

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Kenntnisstand	2
1.1.1 Fettkugelstabilität bei der Be- und Verarbeitung von Milch	2
1.1.2 Systematische Untersuchungen zur Fettkugelschädigung	8
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	11
<b>2 Allgemeine Grundlagen</b>	<b>13</b>
2.1 Inhaltsstoffe der Milch	13
2.1.1 Aufbau der Fettkugel	14
2.1.2 Die Fettkugelmembran	14
2.1.2.1 Der native Zustand	14
2.1.2.2 Die Membran homogenisierter Fettkugeln	16
2.1.2.3 Die Membran rekombinierter Fettkugeln	17
2.1.3 Das Milchfett	18
2.1.4 Kristallisationsverlauf in der Fettkugel	19
2.1.5 Destabilisierung der dispergierten Fettphase	20
2.1.6 Anziehende und abstoßende Kräfte um die Fettkugel	22
2.2 Strömungsmechanische Grundlagen	23
2.2.1 Rheologie newtonscher und nichtnewtonscher Fluide	23
2.2.2 Geschwindigkeitsverteilung in einer Rohrströmung für newtonsche Fluide	26
2.2.3 Strömungsdruckverlust und Strömung in Rohrwendeln	26
2.3 Viskosität von Suspensionen	28
2.4 Kugelförmige Partikel in laminarer Scherströmung	31
2.5 Die Weberzahl für den Tropfenaufbruch	34
2.6 Scherinduzierte Aggregation	35
<b>3 Material und Methoden</b>	<b>38</b>
3.1 Versuchsmaterialien	38
3.1.1 Rohstoffe	38
3.1.2 Milcheigene und milchfremde Pulverzusätze	38
3.1.3 Milchfettfraktionen	38
3.2 Bestimmung der Stoffdaten	39
3.2.1 Dichte	39
3.2.2 Rheologische Kenngrößen	40

3.2.3	pH-Wert	41
3.2.4	Fettkugelgrößenverteilung	41
3.2.5	Mikroskopische Untersuchungen	42
3.2.6	Magnetische Kernresonanzspektroskopie (NMR)	43
3.2.7	Fettgehalt	43
3.2.8	Modifizierte Freifett-Methode	43
3.3	Versuchsanlagen und Versuchsdurchführung	45
3.3.1	Lagerung der Proben	45
3.3.2	Fettkugelschädigung im Rotationsviskosimeter (Couette-Strömung)	46
3.3.3	Fettkugelschädigung in einer Rohrstrecke (Rohrströmung)	47
3.4	Viskositäts-erhöhung der äußeren Phase	48
3.4.1	Herstellung der Proben	48
3.4.2	Bestimmung der Viskosität der äußeren Phase bei Rahmproben	48
3.5	Herstellung von rekombiniertem Rahm mit natürlicher Fettkugelgrößenverteilung	49
3.6	Rahm mit modifizierter Partikelgrößenverteilung	51
<b>4</b>	<b>Verfahrenstechnische Einflußgrößen auf die Fettkugelschädigung</b>	<b>52</b>
4.1	Veränderung der Fettphase durch Strömungsvorgänge	52
4.1.1	Mikroskopisches Erscheinungsbild	52
4.1.2	Veränderung der Fettkugelgrößenverteilung	57
4.1.3	Nachweis der Fettkugelschädigung mittels modifizierter Freifett-Methode	59
4.1.4	Rheologische Veränderungen	60
4.1.5	Bewertung und Einsatzmöglichkeiten der Methoden	62
4.2	Fettgehaltsabhängige Veränderung der Scherempfindlichkeit	63
4.2.1	Theoretische Grundlagen und Ableitung eines Modells	63
4.2.2	Experimentelle Bestätigung der Modellvorstellung	65
4.2.3	Anpassung des Modells und Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs	66
4.3	Einfluß der Temperatur auf die Stabilität der Fettkugel gegenüber Scherbeanspruchung	67
4.3.1	Scherempfindlichkeit von Roh- und erhitztem Rahm	67
4.3.2	Einfluß des kristallinen Fettanteils auf die Stabilität	70
4.3.3	Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs für die Fettkugelschädigung im Temperaturbereich von 5 bis 20 °C	72
4.4	Beanspruchung von Fettkugeln bei erhöhter Viskosität der äußeren Phase	72
4.4.1	Theoretische Grundlagen der Versuche	73
4.4.2	Experimentelle Ergebnisse	74
4.4.3	Bestimmung der kritischen Schubspannung für die Fettkugelschädigung	76

4.5 Einfluß der Beanspruchungsdauer	78
4.5.1 Untersuchungen zum Scherzeitverhalten bei unterschiedlichen Fettvolumenkonzentrationen und Schertemperaturen	78
4.5.2 Kombination der Einflußfaktoren Fettvolumenkonzentration und Temperatur mit der Scherzeit	80
4.6 Fettkugelstabilität bei verringertem Fettkugeldurchmesser	87
4.6.1 Übertragung der Weberzahl auf die Fettkugelschädigung	87
4.6.2 Experimentelle Ergebnisse bei Rahm mit modifizierter Fettkugelgrößenverteilung	88
4.6.3 Bestimmung der scheinbaren Grenzflächenenergie	90
4.7 Übertragung der Ergebnisse aus den Modellversuchen auf die Rohrströmung	92
4.7.1 Anwendung auf die laminare Rohrströmung	95
4.7.2 Experimente in laminarer Rohrströmung	97
4.7.3 Anwendung auf die turbulente Rohrströmung	100
4.7.4 Experimente bei erhöhter Reynoldszahl	101
4.7.5 Festlegung der kritischen Strömungsgeschwindigkeit für Milch und Rahm in Rohrleitungen	103
4.8 Die Viskosität von Milch und Rahm	105
4.8.1 Berechnungen der Viskosität nach der Suspensionstheorie	105
4.8.2 Experimentelle Ergebnisse	107
<b>5 Technologisch bedingte Veränderungen der Fettkugelstabilität</b>	<b>109</b>
5.1 Einfluß von Zusätzen	109
5.1.1 Ohne Erhitzung	109
5.1.2 Bei nachträglicher Erhitzung	110
5.2 Luftbeimengung	113
5.3 Rekombinierter Rahm mit veränderter Fett- und/oder Membranzusammensetzung	115
<b>6 Schlußfolgerungen</b>	<b>120</b>
<b>7 Zusammenfassung</b>	<b>124</b>
<b>8 Literaturverzeichnis</b>	<b>127</b>
<b>9 Anhang</b>	<b>134</b>