

# Untersuchungen zur Bestimmung der Teilchengrößenverteilungsparameter für O/W-Emulsionen in Zusammenhang mit ihrer Stabilität

E. H. Reimerdes, P. Chr. Lorenzen, D. Precht und H.-A. Mehrens

E. H. Reimerdes und H. A. Mehrens: Lehrstuhl für Lebensmittel-Chemie und -Technologie – Bergische Universität – Gesamthochschule Wuppertal, Gausstr. 20 D-5600 Wuppertal (BRD)

P. Chr. Lorenzen: Milei Gesellschaft mbH, Leutkirch/Adrazhofen (BRD)

D. Precht: Institut für Chemie und Physik, Bundesanstalt für Milchwissenschaft, Hermann Weigmann Str. 5-7, 2300 Kiel (BRD)  
(Eingegangen 26. April 1985; Angenommen 6. Juni 1985)

*Es werden Untersuchungen zur Bestimmung von Teilchengrößenverteilungsparametern von O/W-Emulsionen und deren Korrelation zur Emulsionsstabilität beschrieben.*

*Die Emulsionen werden unter Einsatz verschiedener Proteine als Emulgatoren sowie unterschiedlicher Dispersiersysteme hergestellt und die Größenverteilung über eine computergestützte Auswertung lichtmikroskopischer Aufnahmen bestimmt. Dabei werden die Umfänge der Öltröpfchen auf einem Graphiktablett abgefahren und in einem Kleincomputer abgespeichert. Aus den Daten können neben der Größenverteilung eine ganze Reihe die Emulsion beschreibende Parameter berechnet werden. Diese Parameter werden mit der Emulsionsstabilität, gemessen nach Zentrifugation oder über die freie Aufrahmung mit Hilfe der Cerenkov-Strahlung, verglichen und diskutiert.*

*Dabei zeigt sich, dass sich die Methode zur Charakterisierung sowohl verschiedener Emulgatoren als auch unterschiedlicher Dispersiersysteme eignet. Gleichzeitig korrelieren die Verteilungsparameter bedingt mit der Emulsionsstabilität.*

## **The determination of the size distribution of oil/water emulsions with regard to its stability**

*Investigations to determine the size distribution of O/W emulsions and its correlation to emulsion stability are described. Emulsions were made using different protein bases, emulsifying agents, and dispersing systems. The size distribution was determined by a computer aided evaluation of light microscopic photographs of the emulsions. This was done by obtaining the circumference of the oil droplets on a graphic tableau and storage of the data in a personal computer. A set of size distribution parameters can be calculated from the data. These parameters are compared with the stability of the emulsions as determined from centrifugation data and creaming up curves obtained by Cerenkov-radiation measurements.*

*With the described method it is possible to characterize different emulsifying agents and dispersing systems. With some restrictions a correlation between size distribution parameters and emulsion stability data can be shown.*

## **Einleitung**

Zur Stabilisierung disperser Systeme werden in zunehmendem Masse Proteinemulgatoren eingesetzt. Dabei wird in der Regel nach empirischen Gesichtspunkten verfahren, ohne die jeweiligen Emulgatoreigenschaften der Proteinderivate zu analysieren. Im Hinblick auf einen erweiterten Einsatz von Milchproteinen in Lebensmitteln ist es dagegen wünschenswert, Proteinemulgatoren mit definierter Wirkungsweise herzustellen.

In diesem Zusammenhang wird es notwendig, geeignete Methoden zur Charakterisierung der Emulgatoreigenschaften von Proteinen zu entwickeln. Aus diesem Grunde wurden Untersuchungen zum Aufbau eines Messplatzes durchgeführt, um die Emulgatoreigenschaften von Milchproteinen beurteilen zu können (1). Eine der im Rahmen dieser Arbeit eingesetzten Methoden ist die Bestimmung der Teilchengrößenverteilung von Emulsionen.

Nach SHERMAN (2) bietet die Bestimmung der durchschnittlichen Teilchengröße und die daraus resultierende Verteilung das einzig probate Mittel zur Charakterisierung der Emulsionsstabilität.

Die einfachste Methode zur Ermittlung der Teilchengrößenverteilung ist das Ausmessen einer gewissen Anzahl von Teilchen unter dem Mikroskop (3).

Ein exakteres Verfahren stellt die manuelle oder automatische Auswertung von Mikrographien des betreffenden Systems dar (4). Zur Messung des Flockungsverhaltens von Emulsionen werden die für den medizinischen Bereich entwickelten Haemacytometer eingesetzt (5, 6).

Als weitere Methode zur direkten Messung der Teilchengröße muss das Zählen mit dem Coulter Counter erwähnt werden. (7).

Neben den bisher beschriebenen direkten Verfahren zur Ermittlung der Teilchengrößenverteilung werden eine Reihe von indirekten Messmethoden eingesetzt, zu denen u. a. die Trübungsmessung von Emulsionen gehört. Untersuchungen zu dieser Thematik wurden in der Hauptsache von PEARCE und KINSELLA (8), WALSTRA (9) und TORNBORG (10) durchgeführt.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden die Teilchen lichtmikroskopisch, photographisch erfasst, ihre Umfänge über ein Graphiktablett in einem Kleincomputer abgespeichert und mit Hilfe neu erstellter Programme die

Teilchengrößenverteilungsparameter errechnet. Das System wurde zur Charakterisierung der Grössenverteilungskennzahlen verschiedener Emulgierapparate eingesetzt. Dabei wurden die Parameter von Emulsionen, die mit einem nieder- und einem hochtourigen Flügelrührer, einer Zahnkolloidmühle sowie einem Ultraschallgenerator hergestellt worden waren, verglichen. Als Emulgatoren dienten Natrium-Caseinat, Molkenprotein-Konzentrat und Sojaprotein-Isolat.

Beim Vergleich von Grössenverteilungsparametern mit den Aufrahmungsergebnissen nach der Messung über die Cerenkov-Strahlung (11) sowie mit einer Zentrifugationsmethode war von besonderem Interesse, ob aufgrund der einfachen Messung von Grössenverteilungsdaten auf die Stabilität der Emulsion geschlossen werden kann. Aus dem gleichen Grund sollte auch der Vergleich mit dem «natürlichen» Emulsionssystem Rahm vollzogen werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Emulsionsherstellung

Es wurden folgende Materialien und Geräte eingesetzt: Natrium-Caseinat, Fa. DMV, NL; Molkenproteinkonzentrat, Fa. Milei, FRG.; Sojaproteinisolat, Fa. Central Soya, USA; Önanthsäuretriglycerid, Fa. Nobel, FRG; Rührwerk RZRI (Niedertouriger Flügelrührer), Fa. Heidolph, FRG; Homogenisator HO4 (Hochtouriger Flügelrührer), Fa. Bühler, FRG; Zahnkolloidmühle MZ50, Fa. Fryma-Maschinen AG; FRG; Soniprep 150, (Ultraschallgenerator), Fa. MSE Scientific Instruments, GB.

Zur Herstellung von O/W-Emulsionen wurden 5%ige Proteinlösungen (w/w), bezogen auf den Proteingehalt, bei einem pH-Wert von 7,0 in entionisiertem Wasser vorbereitet.

Den Proteinlösungen wurde unter Rühren (Niedertouriger Flügelrührer, 500 rpm) Önanthsäuretriglycerid bis zu einem Endfettgehalt der Emulsionen von 40% (w/w) zugesetzt.

Anschliessend erfolgte die Emulgierung der Rohemulsionen in den Dispergiermaschinen bei einer Ausgangstemperatur von 30°C.

In Tab. 1 sind die Parameter der Geräteeinstellung aufgeführt.

### 2.2 Stabilitätsmessung

Zur Stabilitätsmessung wurde ein radiochemisches Verfahren entwickelt, das die von einer Radium-Quelle in der Emulsion erzeugte Cerenkov-Strahlung nutzt, um den Aufrahmungsvorgang zeitabhängig zu erfassen (11).

Tab. 1 Einstellung der Geräteparameter zur Emulsionsherstellung

Emulgiersystem	Homogenisierzeit (min)	Drehzahl (rpm)	Schallintensität (Amplitude $\mu\text{m}$ )
Niedertouriger Flügelrührer	5	2000	—
Hochtouriger Flügelrührer	5	5000–20000	—
Zahn <sup>(1)</sup> Kolloidmühle	5	6000	—
Ultraschall-generator	1	—	4

<sup>(1)</sup> Der effektive Mahlpalt betrug 0,3 mm

Als Bewertungsmaßstab für die Emulgatoreigenschaften der Proteine galt die Zeit in Minuten, nach der eine Aufrahmung von 50% (A/2-Wert) erreicht war (1).

Darüber hinaus wurden je 50 ml der Emulsionen in 25 ml fassenden Zentrifugengläser einpipettiert und in 5-Minuten-Intervallen bei 3000 rpm (1200 xg) bis zur maximalen Aufrahmung zentrifugiert. Die Temperatur während der Zentrifugation betrug 18°C. Als Bewertungsmaßstab galt:

$t_{\text{max}}$  (min) = Zentrifugationszeit in Minuten bis zur maximalen Aufrahmung

### 2.3 Messung der Teilchengrößen

Es wurden folgende Geräte und Materialien eingesetzt: Kleincomputer Apple II plus mit graphics tablet und 8"-Floppy-disk-Laufwerk, Fa. Apple Computer Inc., USA; Lichtmikroskop mit Kamera, Fa. Leitz, FRG; Schwarzweissfilme 18 DIN, Fotopapier DIN A3; Gelatinepulver, Fa. Reinert; FRG.

Zur Präparation wurden 1 ml der Emulsionen und 9 ml einer 5%igen Gelatinelösung (pH 7,0) miteinander verrührt.

Von den Mischungen wurde ein Tropfen auf den Objektträger gebracht und mit einem Deckgläschen abgedeckt.

Am Lichtmikroskop wurden von den Objekten Aufnahmen bei einer Vergrößerung von 4,1×40 hergestellt.

Nach der Entwicklung der Negative wurden vergrösserte Abzüge der Objekte präpariert. Die Gesamtvergrößerung betrug 10×164.

Zur Bestimmung der Grössenverteilung erfolgte ein manuelles Umfahren der auf den Abzügen abgebildeten Fettkügelchen mit einem elektronischen Zeichenstift und die parallele Einspeicherung der gemessenen Teilchenumfänge in den Kleincomputer.

### 2.4 Auswertung der Teilchengrößenverteilungsparameter

Für einen Kleincomputer mit angeschlossenem Grafiktablett sind Programme erstellt worden, die es erlauben, Flächen, Umfänge und Durchmesser der Fettkügelchen von lichtmikroskopischen Aufnahmen auszuwerten. Hierzu mussten die Teilchen jeweils mit einem elektronischen Stift umfahren werden; die Auswertung und Anzeige auf einem Monitor erfolgte dann umgehend nach abgeschlossener Registrierung. Es war hierbei möglich, in einem Arbeitsgang mehrere tausend Kügelchen auszuwerten, wobei die gemessenen Werte im internen Speicher des Computers gespeichert wurden. Anschliessend war dann eine Übernahme der Daten auf Disketten möglich, so dass mit den vorliegenden Werten später verschiedene Berechnungen durchgeführt werden konnten.

Hierzu wurden Programme entwickelt, die es erlaubten, die Fettkügelchendurchmesser in eine vorgegebene Anzahl von Grössenklassen mit absoluten oder relativen (auf 100 normierten) Teilchenzahlen einzuteilen. Bei den Versuchen wurde jeweils eine Anzahl von 15 oder 20 Klassen gewählt bei einer Auswertung von über 2000–3000 Teilchen pro Versuch. Eine grössere Anzahl von ausgewerteten Fettkügelchen führte zu vernachlässigbaren Veränderungen der interessierenden weiteren Berechnungen.

Mit Hilfe der Rohdaten auf den Disketten bestand die Möglichkeit, verschiedene Grössenverteilungsparameter automatisch zu erhalten und zwischen den einzelnen Grössen mathematische Beziehungen zu erstellen. Folgende Parameter wurden benutzt:

Anzahl der Teilchen:  $N_i$

Durchmesser der Teilchen der i-ten Klasse:  $d_i$

Arithmetischer mittlerer Durchmesser:  $\bar{d} = \frac{S_1}{S_0}$

$$s_n = \sum_i N_i d_i^n$$

Volumenoberflächen-  
bezogener Durchmesser:

$$d_{vs} = \frac{S_3}{S_2}$$

Oberfläche pro Volumen  
Fett:

$$SV(\text{Fett}) = \frac{61}{d_{vs}}$$

Oberfläche pro Volumen:

$$\begin{aligned} SV(\text{Emulsion}) &= SV(\text{Fett}) \times FG \\ &\times \frac{Q_P}{Q_{Fe} \times 100} \\ &= SV(\text{Fett}) \times K \end{aligned}$$

$$K = \frac{\text{Dichte des Produktes}}{\text{Dichte des Fettes} \times \text{Fettgehalt}}$$

Breite der Verteilung (12):

$$B = \left[ \frac{S_2 \times S_4}{S_3^2} - 1 \right]^{1/2} \times 100$$

Anzahl der Kügelchen pro  
ml Fett:

$$AF = \frac{6 \times S_0}{n \times S_3} \times 10^{12}$$

Anzahl der Kügelchen pro ml  
Emulsion:

$$AE = AF \times K$$

Durchschnittliches  
Kügelchenvolumen:

$$V = \frac{n \times S_3}{6 \times S_0}$$

Durchschnittliche  
Kugeloberfläche:

$$O = \frac{n \times S_2}{S_0}$$

Mittlerer freier Abstand zwi-  
schen zwei Kügelchen (12):

$$\begin{aligned} MFA &= 0.225 \times d_{vs} \\ &\times \frac{68.5}{FG \times Q_P - 1} \end{aligned}$$

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Auswertung der gemessenen Teilchengrößen

Die am häufigsten verwendeten Parameter zur Charakterisierung von Größenverteilungen sind der mittlere Teilchendurchmesser ( $d$ ) oder das durchschnittliche Volumen ( $v$ ) der Teilchen.

Die Aussagekraft dieser beiden Parameter ist limitiert. Die zahlenmäßige Überlegenheit der kleinen Teilchen, die nur einen geringen Teil der Gesamtfettmenge einer Emulsion enthalten, führen zu niedrigen Werten.

Eine bessere Aussage über die Effektivität einer Emulgierung ermöglicht der sog.  $d_{vs}$ -Wert. Hiermit wird nach MÜLLER und WALSTRA (13) das Verhältnis vom Volumen der dispergierten Teilchen zur Oberfläche der Teilchen ausgedrückt. Dieser Parameter ermöglicht die Charakterisierung einer Größenverteilung mit einem Wert.

In **Abb. 1** sind die relativen Häufigkeiten bezogen auf die Teilchenzahl und des Fettvolumens in Abhängigkeit vom Teilchendurchmesser dargestellt. Als Beispiel wurde eine mit einem hoctourigen Flügelrührer (20.000 rpm) hergestellte Emulsion ausgewertet.

Aus der Abbildung wird deutlich, dass erhebliche Unterschiede zwischen beiden Darstellungen bestehen.

#### 3.2 Abhängigkeit der Teilchengrößen vom eingesetzten Emulgiersystem

Zunächst wurden die folgenden Emulgierapparate auf ihre Dispergierleistung hin überprüft:

- Niedertouriger Flügelrührer
- Hoctouriger Flügelrührer
- Zahnkolloidmühle
- Ultraschallgenerator

Als Emulgator diente jeweils Natrium-Caseinat

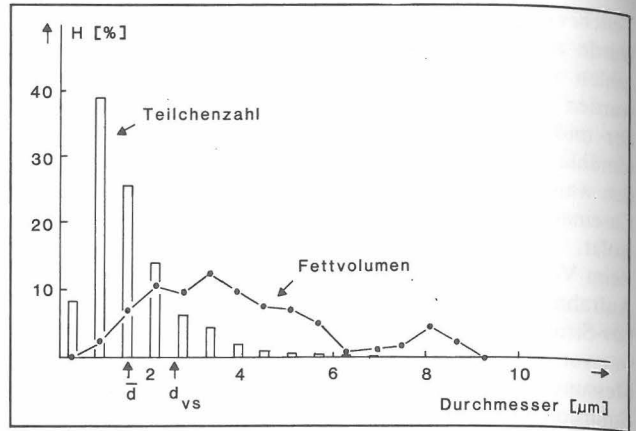


Abb. 1 Relative Häufigkeitsverteilung der Teilchenzahl und des Fettvolumens in Abhängigkeit vom Teilchendurchmesser (hoctouriger Flügelrührer 20000 rpm; Emulgator: Natrium-caseinat)

Ein Vergleich der Ergebnisse in **Tab. 2** zeigt, dass nur der hoctourige Flügelrührer eine relativ günstige Verteilung aufweist. Die Teilchengröße kommt hierbei den Werten eines für Lebensmittelsysteme relevanten Bereiches noch am nächsten ( $d_{vs}$ : ca. 2–5 µm).

Entsprechend hergestellte Emulsionen zeigten eine relativ hohe Stabilität.

Bei der Verwendung des niedertourigen Flügelrührers werden dagegen viel zu hohe Werte für den Teilchendurchmesser, sowie für den  $d_{vs}$ -Parameter erhalten. Dementsprechend ist der Oberflächen/Volumen-Wert der dispergierten Teilchen nur sehr niedrig.

Die mit dem Ultraschallgenerator hergestellten Emulsionen zeigen den weitaus niedrigsten  $d_{vs}$ -Wert. Die Zahnkolloidmühle nimmt in bezug auf das Dispergiervermögen einen mittleren Rang ein. Hierbei zeigte sich bei beiden Geräten mit zunehmender Homogenisierzeit eine Temperaturerhöhung der Emulsionen (7–13°C beim Ultraschallgenerator, 3–5°C bei der Zahnkolloidmühle), die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Wegen des nur schwer zu charakterisierenden Einflusses der Emulsionserwärmung auf die resultierende Stabilität insbesondere bei der Benutzung verschiedener Proteinemulgatoren (Caseinate, Molkenpulver, Sojaproteine) sowie wegen der mit Lebensmittelsystemen nicht vergleichbaren Teilchengrößen wurden im weiteren diese Emulgiersysteme nicht weiter verwendet.

#### 3.3 Abhängigkeit der Teilchengrößen von der Rotationsgeschwindigkeit des hoctourigen Flügelrührers

In weiteren Untersuchungen zur Beurteilung und Charakterisierung der Teilchengrößenverteilung von Modellemulsionen wurde versucht, die Emulsionsherstellung mit dem hoctourigen Flügelrührer zu optimieren. Als Emulgator wurde wiederum Natrium-Caseinat verwendet.

**Tab. 3** stellt die Abhängigkeit der Teilchengröße von der Rotationsgeschwindigkeit für den hoctourigen Flügelrührer dar. Es zeigt sich, dass ein erhöhter Energieeinsatz zu einer kontinuierlichen Verringerung der Teilchengröße und damit zu einer verbesserten Stabilität der Emulsionen führt.

Als optimale Rotationsgeschwindigkeit für die Simulation der Herstellung von Lebensmittelsystemen ( $d_{vs}$ : ca. 2–5 µm) erweist sich eine Drehzahl von 15–20000 rpm. Bei diesen Drehzahlen ergeben sich die grössten Übereinstimmungen gegenüber der Gesamtheit der Größenverteilungsparameter natürlicher Systeme wie Milch und Rahm (vgl. **Tab. 4**).

Tab. 2 Abhängigkeit der Teilchengrößenverteilungsparameter vom Emulgiersystem (Emulgator: Natrium-Caseinat)

Parameter		Emulgiersysteme			
		Niedertouriger Flügelrührer (2000 rpm)	Hochtouriger Flügelrührer (10000 rpm)	Zahnkolloidmühle (6000 rpm)	Ultraschall-generator (Amplitude 4 µm)
Arithmetischer Mittelwert	( $\bar{d}$ ) (µm)	13,66	3,30	4,38	0,64
Volumen-Oberflächenbezogener Mittelwert	( $d_{vs}$ ) (µm)	33,86	7,47	10,32	1,05
Oberfläche/Volumen (Fett)	(m <sup>2</sup> /ml)	0,18	0,80	0,58	5,70
Oberfläche/Volumen (Emulsion)	(m <sup>2</sup> /ml)	0,07	0,33	0,24	2,32
Breite der Verteilung	(%)	43,68	49,18	48,63	49,92
Anzahl der Kügelchen/ml Fett		$1,88 \times 10^8$	$1,44 \times 10^{12}$	$5,96 \times 10^9$	$4,65 \times 10^{12}$
Anzahl der Kügelchen/ml Emulsion		$7,67 \times 10^7$	$5,86 \times 10^9$	$2,43 \times 10^9$	$1,90 \times 10^{12}$
Durchschnittliches Kügelchenvolumen	(µm <sup>3</sup> )	5321,03	69,65	167,89	0,21
Durchschnittliche Kügelchenoberfläche	(µm <sup>2</sup> )	942,92	55,98	97,98	1,22
Mittlerer freier Abstand zwischen den Kügelchen	(µm)	5,60	1,23	1,71	0,17

Tab. 3 Teilchengrößenverteilungsparameter in Abhängigkeit von der Rotationsgeschwindigkeit/Emulgierzeit: 5 Min., Emulgator Natrium-Caseinat

Parameter		Hochtouriger Flügelrührer (Drehzahl, rpm)			
		5000	10000	15000	20000
Arithmetischer Mittelwert	( $\bar{d}$ ) (µm)	4,61	3,30	1,96	1,54
Oberflächen-/Volumenbezogener Mittelwert	( $d_{vs}$ ) (µm)	21,68	7,47	4,56	2,55
Oberfläche/Volumen (Fett)	(m <sup>2</sup> /ml)	0,28	0,80	1,32	2,36
Oberfläche/Volumen (Emulsion)	(m <sup>2</sup> /ml)	0,11	0,33	0,54	0,96
Breite der Verteilung	(%)	51,36	49,18	46,08	44,01
Anzahl der Kügelchen/ml Fett		$145 \times 10^9$	$1,44 \times 10^{10}$	$6,63 \times 10^{10}$	$4,53 \times 10^{11}$
Anzahl der Kügelchen/ml Emulsion		$5,93 \times 10^8$	$5,86 \times 10^9$	$2,70 \times 10^9$	$1,03 \times 10^{11}$
Durchschnittliches Kügelchenvolumen	(µm <sup>3</sup> )	687,67	69,65	15,08	3,96
Durchschnittliche Kügelchenoberfläche	(µm <sup>2</sup> )	190,32	55,98	19,86	9,32
Mittlerer freier Abstand zwischen den Kügelchen	(µm)	3,58	1,23	0,75	0,42

Tab. 4 Vergleich der Größenverteilungsparameter von Emulsionen hergestellt mit verschiedenen Emulgatoren (hochtouriger Flügelrührer, 20000 rpm)

Parameter		Natrium-Caseinat	Molkenprotein-Konzentrat	Sojaproteinsolat	Rahm 40% Fett
Arithmetischer Mittelwert	( $\bar{d}$ ) (µm)	1,54	1,62	1,67	2,12
Oberflächen-/Volumenbezogener Mittelwert	( $d_{vs}$ ) (µm)	2,55	4,70	8,40	3,35
Oberfläche/Volumen (Fett)	(m <sup>2</sup> /ml)	2,36	1,28	0,71	1,79
Oberfläche/Volumen (Emulsion)	(m <sup>2</sup> /ml)	0,96	0,52	0,29	0,77
Breite der Verteilung	(%)	44,01	65,10	76,63	38,88
Anzahl der Kügelchen/ml Fett		$2,53 \times 10^{11}$	$8,72 \times 10^{10}$	$3,43 \times 10^{10}$	$9,76 \times 10^{10}$
Anzahl der Kügelchen/ml Emulsion		$1,03 \times 10^{11}$	$3,56 \times 10^{10}$	$1,40 \times 10^{10}$	$4,20 \times 10^{10}$
Durchschnittliches Kügelchenvolumen	(µm <sup>3</sup> )	3,96	11,47	29,17	10,24
Durchschnittliche Kügelchenoberfläche	(µm <sup>2</sup> )	9,32	14,65	20,83	18,35
Mittlerer freier Abstand zwischen den Kügelchen	(µm)	0,42	0,78	1,39	0,55

### 3.4 Abhängigkeit der Teilchengrößen vom Emulgiersystem

In weiteren Versuchen wurden mit dem hochtourigen Flügelrührer bei einer Rotationsgeschwindigkeit von 20 000 rpm mit Hilfe von Natrium-Caseinat, Molkenprotein-Konzentrat und Sojaprotein-Isolat Emulsionen hergestellt.

In **Tab. 4** sind die Größenverteilungsmessergebnisse der mit diesen verschiedenen Proteinrohstoffen stabilisierten O/W-Emulsion aufgeführt und den Werten eines Rahms mit 40% Fettgehalt gegenübergestellt.

Die Werte für die Emulgatoren Natriumcaseinat und Molkenproteinkonzentrat sind am ehesten mit dem natürlichen Emulsionssystem Rahm vergleichbar. Eine gute Übereinstimmung zwischen einer mit Molkenproteinen stabilisierten Emulsion und 40%igen Rahm ist für das durchschnittliche Fettkügelchenvolumen und der daraus berechneten Anzahl der Kügelchen pro ml Emulsion oder Fett.

Die  $d_{vs}$ -Werte tendieren für das Natriumcaseinat zu einem kleineren, für das Molkenproteinkonzentrat zu einem höheren Wert hin, wobei beide Durchmesser im relevanten Bereich für eine Rahmemulsion liegen. Aus **Tab. 5** geht hervor, dass aus den Parametern für die Größenverteilung Rückschlüsse auf die Emulsionsstabilität gezogen werden können.

Berechnet man die Zeiten bis zur maximalen Aufrahmung ( $t_{max}$ ), so korreliert die Reihenfolge der Emulsionsstabilität von Molkenproteinkonzentrat über Natriumcaseinat und Sojaproteinisolat mit dem Grad der Dispersität der Emulsionen. Dieses gilt auch für die A/2-Werte mit Ausnahme des erhöhten Wertes für das Sojaproteinisolat.

**Tab. 5 Charakterisierung der Emulgatoreigenschaften von Proteinen mittels Aufrahmungsmessungen (hochtouriger Flügelrührer, 20 000 rpm)**

	A/2-Werte (min)	t max (min)
Natrium-Caseinat	126	40
Molkenproteinkonzentrat	314	60
Sojaisolat	129	15

### Diskussion

Die Teilchengrößenverteilung einer Emulsion ist ein wesentlicher Parameter zu ihrer Charakterisierung (2, 14). Sie ist auch von Bedeutung für die Bestimmung der Emul-

sionsstabilität, die in komplexer Form durch Aufrahmungs-, Flockungs- und Koaleszenzphänomene bestimmt wird (15, 16).

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die Messungen der Teilchengrößen mit Hilfe eines Kleincomputers die Berechnung einer Vielzahl von Größenverteilungsparametern ermöglicht. Dieses ist von besonderer Bedeutung, wenn berücksichtigt wird, dass zwei Emulsionen den gleichen mittleren Teilchendurchmesser aufweisen, aber aufgrund ihrer verschiedenen Verteilungsmuster unterschiedliches rheologisches und Aufrahmungsverhalten zeigen. Das beschriebene Verfahren ermöglicht es, bei konstanter Rezeptur der Emulsion sowohl die dispergierenden Eigenschaften unterschiedlicher Geräte zu erfassen als auch den Einfluss einer Variation von Geräteparametern auf die Teilchengrößenverteilung zu messen. Unter der Berücksichtigung der Größenverteilungsparameter natürlicher Emulsionssysteme, wie z. B. Rahm, lässt sich mit Hilfe unterschiedlicher Proteinemulgatoren und Emulgiersysteme eine Optimierung hinsichtlich der Stabilität von Emulsionen erzielen.

Der Vergleich der Ergebnisse für die Teilchengrößenverteilung mit den Daten über die Stabilitätsmessung nach der Zentrifugationsmethode bzw. der Messung der freien Aufrahmung zeigt, dass z. T. eine gute Übereinstimmung hinsichtlich einer Aussage über die Stabilität einer Emulsion besteht.

### Literatur

- LORENZEN, P. CHR., Dissertation, Universität Kiel, 1983.
- SHERMAN, P., Deutsche Molkerei Zeitung, 21, 710-718 (1981)
- QUACK, J.M., RENG, A.K. und SKRYPZAK, W., Parfümerie und Kosmetik, 56, 11, 309-323 (1975)
- LANGE, G., Wissenschaftliche Hausarbeit für die Realschullehrerprüfung, Lunden 1972.
- GOSWAMI, A.K., Annali di Chimica, 69, 389-397 (1979)
- SHERMAN, P., J. Texture Studies, 1, 43-51 (1969)
- LUCHTENBERG, H., Dissertation, Universität Bonn, 1978.
- PEARCE, K.N. und KINSELLA, J.E., J. Agric. Food Chem., 26, 3, 716-723 (1978)
- WALSTRA, P., J. Colloid and Interface Sci., 27, 3, 493-500 (1968)
- TORNBERG, E., ACS Symp. Ser., 92, 6, 105-123 (1979)
- WIECHEN, A., LORENZEN, P. CHR., REIMERDES, E.H., J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 81 (1), 117-123 (1984)
- WALSTRA, P., J. Colloid Interf. Sci., 27, 493 (1968)
- MULDER, H. und WALSTRA, P., The Universities Press, Belfast, 1974.
- REDDY, S.R. und FOGLER, H.S., J. Phys. Chem., 84, 1570-1575 (1980)
- SCHUSTER, G., ADAMS, W., Zeitschr. für Lebensmitteltechnik, 30, 57-64 (1979)
- TADROS, T.F., VINCENT, B., in Encyclopedia of Emulsion Technology, Ed. P. Becker, Marcel Dekker, New York, 1983.