

**Quellen und Trennen  
von Lipidvielschichtsystemen**

—

**Untersuchung des Prozesses  
und neuer Membranstrukturen**

Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
des Fachbereichs Physik  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
**JOHANNES THIMMEL**  
aus Offenbach

Berlin, im Dezember 1999

1. Gutachter : Prof. Dr. W. Helfrich  
Institut für Experimentalphysik  
der Freien Universität Berlin  
Arnimallee 14, 14195 Berlin
  
2. Gutachter : Prof. Dr. M. P. Heyn  
Institut für Experimentalphysik  
der Freien Universität Berlin  
Arnimallee 14, 14195 Berlin

Tag der Disputation: 04. Februar 2000

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung . . . . .	1
1.2	Aufbau der Arbeit . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Experimentelle Methoden</b>	<b>13</b>
2.1	Proben . . . . .	13
2.1.1	Substanzen . . . . .	13
2.1.2	Präparation für Mikroskopie . . . . .	13
2.1.3	Präparation für Röntgenbeugung . . . . .	15
2.2	Lichtmikroskopie . . . . .	17
2.2.1	Phasenkontrast . . . . .	18
2.3	Röntgenbeugung . . . . .	22
2.3.1	Drehanode . . . . .	23
2.3.2	Synchrotron . . . . .	26
2.3.3	Detektorkalibration . . . . .	27
2.3.4	Halbwertsbreite und Intensität einer Beugungsordnung . . . . .	28
2.3.4.1	Instrumentelle Beiträge und Datenanalyse . . . . .	29
2.3.4.2	Streuintensität . . . . .	30
2.3.4.3	Größe der Streudomänen . . . . .	30
2.3.4.4	Unordnung . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>37</b>
3.1	Krümmungselastizität fluider Membranen . . . . .	37
3.1.1	Hookesche Krümmungselastizität . . . . .	38
3.1.2	Krümmungselastizität höherer Ordnung . . . . .	42
3.1.3	Fluktuationen . . . . .	44
3.1.3.1	Mittleres Amplitudenquadrat . . . . .	45
3.1.3.2	Modell lokaler Membranfluktuationen (Hutmodell) . . . . .	46
3.1.3.3	Durch höhere Krümmungsbeiträge veränderte Biegesteifigkeit . . . . .	49
3.2	Wechselwirkung zwischen Membranen . . . . .	54
3.2.1	Van der Waals . . . . .	54
3.2.2	Hydratation . . . . .	56
3.2.3	Elektrostatik . . . . .	56
3.2.4	Undulationen . . . . .	58
3.2.5	Zusammenspiel der Wechselwirkungen . . . . .	60

3.3	Modell für Hydratisierung durch Permeation . . . . .	62
<b>4</b>	<b>Quellen und Trennen von PC-Vielschichtsystemen in Überschuß-</b>	<b>67</b>
	<b>wasser</b>	
4.1	Einführung . . . . .	67
4.2	Durch Wasserzugabe eingeleitete Hydratisierung . . . . .	71
4.2.1	Experimentelle Ergebnisse . . . . .	71
4.2.2	Deutung der Messung . . . . .	75
4.2.3	Diskussion anhand eines Permeationsmodells . . . . .	76
4.3	Trennen von Vielschichtsystemen . . . . .	79
4.3.1	Charakterisierung des Systems . . . . .	79
4.3.1.1	Orientierung . . . . .	80
4.3.1.2	Der Lipidring . . . . .	81
4.3.1.3	Homogenität der Hydratisierung nach der Wasserzu-	
	gabe . . . . .	85
4.3.1.4	Auswirkung der Temperaturerhöhung . . . . .	86
4.3.2	Stadien des Quellens: Phase I und II . . . . .	87
4.3.3	Simultaner Abbau der Ordnung innerhalb einer Probe . . . . .	88
4.3.4	Temperaturabhängigkeit der Dauer von Phase I und II sowie	
	des Schichtabstandes . . . . .	90
4.3.5	Entwicklung der Halbwertsbreite . . . . .	95
4.3.5.1	Änderungen bei tiefen Temperaturen . . . . .	96
4.3.5.2	Koexistenz von Abständen . . . . .	101
4.3.5.3	Zusammenfassung . . . . .	107
4.3.6	Gleichzeitige optische Beobachtungen und Röntgenaufnahmen	108
4.3.7	Optische Beobachtungen während des Quellprozesses . . . . .	110
4.3.7.1	Entwicklung innerhalb der Kapillare . . . . .	111
4.3.7.2	Dauer von Phase I . . . . .	113
4.3.8	Charakterisierung neu entstandener Quellstrukturen . . . . .	114
4.3.8.1	Röntgendiffraktogramm von Proben in der gelösten	
	Phase . . . . .	114
4.3.8.2	Morphologie der Quellkörper aus Phase II . . . . .	115
4.3.8.3	Gangunterschied in zylindrischen optisch homogenen	
	Objekten . . . . .	117
4.3.8.4	Mittlerer Schichtabstand in zylindersymmetrischen	
	Objekten . . . . .	118
4.3.8.5	Zusammenfassung . . . . .	121
4.3.9	Zusammenfassung und Diskussion . . . . .	121
4.4	Proben mit und ohne Auflösungserscheinungen . . . . .	123
4.4.1	Stabile Proben . . . . .	123
4.4.2	Schichtabstände im System DOPC/Wasser . . . . .	126
4.4.3	Möglicher Mechanismus für den Abbau der lamellaren Ordnung	128
<b>5</b>	<b>Optisch isotrope Objekte im System DGDG/Wasser/NaCl</b>	<b>131</b>
5.1	Einführung . . . . .	131
5.2	Optische Beobachtungen . . . . .	135
5.2.1	Entstehung . . . . .	135

5.2.1.1	Diskussion . . . . .	140
5.2.2	Temperaturabhängigkeit . . . . .	141
5.2.2.1	Diskussion . . . . .	146
5.2.3	Abschätzung der Lipidkonzentration . . . . .	148
5.2.3.1	Diskussion . . . . .	151
5.2.4	Abschätzung der Viskosität . . . . .	152
5.3	Röntgenuntersuchungen . . . . .	155
5.3.1	Flachprobenkammer . . . . .	155
5.3.2	Justage . . . . .	156
5.3.2.1	Optische Charakterisierung . . . . .	156
5.3.3	Ergebnisse . . . . .	157
5.3.4	Diskussion . . . . .	159
5.4	Strukturmodell für isotrope Objekte . . . . .	159
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>161</b>
	<b>Glossar</b>	<b>165</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>167</b>

## Lebenslauf

<b>Name</b>		Johannes Thimmel
<b>Geburtsdatum</b>		25. November 1966
<b>Geburtsort</b>		Offenbach/Main
<b>Schulbildung</b>	09/73 - 08/77	Grundschule in Kahl/Main
	09/77 - 01/82	Spessart Gymnasium Alzenau
	01/82 - 12/86	Escola Experimental Corcovado
	11/85	brasilianische Hochschulreife
	12/86	deutsche Hochschulreife
<b>Studium</b>	04/87 - 06/93	Physik an der Universität Bonn
	04/87 - 10/89	Grundstudium (Vordiplom)
	10/89 - 03/92	Hauptstudium Physik
	03/92 - 06/93	Diplomarbeit am Forschungszentrum Jülich auf dem Gebiet der Detektorentwicklung bei Prof. Dr. K. Kilian, Thema: „Untersuchung der Lichtausbeute von Plastiksintillatoren“
<b>wiss. Mitarbeiter</b>	02/94 - 01/99	Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Freien Universität Berlin, Institut für Physik, im SFB 312 („gerichtete Membranprozesse“)