipien des Instantisierens weitgehend stoffunabhängig und damit allgemein anwendbar sind, beschränkt sich die hier dargestellte Anwendung auf Lebensmittel. Der Grund hierfür liegt darin, daß je nach den speziellen Anforderungen besondere Stoffeigenschaften verbessert werden sollen. Beispielsweise ist beim Dispergieren instantisierter Farbpulver die Partikelgrößenverteilung der suspendierten Farbstoffe entscheidend, was bei Lebensmitteln meist keine Rolle spielt. Daher unterscheiden sich die Herstellverfahren und vor allem die Meßmethoden zur Beurteilung der Instanteigenschaften für diese zwei Stoffgruppen erheblich.

Trotz des Fortschritts in den letzten Jahren ist – wie fast in der gesamten Feststoff-Verfahrenstechnik – eine zuverlässige Auslegung von Instantisierverfahren und eine zufriedenstellende Vorausberechnung von Instanteigenschaften bis heute im allgemeinen nicht möglich. Besondere Schwierigkeiten – auch im Hinblick auf die Meßtechnik – treten bei stark quellfähigen Produkten auf. Dennoch sollten die im folgenden zusammengestellten Ergebnisse nützlich sein und helfen, die Zahl der bis heute nicht vermeidbaren

\* Vortrag auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 27. bis 29. Sept. 1989 in Berlin.

\*\* Prof. Dr.-Ing. habil. H. Schubert, Institut für Verfahrenstechnik der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Engesserstr. 20, 7500 Karlsruhe, und Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik der Universität Karlsruhe, Kaiserstr. 12, 7500 Karlsruhe.

Experimente einzuschränken und Tendenzen zu erkennen. Insbesondere soll der hier dargestellte wissenschaftliche und praktische Kenntnisstand über Wege und Möglichkeiten informieren, wie man Instanteigenschaften in der gewünschten Weise beeinflussen kann.

## 2 Anforderungen an Instantprodukte und Möglichkeiten ihrer Beeinflussbarkeit

Schüttet man ein Pulver auf die Oberfläche einer Flüssigkeit, so laufen folgende Vorgänge ab [1]:

- Eindringen von Flüssigkeit in das Porensystem aufgrund von Kapillarität (das Eindringvermögen wird auch als Benetzbarkeit bezeichnet);
- Absinken der Partikeln oder Teilbereiche der Schüttung in die Flüssigkeit (Untersinkvermögen);
- Dispergieren des Pulvers in der Flüssigkeit (Dispergierbarkeit);
- Lösen der Partikeln in der Flüssigkeit, falls es sich um lösliche Stoffe handelt (Lösbarkeit).

Die Eigenschaften, die mit diesen 4 Teilvorgängen verknüpft sind, werden unter dem Begriff Instanteigenschaften zusammengefaßt [2]. Die Teilvorgänge a) bis d) laufen in der angegebenen Reihenfolge ab, wobei teilweise auch eine zeitliche Überlagerung stattfindet. Sollen Schüttgüter gute Instanteigenschaften besitzen, so muß der Gesamtvorgang bei einer Schütthöhe von 10 mm in wenigen Sekunden zufriedenstellend ablaufen. Es ist zweckmäßig, die 4 Teilschritte im folgenden getrennt zu betrachten, da sie nach unterschiedlichen physikalischen Gesetzen ablaufen und auf verschiedene Weise beeinflußt werden können. Zur Verbesserung der Instanteigenschaften eines Produkts muß in einem Prozeß derart eingegriffen werden, daß der zeitbestimmende, also langsamste Teilvorgang beschleunigt wird.

Neben den Instanteigenschaften sollen mit dem gleichen Verfahren möglichst auch weitere Eigenschaften eingestellt bzw. verbessert werden. Hierzu zählen eine bessere Rieselfähigkeit und Dosierbarkeit, ein kontrolliertes Schüttgutgewicht, eine Vermeidung von Entmischungen und Staubentwicklung sowie Farbe und Form der Partikeln.

### 2.1 Benetzbarkeit

Vielfach ist der Befeuchtungsvorgang zeitbestimmend. Er läßt sich anhand einfacher Modelle beschreiben (Abb. 1).

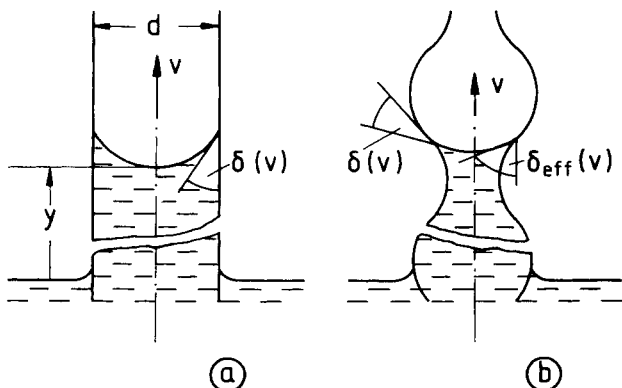


Abb. 1. Modelle zur kapillaren Befeuchtung; a) zylindrische Kapillare mit gleichbleibendem Querschnitt, b) Kapillare mit wechselndem Querschnitt.

Die Flüssigkeit wird durch den Kapillardruck (Modell a, zylindrische Kapillare)

$$p_k = \frac{4 \gamma_L}{d} \cos \delta(v) \quad (1)$$

eingesaugt ( $\gamma_L$  = Oberflächenspannung der Flüssigkeit;  $d$  = Kapillardurchmesser;  $\delta$  = Randwinkel, abhängig von der Geschwindigkeit  $v$  des aufsteigenden Flüssigkeitsmeniskus). Dem entgegen steht der Druckverlust

$$p_w = \frac{32 \eta_L y v}{d^2} \quad (2)$$

bei laminarer Strömung ( $\eta_L$  = dynamische Viskosität der Flüssigkeit;  $y$  = Lauflänge). Aus  $p_k = p_w$  und mit der Vereinfachung  $\delta(v) = \delta = \text{konst.}$  erhält man die Geschwindigkeit der aufsteigenden Flüssigkeitsfront

$$v = \frac{y_L d}{8 \eta_L y} \cos \delta \quad (3)$$

Überträgt man dieses sehr einfache Modell auf eine Schüttung, so erkennt man, daß eine schnelle Befeuchtung durch große Partikeln (die entsprechend große Poren bilden), eine hohe Porosität (allerdings darf die kritische Porosität  $\epsilon_{\text{krit}}$  nicht überschritten werden [3]) und eine gute Benetzbarkeit (Randwinkel  $\delta$  möglichst klein) begünstigt wird. Dies bedeutet, daß man durch Herstellen lockerer Agglomerate, denen man zur Verbesserung der Benetzbarkeit auch noch grenzflächenaktive Stoffe zufügen kann, ein schnelleres Eindringen von Flüssigkeit erhält als bei Schüttungen aus feinem Pulver. Um der realen Porenstruktur eines Haufwerkes näher zu kommen, läßt sich das sehr einfache Modell verfeinern (Abb. 1, Modell b) und der effektive Randwinkel  $\delta_{\text{eff}}$  einführen, der – übertragen auf Haufwerke – auch den Formeinfluß der Partikeln berücksichtigt.  $\delta_{\text{eff}}$  ist der fiktive Randwinkel, der sich beim gleichen Flüssigkeitsmeniskus an einer zylindrischen Pore mit einem kreisförmigen, gleichbleibenden Querschnitt einstellen würde. Für den hier betrachteten Fall der Befeuchtung ist stets  $\delta_{\text{eff}} > \delta$ .

Die Modelle geben zwar Tendenzen zutreffend wieder, tatsächlich ist jedoch das Eindringen von Flüssigkeit in ein poröses System wesentlich komplizierter zu beschreiben [4, 5]. Lediglich für den Sonderfall einer scharfen Flüssigkeitsfront und Vernachlässigung von dynamischen Effekten ( $p_k = \text{konst.}$ ) sowie des Schwereinflusses kann die Eindringgeschwindigkeit unmittelbar aus der Darcy-Gleichung.

$$v = \frac{B}{\eta_L} \frac{p_k}{y} \quad (4)$$

ermittelt werden (vgl. [6]). Mit der Durchlässigkeit nach Carman-Kozeny [7]<sup>1)</sup>

$$B = \frac{a_1 \epsilon^3 x^2}{(1 - \epsilon)^2} \quad (5)$$

und dem Kapillardruck [9]

$$p_k = \frac{a_2 (1 - \epsilon) \gamma_L \cos \delta_{\text{eff}}}{\epsilon x} \quad (6)$$

1) Ein Ansatz nach [8] liefert für die hier vorgenommene Abschätzung prinzipiell das gleiche Ergebnis.

erhält man

$$v = \frac{a_1 a_2 \varepsilon^2 x \gamma_L \cos \delta_{\text{eff}}}{\eta_L (1 - \varepsilon) y} \quad (7)$$

Hierin sind  $a_1$  und  $a_2$  Konstanten und  $x$  die Partikelgröße. Für kugelförmige Partikeln sind  $a_1 = 1/180$  [7] und  $a_2 = 6$  [10].

Da  $v$  in der Darcy-Gl. (4) auf den freien Querschnitt bezogen ist, also

$$v = \varepsilon dy/d\tau \quad (8)$$

gilt, liefert die Integration von Gl. (7) mit den Grenzen  $y = 0$  zur Zeit  $\tau = 0$  und  $y = H$  zur Zeit  $\tau = t$  sowie den angegebenen Werten von  $a_1$  und  $a_2$  für kugelförmige Partikeln die Benetzungszeit

$$t = \frac{15 (1 - \varepsilon) \eta_L H^2}{\varepsilon x \gamma_L \cos \delta_{\text{eff}}} \quad (9)$$

Wie auch aus dem einfachen Modell (Abb. 1 a) zu entnehmen war, kann die Befeuchtungszeit hauptsächlich durch ein Vergrößern der Partikeln (also durch Agglomerieren) und durch eine verbesserte Benetzung ( $\delta_{\text{eff}}$  möglichst klein) verkürzt werden, da die Flüssigkeitsdaten ( $\eta_L$ ,  $\gamma_L$ ) im allgemeinen vorgegeben sind und sich die Schüttgutporosität  $\varepsilon$  in einem groben Haufwerk einstellt. Es genügt jedoch nicht, nur die groben Poren zwischen den Agglomeraten zu füllen, sondern die Flüssigkeit muß auch in das feine Porensystem im Innern der Agglomerate eindringen. Wie Gl. (7) zeigt, ist ein schnelles Eindringen bei hoher Porosität und damit lockerer Agglomeratstruktur möglich. Die Gleichung zeigt jedoch auch, daß die Eindringgeschwindigkeit  $v$  umgekehrt proportional zum Weg  $y$  ist, den die Flüssigkeit zurückgelegt hat. Hieraus folgt, daß die Agglomerate nicht zu groß sein dürfen, da sie sonst nicht ausreichend schnell befeuchtet werden können und Gaseinschlüsse zurückbleiben. Mit Hilfe einer Modellvorstellung kann man aus diesem Sachverhalt die optimale Agglomeratgröße berechnen [3]. Abb. 2 erläutert das zugrundeliegende Prinzip, auf die Theorie wird hier nicht eingegangen. Sind die Agglomerate kleiner als die optimal großen, so wird die Schüttung zu langsam befeuchtet (Abb. 2 a). Bei zu großen Agglomeraten findet kein vollständiges Eindringen der Flüssigkeit in die Agglomeratporen statt (Abb. 2 c). Bei der für ein schnelles Durchfeuchten optimalen Agglomeratgröße (Abb. 2 b) ist die gesamte Eindringzeit minimal; die Gesamtzeit setzt sich aus der für das Eindringen von Flüssigkeit in das Porensystem der Schüttung notwendigen Dauer und der Durchfeuchtungszeit für die einzelnen Agglomerate zusammen.

Trotz mehrerer Vereinfachungen hat sich diese Modellvorstellung für viele Fragestellungen als brauchbar erwiesen. Sie liefert vor allem Hinweise darauf, wie ein Prozeß

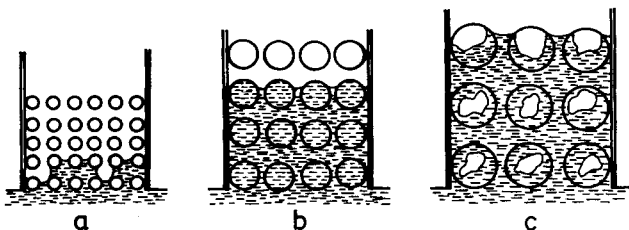


Abb. 2. Erläuterung der Hinsichtlich einer schnellen Durchfeuchtung optimalen Agglomeratgröße.

verbessert werden kann und welche Agglomerierverfahren für das Instantisieren aufgrund einer zu kleinen Porosität der Agglomerate oder einer zu engen Porengrößenverteilung weniger gut geeignet sind. Mit Hilfe des Modells konnte auch erstmals auf die Möglichkeiten und Vorteile einer mehrstufigen Agglomeration für das Erreichen guter Instantereigenschaften hingewiesen werden [3].

Zu beachten ist jedoch, daß Gl. (9) selbst für Abschätzungen keine quantitativen Daten über die Benetzungszeit liefert, da der effektive Randwinkel  $\delta_{\text{eff}}$  im allgemeinen unbekannt ist. Da  $\delta_{\text{eff}}$  ein Vorrück-Randwinkel ist, der sich vorzugsweise an Ecken und Kanten der Poren einstellt und damit auch die Form und Oberflächenstruktur der Partikeln zu berücksichtigen ist, kann  $\delta_{\text{eff}}$  nicht aus Randwinkelmessungen an ebenen Flächen ermittelt werden. Wie kritisch und gleichzeitig wesentlich der effektive Randwinkel für die Benetzungszeit ist, zeigt an einem Beispiel Tab. 1.

Tabelle 1. Nach Gl. (9) berechnete Benetzungszeit  $t$  für verschiedene effektive Randwinkel  $\delta_{\text{eff}}$  und folgende Daten:  $\varepsilon = 0,4$ ;  $\eta_L = 1 \text{ mPa s}$ ;  $h = 5 \text{ mm}$ ;  $x = 0,5 \text{ mm}$ ;  $\gamma_L = 70 \text{ mN/m}$ .

$\delta_{\text{eff}} [^\circ]$	0	60	80	89	89,5	89,75	89,9	90
$t [s]$	0,02	0,03	0,09	0,9	1,8	3,7	9,2	$\infty$

Für die Zeit des Eindringens von Wasser ( $20^\circ\text{C}$ ) in eine Schüttung aus Instant-Magermilchpulver mit den in Tab. 1 angegebenen Daten wurde  $t = 3,6 \pm 0,8 \text{ s}$  gemessen. Der Vergleich mit Tab. 1 zeigt, daß diesem Meßwert ein effektiver Randwinkel  $\delta_{\text{eff}} \approx 89,75^\circ$  entspricht. Ähnlich große  $\delta_{\text{eff}}$ -Werte sind typisch für die meisten Lebensmittelpulver.

Hieraus ergeben sich folgende Konsequenzen:

- $\delta_{\text{eff}}$  ist eine entscheidende Größe für das kapillare Eindringen von Wasser in Haufwerke (Benetzbarkeit).
- Es ist aussichtslos,  $\delta_{\text{eff}}$  auf direkte Weise mit ausreichender Genauigkeit messen zu wollen, sinnvoll ist nach heutiger Kenntnis lediglich die indirekte Messung von  $\delta_{\text{eff}}$  über den kapillaren Eindringversuch.
- Ist bei einem Material  $\delta_{\text{eff}} \leq 60^\circ$ , so ist ein Instantisieren zur Verbesserung der Benetzbarkeit nicht erforderlich.

Die zuletzt genannte Konsequenz läßt sich auf einfache Weise mit einem nicht instantisierten, feinen Pulver prüfen, das durch eine Flüssigkeit mit erheblich kleinerer Oberflächenspannung  $\gamma_L$  als Wasser - z.B. mit Ethanol - befeuchtet wird. Trotz des kleineren  $\gamma_L$ -Wertes, der nach Gl. (9) sogar zu einer längeren Benetzungszeit führen sollte, beobachtet man im allgemeinen ein im Vergleich zu Wasser sehr schnelles Eindringen der Flüssigkeit in das Pulver, da  $\cos \delta_{\text{eff}}$  wesentlich größer ist. Auf dem gleichen Effekt beruht die in der Regel bessere Benetzbarkeit, wenn nicht kaltes, sondern warmes Wasser mit dem kleineren  $\gamma_L$ -Wert verwendet wird. Lediglich bei Produkten, die insbesondere bei hohen Wassertemperaturen schnell quellen, gilt diese Regel nicht.

Abschließend sei vermerkt, daß der Benetzungsvorgang im Vergleich zur bisherigen Darstellung wesentlich komplizierter ist. Wie mikroskopische Beobachtungen zeigen, wandert der Flüssigkeitsmeniskus bei der Benetzung nicht stetig, sondern annähernd sprunghaft. Offensichtlich verharret der Meniskus immer wieder vergleichsweise lange an Orten im Porenraum mit  $\delta_{\text{eff}} \approx 90^\circ$ , die für den gesamten Benetzungsvorgang zeitbestimmend sind. Wegen dieser komplizierten Vorgänge ist daher der effektive Randwinkel als ein Anpassungswert aufzufassen.

## 2.2 Untersinkvermögen

Vielfach ist der zweite Teilvorgang beim Aufschütten eines instantisierten Lebensmittels auf eine Flüssigkeitsoberfläche, nämlich das Absinken der Partikeln in die Flüssigkeit, bei ausreichender Durchfeuchtung nicht der zeitbestimmende Schritt. Erfahrungsgemäß reichen die Größe ( $x \geq 100 \mu\text{m}$ ) und Dichte ( $\rho \approx 1,5 \text{ g/cm}^3$ ) der Lebensmittel-Partikeln aus, um durch die Flüssigkeitsoberfläche sinken zu können. Problematisch sind jedoch Feingut, das z.B. aufgrund von Abrieb entstehen kann, und hohle Partikeln, die z.B. beim Sprühtrocknen erzeugt werden können. Derartige Partikeln können auf der Flüssigkeitsoberfläche schwimmen und maßgeblich die Instanteigenschaften beeinflussen. Durch ausreichende Festigkeit der Partikeln ist daher der Abrieb möglichst zu vermeiden. Wenn z.B. in einem Sprühtrockner Hohlkugeln anfallen, sollten sie zerkleinert und anschließend agglomeriert werden (vgl. Kap. 5.1), um ein Aufschwimmen zu vermeiden. Eine Besonderheit ist der Einfluß des Absinkens von Partikeln auf die kapillare Befeuchtung. Dieser Fall wird in Kap. 3 behandelt.

## 2.3 Dispergierbarkeit und Lösbarkeit

Befeuchtete bzw. absinkende Teile der Schüttung sollten unverzüglich und möglichst ohne oder nur mit geringem mechanischem Energieeintrag in die Primärpartikeln oder in hinreichend feine Partikeln zerfallen, d.h. vollständig oder genügend dispergiert werden. Liegt das Instantprodukt in Form von Agglomeraten vor, so sollte einerseits die Partikelhaftung in gasförmiger Umgebung ausreichend groß sein, um eine genügende Festigkeit einstellen und damit den für die Benetzung und das Untersinken ungünstigen Abrieb vermeiden zu können. Andererseits sollte die Partikelhaftung in wäßriger Umgebung möglichst verschwinden oder sogar in abstoßende Kräfte übergehen. Da Flüssigkeitsbrückenkräfte bei Lebensmitteln wegen der großen Wasseraktivität und des damit verbundenen schnellen Verderbs nicht in Frage kommen, sind insbesondere Festkörperbrücken aus einer schnell löslichen Substanz vorteilhaft. Man verwendet daher häufig auskristallisierte Salze oder verschiedene Zucker als Haftmechanismen, die im trockenen Zustand für eine ausreichende Agglomeratfestigkeit sorgen können. Die van-der-Waals-Haftung kommt ebenfalls in Betracht, da sie in wäßriger Umgebung etwa um den Faktor 10 kleiner ist als in gasförmiger Umgebung.

Um in wäßriger Umgebung abstoßende Kräfte als Folge von elektrischen Doppelschichten realisieren zu können, sind im allgemeinen Dispergierhilfsmittel nötig. Ein in der Lebensmitteltechnik vielfach verwendetes Dispergiermittel ist Lecithin [11, 12], das gleichzeitig durch Verringerung des effektiven Randwinkels die Benetzbarkeit verbessert.

Für Lebensmittel werden im allgemeinen keine besonderen Anforderungen an die Feinheit der im wäßrigen System dispergierten Partikeln gestellt. Wesentlich ist nur, daß die Partikeln ausreichend lange sedimentieren bzw. in Schwebelagern bleiben, also innerhalb eines gegebenen Zeitraums keinen Bodensatz bilden.

Wie man aus der Sinkgeschwindigkeit

$$w = \frac{\Delta \rho g x^2}{18 \eta_L} \quad (10)$$

von Kugeln mit dem Durchmesser  $x$  erkennt, die in einer Newtonschen Flüssigkeit im Stokes-Bereich sedimentieren ( $\Delta \rho =$  Dichtedifferenz zwischen Feststoff und Flüssigkeit,  $g =$  Erdbeschleunigung), kann ein Bodensatz durch entsprechend feine Partikeln oder durch eine Vergrößerung der Zähigkeit der Flüssigkeit vermieden werden. Eine Erhöhung der Zähigkeit  $\eta_L$  des Wassers um den Faktor 10 bis 100 ist ohne sensorische Nachteile durch Stabilisatoren (Dickungsmittel) möglich, die dem Instantprodukt beigelegt und beim Dispergieren in Wasser freigesetzt werden. Als Stabilisatoren können (modifizierte) Stärke, Pektin, Alginate, Carrageen usw. verwendet werden. Wesentlich ist, daß diese Dickungsmittel erst freigesetzt werden, wenn die Durchfeuchtung abgeschlossen ist, die sich anderenfalls entsprechend Gl. (7) bzw. (9) verzögern würde.

Liegen wasserlösliche Instantprodukte vor, so soll der Lösevorgang möglichst schnell verlaufen, nachdem die Partikeln benetzt worden sind. Ein vorheriges möglichst feines Dispergieren der Partikeln verkürzt den Lösevorgang. Eine weitere Verkürzung des Lösens von Feststoffen in Wasser ist durch eine Amorphisierung von normalerweise kristallin vorkommenden Stoffen möglich [13]. Der Lösevorgang kann dann so schnell verlaufen, daß ein vorheriges Dispergieren und vollständiges Durchfeuchten der Schüttung nicht erforderlich sind. Derartige Produkte können zwar sehr gute Instanteigenschaften besitzen, sie sind jedoch meist wenig lagerungsstabil. Zumindest bei angebrochenen Packungen und Zutritt von feuchter Luft neigen sie zur Klumpenbildung, die durch „Mittel zur Erhaltung der Rieselfähigkeit“, z.B. kolloidale Kieselsäure, verringert werden kann. Derartige Zusatzstoffe sind jedoch lebensmittelrechtlich nicht allgemein, sondern nur für bestimmte Produkte zugelassen.

Die zuletzt genannten Beispiele verdeutlichen, daß ausreichende Stoffkenntnisse nötig sind, um die am besten geeigneten Maßnahmen zur Verbesserung der Instanteigenschaften ergreifen zu können.

## 3 Veränderungen von Instantprodukten während der Befeuchtung

Bisher – insbesondere zur Herleitung der Gln. (7) und (9) – wurde davon ausgegangen, daß die Schüttung aus dem jeweiligen Instantprodukt so schnell befeuchtet wird, daß sich die Partikeln sowie die Packungsstruktur nicht während des Befeuchtungsvorgangs verändern. Diese Annahme trifft zu, wenn die Schütthöhe hinreichend klein ist und sich das Produkt gut benetzen läßt. In allen anderen Fällen ist zu prüfen, ob die Annahme zumindest näherungsweise gilt. Übliche Veränderungen von Instant-Lebensmitteln während der Befeuchtung zeigt schematisch Abb. 3. Lösen sich die Partikeln in der Flüssigkeit, so entstehen im allgemeinen größere Poren, die gemäß Gl. (7) eine schnellere Befeuchtung ermöglichen. Gleichzeitig kann sich jedoch die Viskosität der Flüssigkeit infolge des gelösten Partikelanteils so stark erhöhen, daß der Effekt aufgrund der größeren Poren kompensiert wird oder sogar eine langsamere Befeuchtung möglich ist. Meist beobachtet man jedoch bei instantisierten Lebensmitteln, die leicht lösliche Bestandteile wie Zucker enthalten, eine schnellere Befeuchtung gegenüber sonst gleichen Partikeln, die sich aber nicht lösen.

Das Quellen von Partikeln führt stets zu einer langsameren Befeuchtung, die sogar annähernd zum Stillstand kommen kann. Da viele Lebensmittelbestandteile wie Stärke und

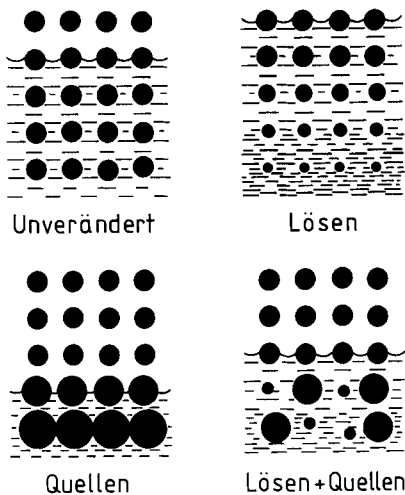


Abb. 3. Schematische Darstellung der typischen Veränderungen von Instant-Lebensmitteln während der Befeuchtung.

einige Proteine zum Quellen in Wasser neigen, kommt diesem Effekt eine besondere Bedeutung zu. Wie Abb. 3 zeigt, können im allgemeinen Fall die Partikeln teilweise quellen oder sich in der Flüssigkeit lösen. Für diesen Fall ist keine generelle Aussage darüber möglich, ob ein derartiges Verhalten zu einer schnelleren oder langsameren Befeuchtung gegenüber einer unveränderten Schüttung führt. Eine weitere Veränderung des auf eine Flüssigkeitsoberfläche geschütteten Partikelhaufwerks ergibt sich daraus, daß nach einer bestimmten Benetzungszeit  $t_s$  die bereits befeuchteten Partikeln absinken und sich daher die anfängliche Schütthöhe  $h_0$  verringert. Die Verhältnisse sind in Abb. 4 veranschaulicht. Aufgetragen ist die befeuchtete

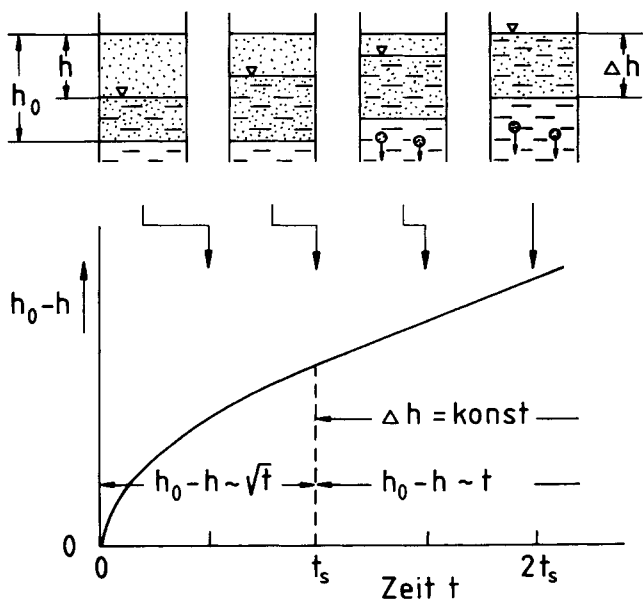


Abb. 4. Erläuterung der stationären und instationären Befeuchtung einer Schüttung, bei der die unterste Partikelschicht durch Sedimentation abgetragen wird.

Höhe  $h_0 - h$  der Schüttung über der Zeit  $t$ . Hierin ist  $h$  die noch nicht befeuchtete Länge. Die Höhe  $h_0 - h$ , d.h. die Wahl der obersten Kante der Schüttung als Bezugslinie, ist zweckmäßig, da sich die unterste Packungsschicht durch Sedimentation verändert. Man erkennt, daß im Bereich  $t < t_s$ , in dem noch keine Partikeln sedimentieren und folglich

$h_0 = \text{konst.}$  ist, die benetzte Schütthöhe  $h_0 - h$  ständig zunimmt. Es handelt sich um eine instationäre Befeuchtung, die sich näherungsweise mit den Gln. (7) und (9) beschreiben läßt. Wegen  $H = h_0 - h$  für  $t \geq t_s$  folgt aus Gl. (9):

$$h_0 - h = \sqrt{2 A t} \quad (11)$$

mit

$$A = \frac{\varepsilon x \gamma_L \cos \delta_{\text{eff}}}{30 (1 - \varepsilon) \eta_L} \quad (12)$$

Für  $t \geq t_s$  wird davon ausgegangen, daß von der untersten Schicht der Packung gerade soviel absedimentiert, daß die jeweils befeuchtete Schichtdicke  $\Delta h = \text{konst.}$  bleibt (vgl. Abb. 4). Man erhält dann eine stationäre Befeuchtung, da die Eindringgeschwindigkeit  $v = \text{konst.}$  ist. Durch Integration von Gl. (7) ergibt sich für  $t \geq t_s$

$$h_0 - h = \sqrt{\frac{A t_s}{2}} \left( \frac{t}{t_s} \right) + 1 \quad (13)$$

Ein möglicher instationärer Übergangsbereich, bei dem Gl. (11) nicht mehr zutrifft, da bereits Partikeln von der untersten Schicht der Schüttung sedimentieren, aber die stationäre Befeuchtung noch nicht erreicht ist, soll hier aus Gründen der Übersichtlichkeit vernachlässigt werden. Zur Abschätzung der benetzten Schichtdicke  $\Delta h$  und der Benetzungszeit  $t_s$  für den Fall der stationären Befeuchtung wird das in Abb. 5 gezeigte Modell verwendet. Ein Abse-

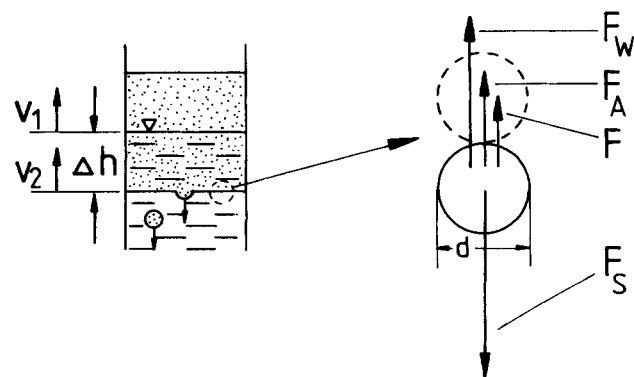


Abb. 5. Abschätzung der benetzten Schichtdicke  $\Delta h$  bei der stationären Befeuchtung ( $v = v_1 = v_2$ ) einer Partikelschüttung;  $F_W$  Widerstandskraft,  $F_A$  Auftriebskraft,  $F$  Haftkraft,  $F_S$  Schwerkraft.

dimentieren von Partikeln (hier Agglomeraten) der untersten Schicht ist nur möglich, wenn

$$F_S > F_W + F_A + F \quad (14)$$

ist, wobei  $F_S$  die Schwerkraft,  $F_W$  die Widerstandskraft aufgrund der Strömung der eingesaugten Flüssigkeit,  $F_A$  die Auftriebskraft und  $F$  die Haftkraft sind. Im Stokes-Bereich gilt für die Sinkgeschwindigkeit der hier betrachteten Agglomerate mit dem Durchmesser  $x$  (vgl. Gl. (10)):

$$w = \frac{\Delta \rho g x^2}{18 \eta_L} - \frac{F}{3 \pi \eta_L x} \quad (15)$$

Im Grenzfall  $|w|=|v|$  erhält man bei vernachlässigter Haftkraft ( $F \ll F_S - F_A$ ) zwischen den Agglomeraten mit Gl. (7) für  $y = \Delta h$

$$\Delta h = \frac{3 \varepsilon^2 \gamma_L \cos \delta_{\text{eff}}}{5 (1 - \varepsilon) \Delta \rho g x} \quad (16)$$

Die Benetzungszeit  $t_s$  ergibt sich wegen  $\Delta h = (2 A t_s)^{1/2}$  (vgl. Gl. (11)) zu

$$t_s = \frac{5,4 \varepsilon^3 \eta_L \gamma_L \cos \delta_{\text{eff}}}{(1 - \varepsilon) (\Delta \rho)^2 g^2 x^3} \quad (17)$$

Die maximale Dauer der Benetzung der untersten Schicht der Schüttung ist bei stationärer Befeuchtung

$$t_B = 2 t_s \quad (18)$$

Man erhält diesen Wert für die stationäre Befeuchtung auch aus  $v = \varepsilon \Delta h / t_B$  mit den Gln. (7) und (16) für  $y = \Delta h$ .

Bei quellfähigen Instantprodukten sollte die Benetzungsdauer  $t_B$  der untersten Schicht möglichst klein sein, damit der Befeuchtungsvorgang abgeschlossen werden kann, bevor durch Quellvorgänge die Poren für den kapillaren Flüssigkeitstransport verstopft werden. Gl. (18) bzw. (17) zeigt den großen Einfluß der Partikelgröße  $x$  auf die Benetzungsdauer  $t_B$ . Da  $t_B \sim x^{-3}$  ist, müssen quellfähige Produkte agglomeriert werden, um günstige Instanzeigenschaften einstellen zu können. Erfahrungsgemäß reichen bei Lebensmitteln Agglomeratgrößen von  $x \geq 0,2$  mm aus (vgl. Kap. 6).

Die hier skizzierten Zusammenhänge sind typisch für die meisten Instant-Lebensmittel. Wie Abb. 6 schematisch

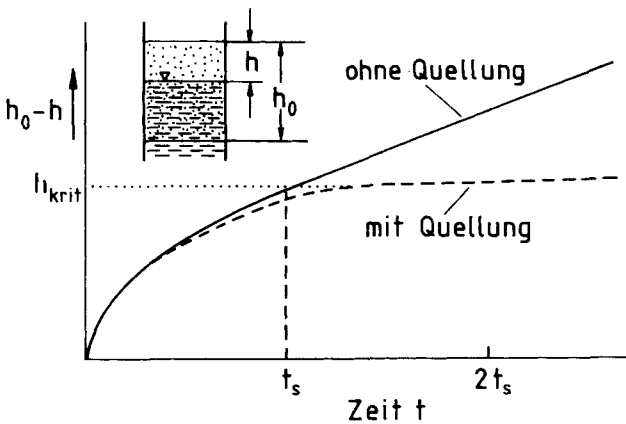


Abb. 6. Kapillare Befeuchtung einer Schüttung mit und ohne Quellung der Partikeln.

zeigt, findet zunächst eine schnelle instationäre Befeuchtung statt, an die sich das stationäre Eindringen der Flüssigkeit anschließt, sofern das Material nicht quellfähig ist bzw. nicht genügend Zeit für den Quellvorgang hatte. Quillt das Material, so kann die Befeuchtung vollständig zum Erliegen kommen, wie dies z.B. bei feinem Gelatinepulver zu beobachten ist. Abb. 6 zeigt noch einen interessanten Aspekt. Auch stark quellendes Material läßt sich im allgemeinen noch gut befeuchten, wenn nur die Anfangsschütthöhe  $h_0$  klein genug ist. Dies bestätigt die bekannte Erfahrung, daß sich Pulver einfacher in eine Flüssigkeit einrühren läßt, wenn man einen kleinen Mengenstrom zudosiert als wenn man gleich die gesamte Menge auf die Flüssigkeit schüttet. Abb. 6 verdeutlicht also den starken

Einfluß der Anfangsschütthöhe  $h_0$  auf den gesamten Befeuchtungsvorgang. Wird jeweils nur eine kleine Menge eines Instantproduktes benötigt, etwa beim Aufschütten eines Getränkepulvers in Wasser oder Milch, so wird man den schnellen, instationären Befeuchtungsvorgang anstreben. Wird dagegen ein Instantprodukt als Zwischenprodukt für die Weiterverarbeitung gefertigt und in großen Mengen (z.B. sackweise) einer Flüssigkeit zugegeben, dann ist die stationäre Befeuchtung maßgebend. Entsprechend Gl. (17) sind in diesem Fall im allgemeinen größere Agglomerate nötig, wenn es sich um ein quellfähiges Material handelt.

Das hier entwickelte Modell kann viele beobachtete Effekte erklären, die sich mit Hilfe der bisher gebräuchlichen Vorstellung, also mittels der Gln. (7) und (9), nicht beschreiben lassen. Beispielsweise kann ein Material mit dem größeren effektiven Randwinkel, das also schlechter durch die Flüssigkeit benetzt wird, bei sonst gleichen Eigenschaften schneller durchfeuchtet werden als ein Material mit größerem  $\delta_{\text{eff}}$ -Wert, was im Widerspruch zu Gl. (9) steht. Die Erklärung dieses Effektes, den man z.B. bei verschiedenen Milchpulvern (vgl. Kap. 6) oder auch Waschpulvern beobachten kann, liefert Abb. 7. Dargestellt

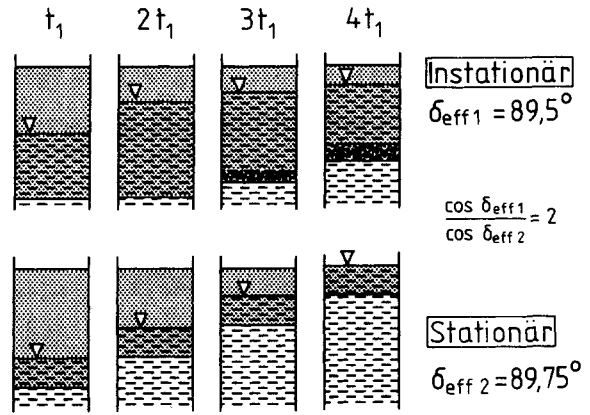


Abb. 7. Durchfeuchtung quellfähiger Instantprodukte bei unterschiedlicher Benetzbarkeit.

ist die Befeuchtung eines quellfähigen Produktes zu vier verschiedenen Zeiten  $t_1$  bis  $4 t_1$ , das sich lediglich durch die Randwinkel  $\delta_{\text{eff}1} = 89,5^\circ$  und  $\delta_{\text{eff}2} = 89,75^\circ$  unterscheidet. Da für die Benetzbarkeit  $\cos \delta_{\text{eff}}$  maßgeblich ist, differieren die beiden Produkte hinsichtlich dieser Eigenschaft um den Faktor 2, da  $\cos 89,5^\circ / \cos 89,75^\circ = 2$  ist. Das besser benetzbare Produkt mit  $\delta_{\text{eff}1}$  wird zunächst schneller befeuchtet. Wegen der hohen Eindringgeschwindigkeit der Flüssigkeit in das Porensystem bleibt die unterste Schicht länger mit Flüssigkeit in Berührung, kann daher quellen und schließlich den Befeuchtungsvorgang erheblich bremsen. Bei dem schlechter benetzbaren Produkt mit  $\delta_{\text{eff}2}$  stellt sich bereits zur Zeit  $t_1$  eine stationäre Befeuchtung ein; die Eindringgeschwindigkeit ist zwar anfangs langsamer, sie bleibt jedoch konstant, so daß nach der Zeit  $4 t_1$  der Flüssigkeitsmeniskus die Schüttungsoberfläche im Gegensatz zum besser benetzbaren Pulver erreicht hat. Dies liegt daran, daß beim stationären Befeuchten die Benetzungsdauer  $t_B$  der untersten Schicht nicht ausreicht, um ein Quellen der Partikeln herbeizuführen. Gleiche Effekte können auftreten, wenn unterschiedlich benetzbare, quellfähige Materialien stationär befeuchtet werden. Wie man den Gln. (17) und (18) entnehmen kann, ist  $t_B \sim \cos \delta_{\text{eff}}$ . Bei quellenden Produkten sollte die Dauer  $t_B$  der Benetzung der untersten Schicht so klein, d.h.  $\delta_{\text{eff}}$  so groß sein,

daß der Quellvorgang die Poren noch nicht wesentlich verstopft.

## 4 Verfahren zum Instantisieren

Die Verfahren zum Instantisieren lassen sich entsprechend Abb. 8 in Agglomerier- und Nicht-Agglomerierverfahren einteilen. Wie aus den Kapiteln 2 und 3 zu entnehmen ist,

AGGLOMERIERVERFAHREN	NICHT-AGGL.-VERFAHREN
1. Feuchtagglomeration (Wiederbefeuchtungs-Methoden)	1. Verbesserung des Benetzungsverhaltens, z.B. durch Zusatzstoffe (Lecithin), Entzug von Inhaltsstoffen (Fett)
2. Agglomeration durch Trocknung	
3. Kombination von 1. und 2.	2. Verbesserung der Löslichkeit, z.B. durch Amorphisierung
4. Preßagglomeration (Lochpressen)	
<b>KOMBINATION VON AGGL.- UND NICHT-AGGL.-VERFAHREN</b>	

Abb. 8. Hauptsächlichliche Verfahren zum Instantisieren.

soll durch eine Agglomeration hauptsächlich die Zeit für das kapillare Eindringen der Flüssigkeit in das Schüttgut verringert oder eine gleichmäßige Befeuchtung ohne Klumpenbildung erreicht werden. Nicht alle Agglomerierverfahren sind zur Erzielung guter Instanteigenschaften geeignet. Wesentlich ist, daß die Agglomerate einerseits lockere Strukturen bilden, die sich leicht dispergieren lassen und andererseits eine so hohe Festigkeit besitzen, daß durch unvermeidlichen Abrieb kein zu hoher Anteil an Feingut entsteht, durch den die Befeuchtung merklich verschlechtert wird.

Bei den Nicht-Agglomerierverfahren wird hauptsächlich die Benetzbarkeit verbessert, d.h. der effektive Randwinkel verringert, oder die Löslichkeit der Partikeln verbessert.

### 4.1 Agglomerierverfahren

Zum Instantisieren von Lebensmitteln kommen hauptsächlich die Aufbauagglomeration, die Agglomeration durch Trocknung, die Kombination beider Verfahren sowie die Preßagglomeration in Frage [13]. Bei der Aufbauagglomeration wird fast ausnahmslos zum Instantisieren von Lebensmitteln die Feuchtagglomeration eingesetzt, die hier daher ausschließlich behandelt wird.

#### 4.1.1 Feuchtagglomeration

Bei diesen Verfahren wird vom trockenen Pulver ausgegangen. Um die Haftkräfte zwischen den Partikeln zu erhöhen, wird Flüssigkeit aufgebracht, entweder in Form von kondensierendem Dampf, von versprühter Flüssigkeit oder einer Mischung von beiden. Da pulverförmige Lebensmittel im allgemeinen durch Trocknung hergestellt werden, spricht man anstelle von Feuchtagglomeration auch von Wiederbefeuchtungsverfahren. Die Grundvorgänge der Feuchtagglomeration zeigt Abb. 9. Man unterscheidet zwischen dynamischen und statischen Methoden. Bei den dynamischen Methoden werden die Partikeln gegeneinander

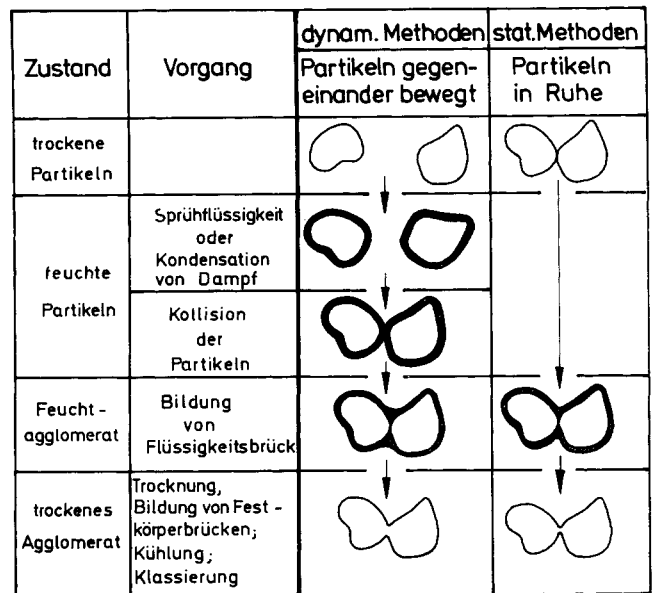


Abb. 9. Grundvorgänge der Feuchtagglomeration.

der bewegt und durch Befeuchtung die Haftkräfte verstärkt, so daß sich nach einer Kollision der Partikeln Flüssigkeitsbrücken ausbilden können, die zur Haftung führen. Die feuchten Agglomerate werden anschließend getrocknet, wobei sich Festkörperbrücken bilden, die durch auskristallisierende Stoffe entstehen. Bei den statischen Methoden bleiben die Partikeln in Ruhe. Durch die aufgesprühte Flüssigkeit können sich an den Kontaktstellen der Partikeln Flüssigkeitsbrücken bilden, die anschließend getrocknet werden, wobei Festkörperbrücken zurückbleiben. Die hauptsächlichlichen Verfahren der Feuchtagglomeration sind in Abb. 10 zusammengestellt. Die Fließbett-, die Misch- und die Strahlagglomeration werden in den meisten Fällen zum Instantisieren eingesetzt. Die Rollagglomeration ist zum Instantisieren weniger gut geeignet, da sich – wie noch erläutert wird – sehr feste Agglomerate mit enger Porengrößenverteilung bilden, die nur schwierig befeuchtet und dispergiert werden können. Alle bisher genannten Feuchtagglomerationsverfahren zählen zu den dynamischen Methoden, lediglich der in Abb. 10 skizzierte Bandagglomerierer ist eine statische

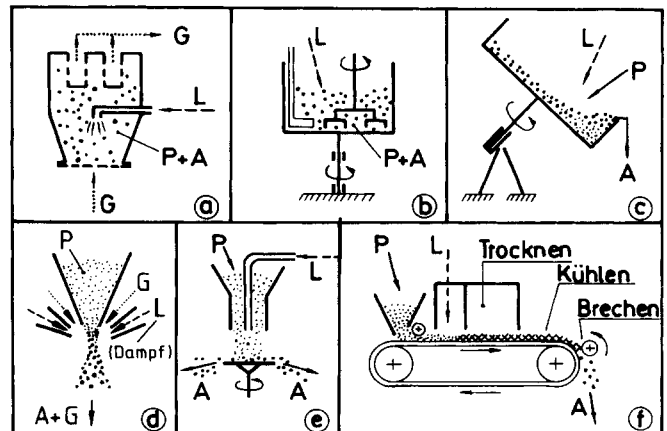


Abb. 10. Instantisier-Verfahren durch Feuchtagglomeration und den Teilschritten *Befeuchten*, *Agglomerieren* im a) Fließbett, b) Mischer, c) Teller (Rollagglomerator), d) Strahl, mittels einer e) rotierenden Scheibe oder auf einem f) Band, *Trocknen*, evtl. *Kühlen*, *Klassieren*. Abkürzungen: A = Agglomerat, G = Gas, L = Flüssigkeit oder Dampf, P = Pulver.

Methode, bei der sich durch Flüssigkeitszugabe und anschließende Trocknung sogenannte Schülpfen bilden, die anschließend in die gewünschte Agglomeratgröße gebrochen werden. Bis auf die Fließbett- und Mischagglomeration, die auch diskontinuierlich betrieben werden können, arbeiten alle übrigen, in Abb. 10 gezeigten Verfahren kontinuierlich.

Die Gründe, daß in Teller- oder Trommelgranulatoren Rollagglomerate mit vergleichsweise ungünstigen Instanteigenschaften entstehen, lassen sich mit Hilfe von Abb. 11 erläutern. Beim Abrollen entstehen relativ gleichmäßige Agglomerate mit einer engen Porengrößenverteilung. Dies hat für viele Anwendungen Vorteile, nicht jedoch für die Befeuchtung, wie Abb. 11 am Modell erläutert. Wird ein

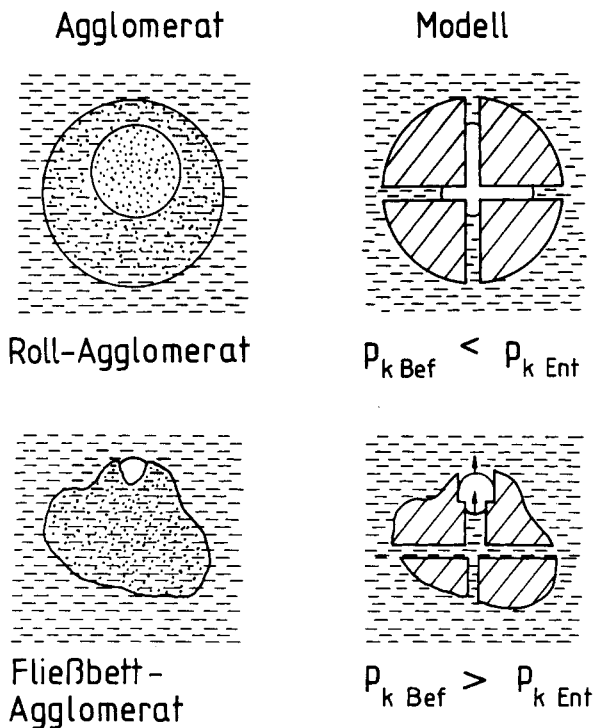


Abb. 11. Vereinfachte Darstellung des Befeuchtungsverhaltens von Roll- und Fließbett-Agglomeraten.

derartiges Agglomerat in eine Flüssigkeit getaucht, so verbleiben im Innern sehr häufig Gaseinschlüsse, da wegen der engen Porengrößenverteilung und der bekannten Kapillardruckhysterese das eingeschlossene Gas nicht entweichen kann. Wie Abb. 11 zeigt, ist in diesem Fall der Befeuchtungs-Kapillardruck  $p_{k \text{ Bef}}$  kleiner als der Entfeuchtungs-Kapillardruck  $p_{k \text{ Ent}}$ . Anders dagegen verhalten sich locker aufgebaute Fließbettagglomerate, die eine weite Porengrößenverteilung besitzen. In diesem Fall kann eingeschlossenes Gas entweichen, da der Befeuchtungs-Kapillardruck größer ist als der Entfeuchtungs-Kapillardruck.

Besonders vorteilhaft für Lebensmittel ist die Strahlagglomeration, da nur eine geringe Verweilzeit erforderlich ist, so daß Aromastoffe weniger entweichen können. Allerdings funktioniert die Strahlagglomeration nur dann, wenn möglichst jeder Partikelstoß auch zur Haftung führt. Andernfalls bilden sich keine ausreichend große Agglomerate. Die Strahlagglomeration ist daher nicht für alle Stoffe geeignet. Sie wird insbesondere dann eingesetzt, wenn in einem bestimmten Temperatur- und Feuchtebereich klebrige Oberflächen entstehen, die zu einer ausreichenden Partikelhaftung führen.

#### 4.1.2 Agglomeration durch Trocknung

Die Sprühtrocknung gehört zu den bekanntesten Instantisierverfahren. Den schematischen Aufbau eines Sprühtrockners zeigt Abb. 12 a. Das Konzentrat – entweder in Form einer Suspension oder einer Lösung – wird mit Hilfe einer Düse oder einer Zerstäuberscheibe fein verteilt,

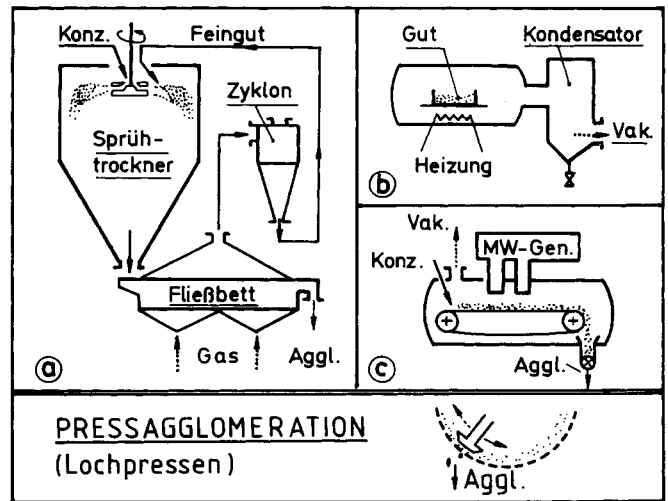


Abb. 12. Instantisier-Verfahren durch Trocknung und Preßagglomeration (Lochpressen); a) Sprühtrockner mit Agglomerierzone, b) Gefriertrockner, c) Vakuum-Mikrowellen-Trockner.

getrocknet und in einem nachgeschalteten Fließbett gekühlt, aus dem das fertige Produkt in Form von Agglomeraten abgezogen wird. Das Fließbett dient ferner dazu, Feingut abzutrennen, das in einem Zyklon abgeschieden und in den Sprühtrockner zurückgeführt wird. Vielfach wird das Gut im Fließbett nachgetrocknet, man spricht dann von einer Zweistufen-Trocknung. Bei geeigneter Prozeßführung bilden sich im Sprühtrockner lockere, ausreichend große Agglomerate, die im Gegensatz zu walzengetrockneten Produkten gute Instanteigenschaften besitzen können. Mitunter ist das sprühtrocknete Material jedoch zu fein, so daß es mit Hilfe einer Wiederbefeuchtungsmethode nachagglomeriert werden muß, um die gewünschten Instanteigenschaften erzielen zu können. Vorteilhaft ist, daß man mit Hilfe eines Sprühturms die spätere Schüttgutdichte sowie die Farbe der entstehenden Agglomerate in Grenzen dadurch einstellen kann, daß man beim Eindüsen Gas, z. B. Stickstoff oder Kohlendioxid, in die Lösung oder Suspension bringt.

Es sei vermerkt, daß man mit einem Sprühtrockner teilweise auch durch eine Aufbauagglomeration instantisieren kann. In diesem Fall wird ein Teil des trockenen Pulvers in die versprühte Flüssigkeit zurückgeführt (Abb. 12 a). Durch Zusammenstöße der Partikeln entstehen Agglomerate, sofern die Haftkräfte größer sind als die stets vorhandenen trennenden Kräfte.

Ein seit langem bewährtes, jedoch teures Instantisierverfahren ist die Gefriertrocknung (Abb. 12 b). Ein besonderer Vorteil liegt darin, daß man durch Schäumen des Gutes vor der Gefriertrocknung nahezu jede gewünschte spätere Schüttgutdichte einstellen kann. Da beim Gefriertrocknen die Restwassermenge nur bei höheren Temperaturen und langen Zeiten entzogen werden kann, ist das Verfahren im allgemeinen nicht aromaschonender als eine moderne Sprühtrocknung.

Ein vergleichsweise neues Verfahren ist die Mikrowellen-Vakuum-Trocknung (Abb. 12 c). Im Gegensatz zur Vaku-



um-Bandtrocknung wird die Wärme im Gutsinneren erzeugt, wodurch lockere Strukturen mit guten Instanteigenschaften entstehen können. Das Instantisieren mit Mikrowellen ist zwar kostengünstiger als die Gefriertrocknung, wegen des hohen Energieverbrauchs aufgrund eines Wirkungsgrades von 50% zur Umwandlung von elektrischer in Mikrowellenenergie aber erheblich teurer als die üblichen Instantisierverfahren.

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Sprühtrockner. Typisch für alle Trocknertypen ist das Gleichstromprinzip zwischen dem aufgegebenen Naßgut und dem Trocknungsgas. Da Lebensmittel temperaturempfindlich sind und selten Produkttemperaturen oberhalb von 50 °C vertragen, sind entsprechend lange Trocknungszeiten bzw. hohe Trocknertürme notwendig. Um eine ausreichende Verweilzeit erreichen zu können und dennoch die Bauhöhe der Anlagen nicht allzu groß werden zu lassen, haben sich spezielle Entwicklungen für das Instantisieren durchsetzen können; Abb. 13 zeigt zwei Beispiele. Zum einen läßt sich

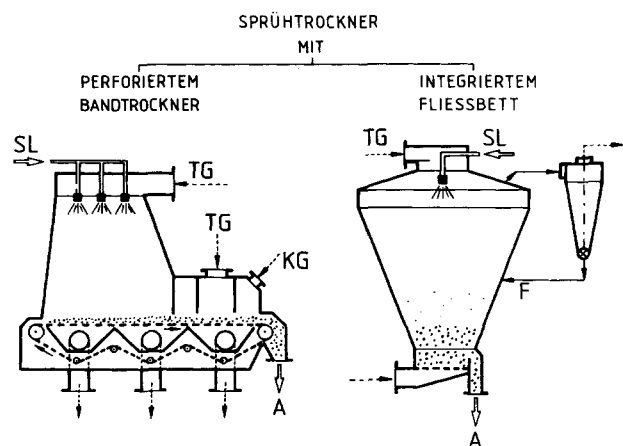


Abb. 13. Sprühtrockner zum Instantisieren, a) mit integriertem Bandtrockner, b) mit integriertem Fließbett. Abkürzungen: A = Agglomerat, F = Feingutrückführung, KG = Kühlgas, SL = Aufgabegut als Suspension oder Lösung, TG = Trocknungsgas.

ein Sprühtrockner mit einem Bandtrockner kombinieren, wobei ein perforiertes Band verwendet wird, durch das die Trocknungsluft strömen kann. Derartige Trockner besitzen meist zwei Trockenzonen und eine Kühlzone am Ende des Bandtrockners. In der ersten Stufe wird das Naßgut versprüht, aber nur wenig Wasser entzogen, so daß die Haupttrocknung des Materials erst auf dem perforierten Band erfolgt. Die entstehenden Agglomerate sind vergleichsweise groß, so daß sie vielfach gebrochen und gesiebt werden, um die gewünschte Partikelgröße erhalten zu können. Da mit diesem Verfahren sehr lockere Agglomerate mit weiter Porengrößenverteilung hergestellt werden können, sind gute Instanteigenschaften einstellbar [14]. Eine andere Entwicklung zeigt Abb. 13 als Sprühtrockner mit integriertem Fließbett. Im Gegensatz zum herkömmlichen Sprühtrockner mit nachgeschaltetem Fließbett (Abb. 12 a), das nur in geringem Maße nachagglomeriert, wird mit dem integrierten Fließbett nach Abb. 13 das nur vorgetrocknete Sprühmaterial nachagglomeriert. Anfallendes Feingut wird über einen Zyklon abgeschieden und zurückgeführt, wo es im integrierten Fließbett agglomeriert werden kann. Durch Veränderung der Parameter lassen sich die Agglomeratgrößenverteilungen in einem derartigen Sprühtrockner mit Fließbett in weiten Grenzen variieren. Dadurch sind erhebliche Verbesserungen der

Instanteigenschaften gegenüber dem Sprühtrockner mit nachgeschaltetem Fließbett möglich [14].

#### 4.1.3 Preßagglomeration

Die Preßagglomeration liefert im allgemeinen Agglomerate mit nur geringer Porosität und damit ungünstigen Instanteigenschaften. Das Tablettieren und das Extrudieren gehören daher nicht zu denjenigen Agglomerierverfahren, die sich zum Instantisieren in besonderer Weise eignen. Mitunter werden jedoch Vorprodukte extrudiert, die dann später zerkleinert und schließlich durch eine Aufbauagglomeration instantisiert werden.

Häufiger dagegen wird das sogenannte Lochpressen eingesetzt, um Agglomerate mit noch brauchbaren Instanteigenschaften preisgünstig herstellen zu können. Der Vorteil des Lochpressens im Vergleich zur Aufbauagglomeration liegt im geringeren Flüssigkeitsbedarf, so daß die nachfolgende, stets erforderliche Trocknung weniger aufwendig ist. Zum Lochpressen werden zahlreiche verschiedene Maschinen angeboten. Am einfachsten noch ist das Durchpressen durch Sieböffnungen, wie es schematisch Abb. 12 zeigt. Wesentlich bei diesen Verfahren ist, daß nur mit geringen Preßdrücken gearbeitet wird, da sich sonst zu feste Agglomerate bilden, die nur langsam befeuchtet und schwierig dispergiert werden können.

Neben den genannten Methoden sind insbesondere in der Patentliteratur noch weitere Verfahren erwähnt, die sich nicht immer ohne Schwierigkeiten in das hier gewählte Schema aufnehmen lassen. Da die derzeitige Anwendung dieser Instantisierverfahren unbedeutend ist, wird auf eine zusätzliche Einteilung verzichtet.

#### 4.2 Nicht-Agglomerierverfahren

Bei den Instantisierverfahren, die nicht auf dem Agglomerieren von Partikeln beruhen, wird entweder das Benetzungsverhalten oder das Lösungsverhalten der Partikeln verbessert. Hierbei muß häufig die Zusammensetzung der Lebensmittel geändert werden, etwa durch Zusatzstoffe (z. B. Lecithin), durch Entzug von Inhaltsstoffen (z. B. Fett von der Partikeloberfläche) oder durch eine thermische Behandlung. Im Gegensatz zu den Agglomerierverfahren, bei denen lediglich Größe und Form der Partikeln verändert werden, können bei diesen Nicht-Agglomerierverfahren Nachteile im Hinblick auf die sensorische Qualität entstehen.

Um die Löslichkeit von kristallinen Lebensmitteln zu verbessern, kommt hauptsächlich eine Amorphisierung bzw. eine Teilamorphisierung in Frage [15].

An dieser Stelle sei vermerkt, daß man durch Zusatz von amorphem Zucker auch Agglomerierverfahren vereinfachen kann. Der Grund liegt darin, daß amorpher Zucker bereits bei relativen Umgebungsfeuchten von 70 bis 80% klebrige Oberflächen bildet, die zur Partikelhaftung führen und nach einem Trocknen und Kristallisieren sehr feste Brücken bilden.

Bei einigen Lebensmitteln genügt jedoch das Agglomerieren allein nicht, um gute Instanteigenschaften zu erreichen. In diesen Fällen hilft vielfach eine Kombination mit Nicht-Agglomerierverfahren. Beispielsweise läßt sich Vollmilchpulver mit guten Instanteigenschaften herstellen, wenn auf die Agglomerate Lecithin verteilt wird. Wegen des geringeren Fettgehalts und der damit verbundenen besseren Benetzbarkeit ist diese Maßnahme bei Instant-Magermilchpulvern nicht erforderlich.

## 5 Beispiele für Instantisierverfahren

### 5.1 Instant-Kaffee

Ein Beispiel für das Instantisieren von sprühgetrocknetem Kaffee zeigt Abb. 14. Nach der Extraktion der löslichen Anteile des Kaffees wird die Lösung eingedickt und

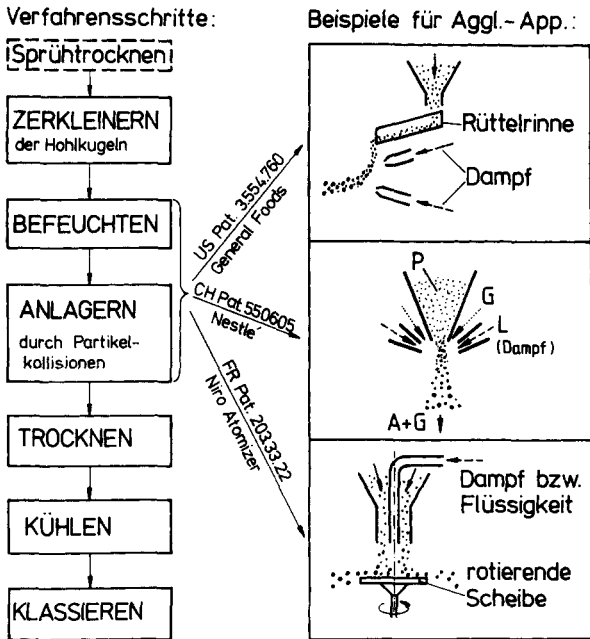


Abb. 14. Verfahrensschritte des Instantisierens von sprühgetrocknetem Kaffee mit Beispielen für Agglomerier-Apparate.

sprühgetrocknet. Um beim späteren Trockenprodukt die gewünschte Schüttdichte einstellen zu können, kann die Lösung beim Versprühen mit Kohlendioxid oder Stickstoff versetzt werden. Durch die sich bildenden, dünnwandigen hohlen Feststoffbereiche wird gleichzeitig eine hellere Farbe des Trockenproduktes erzielt [16]. Dadurch läßt sich bei sprühgetrockneten Produkten eine Farbe erzeugen, die derjenigen von gefriergetrocknetem Kaffee ähnlich ist. Da die beim Sprühtrocknen gebildeten Hohlkugeln beim Aufschütten auf eine Wasseroberfläche schwimmen und damit schwierig zu befeuchten sind, zerkleinert man sie zu Partikeln von etwa 25 bis 40  $\mu\text{m}$ , um sie anschließend durch eine Aufbauagglomeration zu größeren, lockeren Partikeln zu formen. Drei verschiedene Methoden sind als Beispiel für Agglomerationsverfahren in Abb. 14 skizziert. Beim Verfahren nach „General Foods“ wird das Feingut in Form einer „Gardine“ einer Dampfatmosfera ausgesetzt [17]. Bei entsprechender Feuchtigkeit und Temperatur wird Kaffee sehr klebrig [18], so daß jede Partikelkollision zu einer Agglomeration führt. Ähnliches gilt für die Strahlglomeration, bei der ebenfalls durch Partikelkollisionen Partikeln aneinander gelagert werden.

Das Verfahren mittels einer rotierenden Scheibe ist in der Patentliteratur beschrieben. Es dürfte vom Prinzip her weniger effektiv als die Strahlglomeration sein, da im Fliehkraftfeld die Wahrscheinlichkeit für Partikelkollisionen geringer ist.

Die gezeigten Beispiele zeichnen sich durch eine sehr kurze Verweilzeit der Partikeln im Agglomerator aus. Dadurch sind während der Erwärmungsphase infolge des Dampfes nur geringe Aromaverluste zu erwarten. In allen drei Fällen muß das Produkt anschließend getrocknet, meist gekühlt und schließlich durch Klassieren auf die gewünschte Parti-

kelgröße gebracht werden. Über die genannten Instantisierverfahren existieren außer der Patentliteratur keine wissenschaftlichen Arbeiten. Im Rahmen dieser Übersicht können die Verfahren hier jedoch nicht weiter vertieft werden. Da die Strahlglomeration sehr interessant und offensichtlich auch wirkungsvoll ist, wird hierüber in einer späteren Arbeit berichtet.

### 5.2 Kakaohaltige Instantprodukte

Kakaohaltige Instantprodukte werden meist für die Zubereitung von Getränken verwendet. Je nach Anwendung werden unterschiedliche Schüttdichte gefordert. Beim Einsatz dieser Instantprodukte in Automaten soll das Schüttdichte zwischen 0,5 und 0,6  $\text{g/cm}^3$  liegen, um möglichst wenig Raum in den Vorberatersbehältern dieser Automaten zu beanspruchen. Dagegen kann für Haushaltspackungen das Schüttdichte kleiner sein; es liegt zwischen etwa 0,30 und 0,35  $\text{g/cm}^3$ . In beiden Fällen werden ausreichende Instantheigenschaften verlangt. Wegen der lockeren Struktur der Produkte für Haushaltspackungen aufgrund des geringeren Schüttdichtes sind im Vergleich zu Automatenpulver bessere Instantheigenschaften möglich. Da das Pulver in Automaten intensiver mit der Flüssigkeit gemischt werden kann, sind etwas ungünstigere Instantheigenschaften vertretbar.

Im wesentlichen bestehen derartige kakaohaltige Produkte aus Zucker, Kakao und Nicht-Kakao-Produkten. Der Anteil der Zucker liegt für die meisten Produkte bei etwa 80%. Aufgrund des hohen Zuckergehaltes sind gute Instantheigenschaften möglich. Um eine genügende Benetzung erreichen zu können, wird stark entölter Kakao eingesetzt.

Die in Abb. 15 dargestellten Verfahrensschritte bestehen hauptsächlich aus einem intensiven Mischen der Bestandteile, einer Zerkleinerung und der anschließenden Aufbauagglomeration, die stets eine Feuchtglomeration ist. Beim System „Blaw Knox“ [17] wird die Mischung in einer Art Mischkammer mit Dampf bzw. fein verteilter Flüssigkeit beaufschlagt. Infolge der Relativbewegung der Parti-

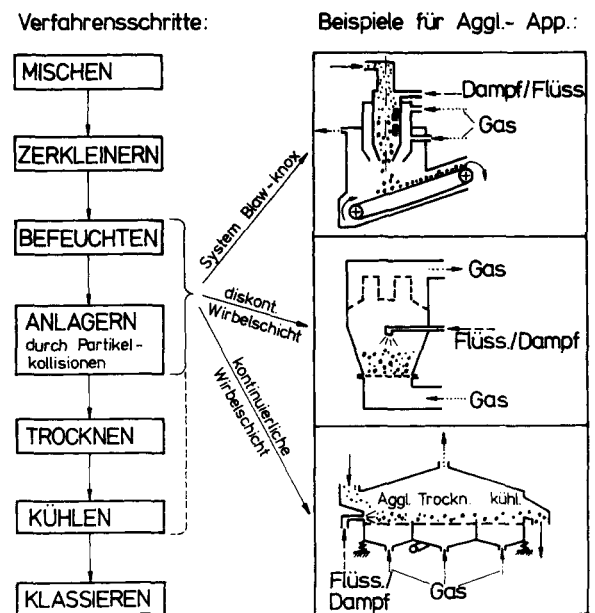


Abb. 15. Verfahrensschritte des Instantisierens von kakaohaltigen Produkten mit Beispielen für ausgeführte Agglomerier-Apparate.

keln zueinander kommt es zu Partikelkollisionen, die bei genügend starker Partikelhaftung zur Agglomeration führen. Das noch feuchte Material wird anschließend getrocknet und gekühlt. Als weitere Verfahren der Aufbauagglomeration sind diskontinuierliche oder kontinuierliche Wirbelbetten in Gebrauch. Während man beim diskontinuierlichen Fließbett je nach Produktcharge solange warten kann, bis die gewünschte Agglomeratgrößenverteilung entstanden ist, bereitet dies bei kontinuierlich betriebenen Wirbelschichten Schwierigkeiten. Durch Neuentwicklungen, bei denen in jedem Teilschritt die Verweilzeit eingestellt werden kann, lassen sich derartige Probleme zufriedenstellend lösen. Während beim diskontinuierlichen Fließbett in der gleichen Apparatur nacheinander agglomiert, getrocknet und anschließend gekühlt wird, geschehen diese Verfahrensschritte bei der kontinuierlichen Fließbetttagglomeration in den unterschiedlichen Kammern des Apparats (Abb. 15). Bei allen genannten Verfahren wird zum Abschluß die gewünschte Partikelgrößenverteilung durch Klassieren hergestellt, wobei das Grobgut nach einer Zerkleinerung und das Feingut direkt der Aufbauagglomeration erneut zugeführt werden.

### 5.3 Instant-Milchpulver

Als Beispiel zeigt Abb. 16 die Herstellung von Instant-Vollmilchpulver nach dem „straight through“-Verfahren [19]. Bei diesem Verfahren wird das Produkt im Sprühturm gleichzeitig getrocknet und agglomiert und damit in einem Durchgang erzeugt. Es ist für Milchpulver in der Regel nicht notwendig, die Sprühtrocknung und die anschließende Agglomeration von Feingut in zwei getrennten Apparaten vorzunehmen. Es gehört heute zum Stand der Technik, das Feingut wieder zurückzuführen und damit in der Sprühzone gleichzeitig eine Agglomeration zu bewirken. Um Vollmilchpulver mit guten Instanzeigenschaften herstellen zu können, ist eine Verbesserung der Benetzbarkeit in der Regel durch Zufuhr von Lecithin nötig. Wie Abb. 16 zeigt, wird dieser Schritt nach einer Zwischenlagerung des Basispulvers durchgeführt. Da über die Herstellung von Instant-Milchpulver eine umfangreiche Fachliteratur existiert [19, 20], sollen diese Verfahren hier nicht vertieft werden.

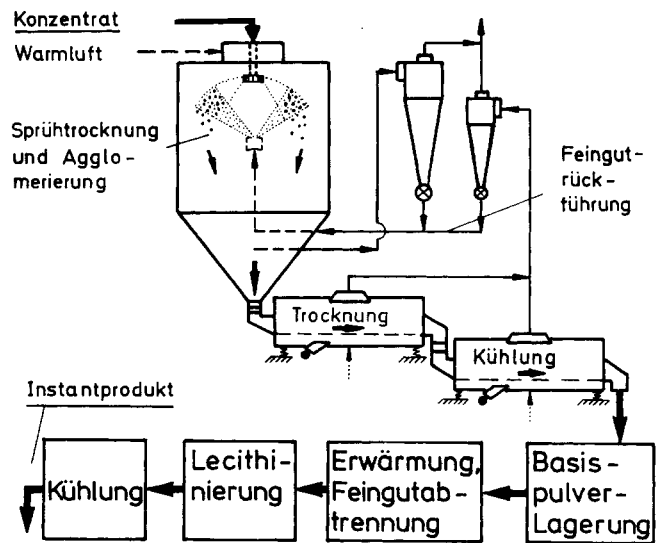


Abb. 16. Beispiel für die Herstellung von Instant-Vollmilchpulver nach dem „straight through“-Verfahren.

### 5.4 Stärkehaltige Instantprodukte

Abb. 17 zeigt schematisch die einzelnen Schritte zum Instantisieren stärkehaltiger Produkte. Als Ausgangspulver kann Quellstärke oder Mehl verwendet werden. Bei Quellstärke ist zunächst eine hydrothermische Behandlung nötig, um letztlich ein kaltwasserlösliches Produkt infolge der Stärkeverkleisterung herstellen zu können. Wie man erkennt, lassen sich beim Extrudieren mehrere, früher einzeln vorgenommene Schritte in einer Maschine durchführen. Das Extrudieren hat sich daher heute für die Herstellung kaltwasserlöslicher Stärkeprodukte durchsetzen können. In der Regel hat ein solches Produkt noch keine ausreichenden Instanzeigenschaften, so daß es in einem anschließenden Schritt agglomiert werden muß. Einige übliche Verfahren der Feuchtagglomeration sind in Abb. 17 zusammengestellt. Nach dem auch sonst üblichen Trocknen, Kühlen und Klassieren erhält man ein rieselfähiges Produkt mit ausreichenden Instanzeigenschaften. Die in Abb. 17 genannten Feuchtagglomerierverfahren sind in der Fachliteratur eingehend beschrieben [21], so daß

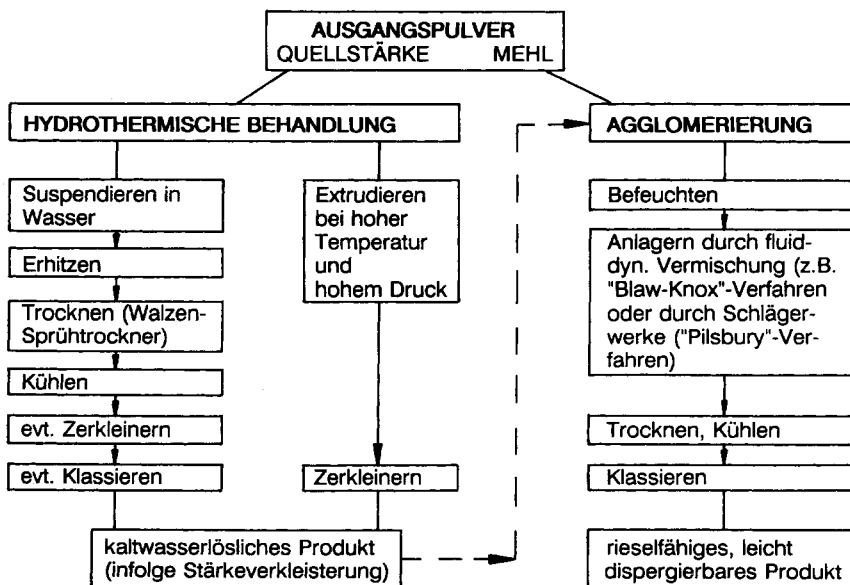


Abb. 17. Verfahrensschritte zum Instantisieren stärkehaltiger Produkte.

an dieser Stelle auf die Wiedergabe von Prinzipskizzen verzichtet wird.

## 6 Messung der Instanteigenschaften

Um den Erfolg eines Instantisierverfahrens prüfen zu können, sind Messungen der Instanteigenschaften unerlässlich. Derartige Messungen werden sowohl zur Weiter- und Neuentwicklung von Verfahren als auch zur fortlaufenden Produktkontrolle benötigt. Schließlich müssen auch die Abnehmer und Verbraucher von Instantprodukten die Qualität beurteilen können. Die Instanteigenschaften machen einen Teil dieser Qualität aus.

Wie in Kap. 2 beschrieben, setzen sich die gesamten Instanteigenschaften aus vier Teileigenschaften zusammen, welche die Kinetik des Gesamtvorgangs beeinflussen. Zur Klärung der Frage, welche dieser vier Teilschritte der zeitbestimmende ist, müssen sie getrennt gemessen werden. Hierzu wurden spezielle Meßtechniken entwickelt. Die Kinetik der Befeuchtung einer Schüttung kann mit der in Abb. 18 gezeigten Apparatur gemessen und mittels

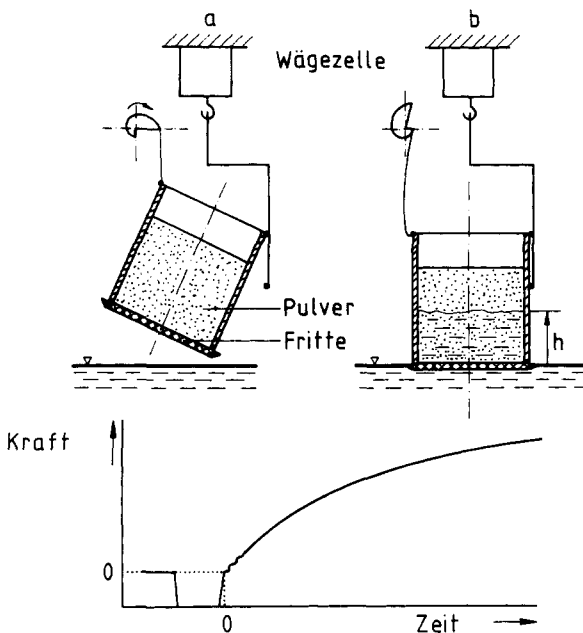


Abb. 18. Meßzelle zur Bestimmung des dynamischen Befeuchtungsverhaltens von Pulvern [5]. Die gemessene Kraft ist dem eingedrungenen Flüssigkeitsvolumen proportional.

stoffspezifischer Größen beschrieben werden [5]. Das zu untersuchende Instantprodukt wird in die Meßzelle gefüllt, die an einer Kraftmeßdose (Wägezelle) befestigt ist. Sobald die Meßzelle in die Flüssigkeit eingeschwenkt ist, wird die Kraft, die dem eingesaugten Flüssigkeitsvolumen  $V_L$  proportional ist, in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet. Für Routineuntersuchungen wurden Schnelltests entwickelt, bei denen die gesamte Befeuchtungszeit einer standardisierten Probe gemessen wird. Das Instantprodukt kann dabei entweder gleichmäßig und in definierter Weise auf die Flüssigkeitsoberfläche geschüttet werden [6], oder die Flüssigkeit wird von unten so zugeführt, daß die Schüttung zunächst aufschwimmt und danach die Flüssigkeit in das Porensystem dringt. Der Vorteil dieser Anordnungen liegt darin, daß die Veränderung der Eindringtiefe durch den absinkenden Feststoffanteil mitberücksichtigt wird.

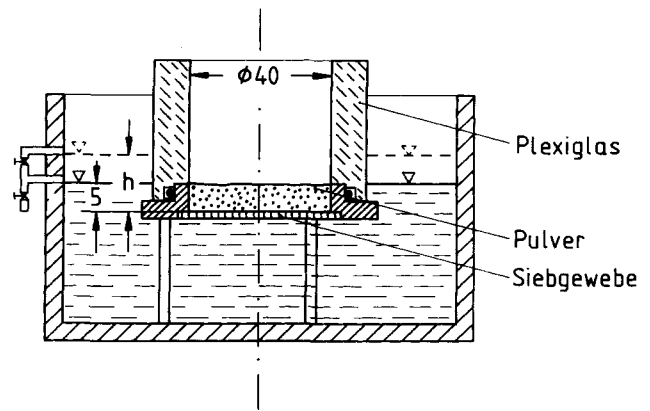


Abb. 19. Meßzelle zur Bestimmung der Benetzungszeit nach der Eintauchmethode; Maße in mm.

Um das Eindringverhalten einer Flüssigkeit in eine Pulverschüttung auf möglichst allgemeine und einfache Weise messen zu können, wurde die in Abb. 19 gezeigte Eintauchmethode entwickelt. Das Instantprodukt wird zunächst auf definierte Weise in die Meßzelle gefüllt, deren Boden aus einem groben Siebgewebe besteht. Um eine ebene Pulveroberfläche erreichen zu können, wird das überstehende Produkt abgestreift. Anschließend wird die Meßzelle durch einen aufgesetzten Plexiglaszylinder verlängert, so daß die Schüttung von oben vor Flüssigkeit geschützt ist. Für unterschiedliche Schütthöhen werden jeweils unterschiedliche Meßzellen bzw. Einsätze benötigt. Die gefüllte Meßzelle wird schließlich in die Flüssigkeit mit festgelegtem Flüssigkeitsspiegel getaucht. Je nach der Höhe dieses Flüssigkeitsspiegels wird die Pulverschicht mehr oder weniger stark angehoben. Auf diese Weise ist es möglich, daß während der Befeuchtung auch Material absedimentieren kann. Die Anordnung gestattet es daher, auch den Bereich der stationären Befeuchtung (Kap. 3) zu erfassen. Man kann auch vollständig auf das Siebgewebe verzichten und stattdessen eine vorgespannte Membran verwenden, die man nach dem Eintauchen mittels einer von unten zugeführten Nadel zum Platzen bringt. Auf diese Weise ist ein vollkommen ungestörtes Absedimentieren von der untersten Schicht der Pulverschüttung erreichbar.

Unabhängig davon, ob der Boden der Meßzelle aus einem Sieb oder einer Membran besteht, wird jeweils durch Beobachtung die Benetzungszeit bis zur vollständigen Durchfeuchtung der Schüttung gemessen. Das Ergebnis kann entweder als Funktion der Benetzungszeit über der Schütthöhe oder für eine vorgegebene Schütthöhe  $h_0$  als gemessene Benetzungszeit angegeben werden, die ein Maß für die Benetzbarkeit ist. Anstelle der Benetzungszeit  $t$  kann als dimensionslose Kenngröße auch die Kapillarzah

$$Ca = \frac{\eta_L h_0}{\gamma_L t} \quad (19)$$

bzw.  $1/Ca$  verwendet werden, vgl. [5].

Ein Beispiel für die Abhängigkeit zwischen Benetzungszeit und Schütthöhe für handelsübliches instantisiertes Magermilch- und Vollmilchpulver zeigt Abb. 20. Die Auftragung entspricht derjenigen von Abb. 6. Gemessen wurde jeweils nach der Eintauchmethode mit und ohne Siebgewebe. „Ohne“ Siebgewebe bedeutet hier, daß entweder eine Membran zum Platzen gebracht wurde oder das Schüttgut nach dem Eintauchen ausreichend hoch angehoben war. In beiden Fällen kommt es darauf an, daß die unterste Schicht der Pulverschüttung ungehindert absedimentieren kann.

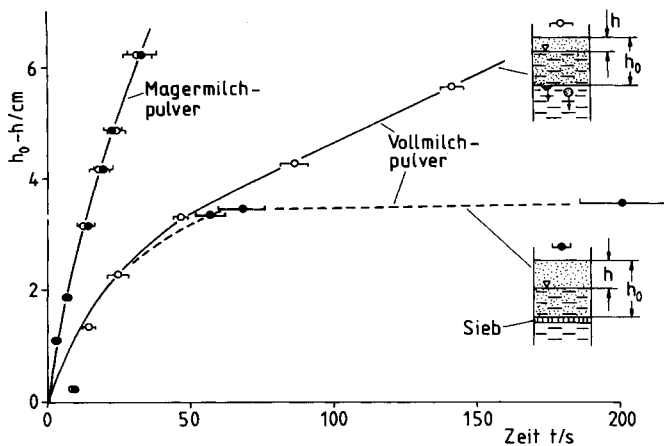


Abb. 20. Kapillare Befuchtung von instantisiertem Magermilch- und Vollmilchpulver, gemessen nach der Eintauchmethode mit und ohne Siebböden. Die Balken an den Meßpunkten geben jeweils die Standard-Abweichungen an.

Aus den Meßergebnissen wird deutlich, daß Magermilchpulver wegen der besseren Benetzbarkeit vergleichsweise schnell und instationär befeuchtet wird. Da bis zur untersuchten Schütthöhe noch kein Material absedimentiert, liefern beide Methoden auch die gleichen Ergebnisse. Anders dagegen verhält sich Vollmilchpulver, das im untersuchten Bereich auch stationär befeuchtet wird. Verhindert man durch ein Sieb das Absedimentieren von Partikeln der untersten Schicht der Schüttung, so führt dies zur Quellung und Verstopfung der Poren, so daß der kapillare Flüssigkeitstransport praktisch zum Erliegen kommt. Der Vergleich mit Abb. 6 unterstützt die in Kap. 3 entwickelte Modellvorstellung.

Abb. 21 zeigt den Einfluß der Partikelgröße  $x$  auf die Benetzungszeit. Hierzu wurden handelsübliche Instantprodukte in enge Fraktionen geteilt und die Benetzungszeit für jede Fraktion nach der Eintauchmethode bei einer Schütthöhe  $h_0 = 5$  mm gemessen. Für diese Untersuchungen wurde ein ungehindertes Absedimentieren von Partikeln der untersten Schicht zugelassen. Man erkennt für Magermilchpulver und das kakaohaltige Produkt einen steilen

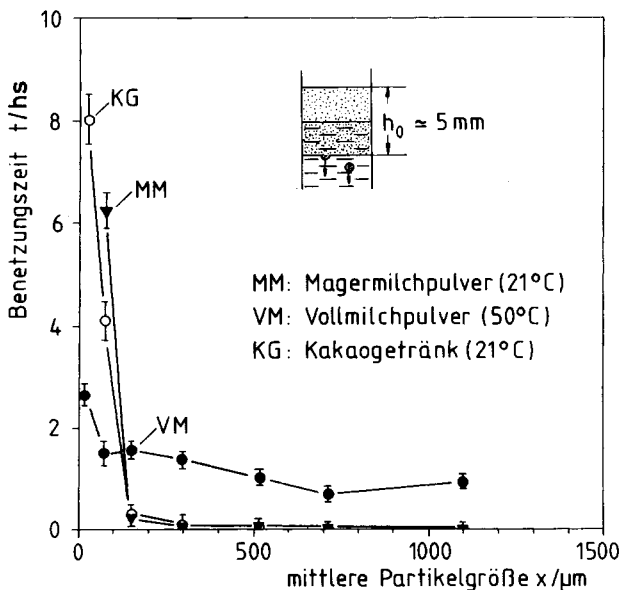


Abb. 21. Benetzungszeit (mit Standard-Abweichungen) bei der Schütthöhe  $h_0 = 5$  mm für 3 handelsübliche Instantprodukte.

Anstieg der Benetzungszeit für  $x \approx 150$   $\mu\text{m}$ . Dieser steile Anstieg, der für viele Lebensmittelpartikeln mit  $x < 150$  bis 200  $\mu\text{m}$  typisch ist, läßt sich nicht mit Hilfe von Gl. (9) erklären, sondern erfordert das in Kap. 3 entwickelte Modell. Bei hinreichend kleinen Partikeln dauert die Befuchtung so lange, daß die Zeit zum Quellen der Partikeln ausreicht und dadurch die Poren verstopft werden. Anders dagegen verhält sich das Vollmilchpulver mit dem größeren effektiven Randwinkel. Bei sehr kleinen Partikeln wird dieses schlechter benetzbare Produkt schneller befeuchtet. Hier gilt die gleiche Erklärung, wie sie im Zusammenhang mit Abb. 7 gegeben wurde.

Neben der Befuchtung eines Instantproduktes ist die Dispergierbarkeit von besonderer Bedeutung. Sie kann durch eine Messung der Größenverteilung der suspendierten Partikeln in Abhängigkeit von der Zeit und der Intensität der mechanischen Dispergierung erfaßt werden. Bei schnellen Dispergiervorgängen reicht die Zeit für die Messung der Partikelgrößenverteilung nicht aus, so daß mittels Extinktionsmessung lediglich ein Mittelwert der Partikelgrößenverteilung gemessen wird [22], aus dem die Kinetik des Dispergiervorgangs ermittelt werden kann. Diese Methode ist grundsätzlich auch für lösliche Produkte geeignet, allerdings kann nicht zwischen den Vorgängen des Dispergierens und Lösens unterschieden werden. Interessiert die Kinetik des Lösungsvorgangs, so muß je nach Stoff ein anderes physikalisches Meßprinzip – z.B. die elektrische Leitfähigkeit oder der pH-Wert der Flüssigkeit – in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt werden.

Die Meßmethoden zur Untersuchung der Teilvorgänge, die beim Aufschütten eines Instantproduktes auf eine Flüssigkeit ablaufen, sind zwar für die Forschung und Entwicklung hilfreich, vielfach interessiert in der Praxis jedoch eine Methode, die die gesamten Instanzeigenschaften in einem Meßwert zusammenfaßt. Um eine derartige Meßmethode entwickeln zu können, muß zuvor untersucht werden, welchem Verwendungszweck das Instantprodukt nach der Dispergierung dient und welche speziellen Anforderungen gestellt werden. So kommt es beispielsweise bei instantisierten Farbpigmenten auf den Farbeffekt und damit auf die Partikelgröße der suspendierten Feststoffe an. Diese Forderung wird nicht für Instant-Lebensmittel erhoben, stattdessen werden andere Eigenschaften verlangt. Dies soll an einem abschließenden Beispiel erläutert werden.

Instantisierte, also agglomerierte Getränkepulver wie Kaffee-, Milch- und Kakaopulver sollen sich in Wasser (oder Milch) schnell dispergieren oder auflösen lassen. Gefordert wird, daß nach kurzem Einrühren des Produktes in die Flüssigkeit die Partikeln in angemessener Zeit weder aufschwimmen noch auf den Boden des Flüssigkeitsgefäßes sedimentieren. Die weitere Forderung, daß keine „zu großen“ Partikeln bzw. Klumpen zurückbleiben, ist in der Praxis durch die zuerst genannte Forderung erfüllt. Die Partikeln müssen also ausreichend benetzbar sein (kein Aufschwimmen) und für eine angemessene Zeit in Schwebelage gehalten werden. Dies läßt sich dadurch erreichen, daß die Partikeln nach einer schnellen und vollständigen Durchfeuchtung hinreichend fein dispergiert werden. Die Feinheit richtet sich nach der Sedimentationsgeschwindigkeit, also nach der im allgemeinen vorgegebenen Dichte der Partikeln sowie nach der Viskosität der Flüssigkeit. Die Viskosität kann z.B. durch pflanzliche Zusatzstoffe, die dem Instantprodukt beifügt werden, in Grenzen erhöht werden. Dadurch können auch größere Partikeln zugelassen, also die Instanzeigenschaften verbessert werden. Wesentlich ist die Feststellung, daß es nicht auf die Größe der dispergierten Partikeln ankommt und der Dispergier-

prozeß auch nicht abgeschlossen sein muß. So beobachtet man beispielsweise bei Milchpulver mit sehr guten Instanzeigenschaften noch nach einstündiger Dispergierung in Wasser einen weiteren Agglomeratzerfall bis zu Partikeln unterhalb von  $0,5 \mu\text{m}$ . Auf der Grundlage dieser Überlegungen wurde eine Meßapparatur entwickelt, die zur Bestimmung der Instanzeigenschaften von Lebensmitteln geeignet ist. Zunächst wird das Produkt nach internationalem Standard [23] dispergiert und nach einer festgelegten Sedimentationszeit in zwei Fraktionen getrennt [2]. Die Mittelfraktion enthält das für diesen Zweck ausreichend dispergierte Gut, im Restgut befinden sich die auf dem Gefäßboden abgedimentierten sowie die an der Flüssigkeitsoberfläche schwimmenden, nicht benetzten Partikel. Damit läßt sich folgender Dispergiertgrad definieren:

$$D_r = \frac{c_{md}}{c_{mr}} \quad (20)$$

Hierin sind  $c_{md}$  bzw.  $c_{mr}$  die Feststoffmassenkonzentrationen des dispergierten bzw. Restgutes.

Zweckmäßiger ist der auf die Gesamtkonzentration  $c_{mges}$  bezogene Dispergiertgrad:

$$D = \frac{c_{md}}{c_{mges}} \quad (21)$$

Zu beachten ist, daß der so definierte Dispergiertgrad nicht nur die Dispergierbarkeit, sondern alle Teileigenschaften nach Kap. 2 berücksichtigt, also ein Maß für die gesamten Instanzeigenschaften ist. Zwischen den Gln. (20) und (21) besteht eine einfache Umrechnungsbeziehung [2], die sich aus dem standardisierten Massenverhältnis der zwei Fraktionen ergibt. Der so definierte Dispergiertgrad kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen;  $D = 1$  wird für ein Produkt mit ideal guten Instanzeigenschaften erreicht. (In den letzten Jahren konnte der Dispergiertgrad von marktüblichen Instant-Lebensmitteln durch Verbesserung der Gesamtverfahren ständig erhöht werden; er liegt derzeit für viele Produkte bei  $D \geq 0,85$ . Allerdings sind heute auch noch instantisierte Lebensmittel auf dem Markt, für die ein Dispergiertgrad von  $D < 0,5$  gemessen wurde.)

Zur Messung der Konzentrationen wurde eine Apparatur entwickelt, die schematisch in Abb. 22 gezeigt ist. Das Verhältnis der Konzentrationen von dispergiertem und Restgut kann mit der Meßanordnung fotometrisch bestimmt werden, wenn zuvor beide Fraktionen gleichartig mit Ultraschall dispergiert wurden und eine Rückverdünnung der Suspensionen stattgefunden hat. Einzelheiten

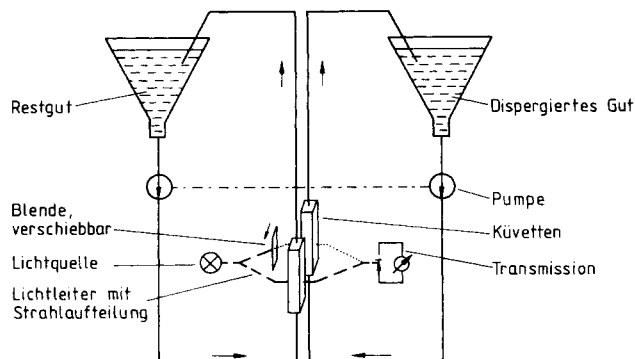


Abb. 22. Schematische Darstellung der Meßapparatur zur fotometrischen Bestimmung des Dispergiertgrades von pulverförmigen Lebensmitteln [2].

hierüber sind publiziert [2]. Der gesamte Meßvorgang, der von Mikroprozessoren gesteuert wird, läuft vollautomatisch ab; der Dispergiertgrad wird nach einer Mittelung von ca. 1000 Meßwerten mit Hilfe eines eingebauten Rechners bestimmt und nach ca. 2 min angezeigt. Das Gerät hat sich inzwischen im praktischen Einsatz bewährt.

Man kann die für Gl. (21) benötigten Konzentrationen auch gravimetrisch aus den eingedampften und definiert getrockneten Proben gewinnen [23], was mehrere Stunden erfordert. Der so gravimetrisch ermittelte Dispergiertgrad  $D_1$  ist in Abb. 23 mit dem fotometrisch bestimmten Disper-

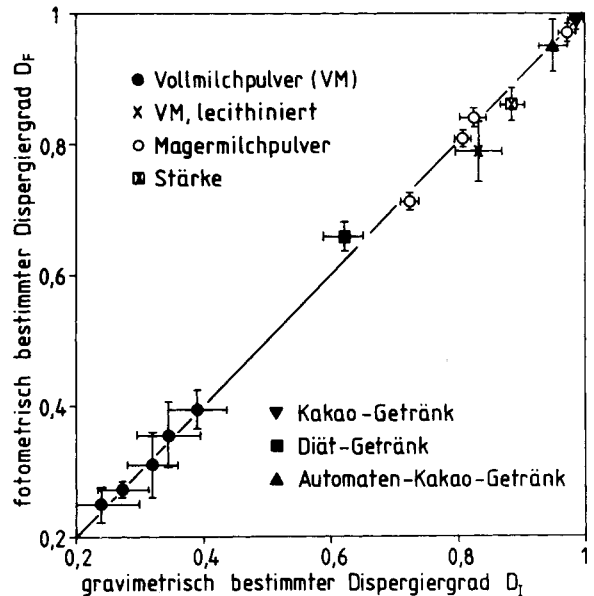


Abb. 23. Vergleich zwischen fotometrisch und gravimetrisch gemessenem Dispergiertgrad von handelsüblichen Instantpulvern. Die Balken an den Meßpunkten geben jeweils die Standardabweichungen an.

giertgrad  $D_F$  für verschiedene handelsübliche Instantprodukte verglichen. Die gute Übereinstimmung zwischen den beiden Meßwerten unterstreicht die Brauchbarkeit der fotometrischen Methode.

Ebenso wie die Benetzungszeit wurde auch der Dispergiertgrad  $D_1$  in Abhängigkeit von der mittleren Partikelgröße  $x$  für die in Abb. 21 bereits genannten, gleichen Produkte gemessen. Man erkennt aus Abb. 24 für Magermilchpulver und das kakaohaltige Instantprodukt, daß ab  $x > 150$  bis  $200 \mu\text{m}$  der Dispergiertgrad auf hohem Niveau konstant bleibt, für kleinere Partikeln dagegen stark abfällt. Diese Daten stimmen mit den Messungen der Benetzungszeit prinzipiell überein (Abb. 21), wobei natürlich ein hoher Dispergiertgrad einer kleinen Benetzungszeit zugeordnet ist. Dieses Ergebnis ist typisch für viele instantisierte Lebensmittelprodukte und besagt, daß hauptsächlich die Befuchtung der Schüttung der zeitbestimmende Teilvorgang ist (Kap. 2).

Eine Ausnahme bildet das hier untersuchte, nicht lecithinierte Vollmilchpulver. Wie Abb. 24 zeigt, nimmt der Dispergiertgrad bis zu Agglomeratgrößen von  $x > 1000 \mu\text{m}$  fortlaufend zu. Der Vergleich mit Abb. 21 lehrt, daß bei diesem Produkt offensichtlich auch der Teilschritt des Dispergierens ein zeitbestimmender Vorgang ist, da die Benetzungszeit für Agglomeratgrößen oberhalb  $200 \mu\text{m}$  nur geringfügig sinkt. Da lecithiniertes Vollmilchpulver einen wesentlich höheren Dispergiertgrad besitzt als das

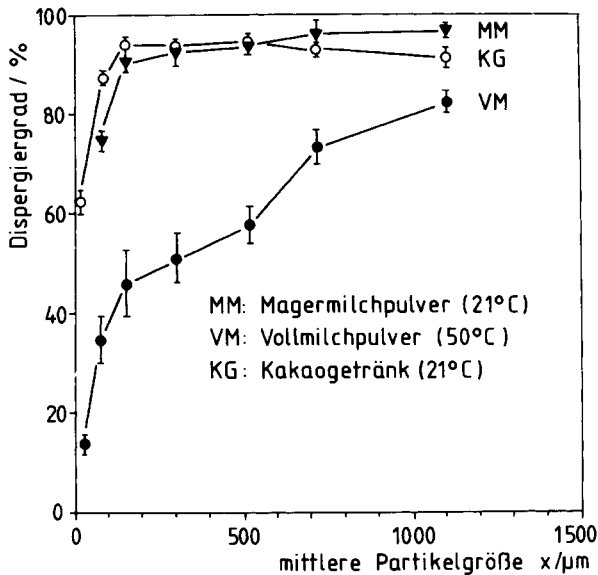


Abb. 24. Abhängigkeit des fotometrisch bestimmten Dispergiertgrades von der mittleren Partikelgröße für die in Abb. 21 genannten Instantprodukte.

nicht lecithinierte Produkt, beruht die Wirkung von Lecithin in diesem Fall zu einem erheblichen Anteil auch auf der Verbesserung der Dispergierbarkeit und nicht nur auf der verbesserten Benetzbarkeit.

Eingegangen am 30. April 1990 [B 5565]

## Literatur

- [1] Pfalzer, L.; Bartusch, W.; Heiss, R.: *Gordian* 74 (1974) S. 80/83, S. 126/129.
- [2] Schubert, H.: *Int. Z. Lebensmittel-Tech. Verfahrenstech.* 36 (1985) Nr. 1, S. 149/150, S. 152.

- [3] Schubert, H.: *Verfahrenstechnik (Mainz)* 12 (1978) Nr. 5, S. 296/301.
- [4] Van Brakel, J.: *Dissertation*, TH Delft 1975.
- [5] Schubert, H.: *Kapillarität in porösen Feststoffsystemen*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1982.
- [6] Schubert, H.: *Instantheigenschaften von agglomerierten Stoffen*, Preprints 1 des 3. Int. Symp. Agglomeration, Nürnberg 1981, S. A 68/A 82.
- [7] Carman, P. C.: *Flow of gases through porous media*, Butterworth, London 1956.
- [8] Molerus, O.; Pahl, M.; Rumpf, H.: *Chem.-Ing.-Tech.* 43 (1971) S. 376/378.
- [9] Newitt, D. M.; Conway-Hones, J. M.: *Trans. Inst. Chem. Eng.* 36 (1958) S. 422/442.
- [10] Schubert, H.: *Dissertation*, Univ. Karlsruhe 1972.
- [11] Ziegelitz, R.: *Dtsch. Mol. Ztg.* 104 (1983) Nr. 9, S. 263/266. Ferner: *Food Process (Chicago)* 57 (1988) Nr. 8, S. 9/12.
- [12] Hanson, E. S., in: *Changing food technology (Kroger, M.; Shapiro, R., Hrsg.)*, Technomic Publ. Comp. Inc., Lancaster/PA, USA 1987.
- [13] Schubert, H.: *Chem.-Ing.-Tech.* 51 (1979) S. 266/277.
- [14] Mignat, S.: *Sprühtrocknung und Instantisierung – ein allgemeiner Überblick*. *Dragoco Berichte* (1988) Nr. 4.
- [15] Niediek, E. A.: *Berichte über die 39. Diskussionstagung am 13./14. 11. 1980 in München des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e.V., Hannover*, S. 153/175.
- [16] Schweinfurth, H., in: *Trocknungstechnik (Kröll, K.; Kast, W., Hrsg.)*, III. Band: *Trocknen und Trockner in der Produktion*, Springer Verlag, Berlin 1989.
- [17] Pintauero, N.: *Agglomeration processes in food manufacture*. Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey/USA 1972.
- [18] Bos, J. W.; van der Lijn, J.: *Preprints der 3. Int. Fachtagung Instantisieren*, 20./23. 02. 1978, Solingen.
- [19] Pisecky, J.: *Dtsch. Mol. Ztg.* 21 (1978) S. 688/692.
- [20] Pisecky, J.: *J. Soc. Dairy Technol.* 34 (1981) 2, S. 57/62.
- [21] Seibel, W.: *Gordian* 77 (1977) Nr. 3, S. 58/64.
- [22] Polke, R.; Hermann, W.; Sommer, K.: *Chem.-Ing.-Tech.* 51 (1979) S. 283/288.
- [23] Mol, J. J.: *Progress Report of Group E, Int. Dairy Federation*, E-Doc. 90, Paris, June 1978.