

Horst Stegemeyer
Herausgeber

Lyotrope Flüssigkristalle

Grundlagen
Entwicklung
Anwendung

STEINKOPFF
DARMSTADT



Anschrift des Herausgebers:

Prof. Dr. Horst Stegemeyer
Universität Paderborn
Institut für Physikalische Chemie
33095 Paderborn

Erwin-Pfefferle-Weg 10
79244 Münstertal/Schw.

ISBN 978-3-642-63695-0

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Lytrope Flüssigkristalle : Grundlagen, Entwicklung, Anwendung /
Horst Stegemeyer, Hrsg. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1999
ISBN 978-3-642-63695-0 ISBN 978-3-642-58712-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-58712-2

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999
Ursprünglich erschienen bei Dr. Dietrich Steinkopff Verlag GmbH & Co. KG, Darmstadt 1999
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1999

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Verlagsredaktion: Dr. Maria Magdalene Nabbe – Herstellung: Heinz J. Schäfer
Umschlaggestaltung: E. Kirchner, Heidelberg
Satz: Typoservice, Griesheim

Geleitwort

An einer zusammenfassenden Beschreibung der Eigenschaften und der Anwendung von lyotropen Flüssigkristallen hat es bisher gefehlt. Während an aktuellen umfangreichen Monographien über chemische, physikalische und anwendungstechnische Aspekte von thermotropen Flüssigkristallen kein Mangel herrscht, vermißt man ähnliche zusammenfassende Darstellungen für das große Gebiet der lyotropen Flüssigkristalle. Hier scheint die wissenschaftliche Welt zersplittert zu sein in Forschergruppen, die auf dem Gebiet der Tenside, der Kolloidforschung, der Mikroemulsionen, der Liposomen oder der biologischen Membransysteme tätig sind. Darstellungen über diese Teilaspekte lassen sich daher leicht finden, eine übergreifende Zusammenfassung und Diskussion jedoch leider nur selten. Das hier vorliegende Buch möchte diesem Umstand abhelfen, indem es den an Flüssigkristallen interessierten Fachkollegen Informationen darüber liefert, wie breit gefächert das Spektrum der lyotropen Flüssigkristalle sein kann, sowohl in den Systemeigenschaften und der Chemie als auch in den Anwendungsmöglichkeiten. Die Breite des Spektrums liegt zum einen daran, daß lyotrope Flüssigkristalle von vornherein Systeme aus zwei Komponenten sind, nämlich aus Lösungsmittel – in der Regel Wasser – und amphiphilen Molekülen, so daß schon durch Variation des Wassergehalts in diesen Systemen eine Vielzahl unterschiedlicher flüssigkristalliner Phasen erzeugt werden kann. Zum anderen kann zusätzlich durch Variation der Temperatur thermotroper Mesomorphismus induziert werden, und schließlich ergeben sich durch Verwendung von Mischungen amphiphiler Moleküle weitere Variationsmöglichkeiten in den Systemeigenschaften. Da außerdem lyotrope flüssigkristalline Phasen für die Funktion von Zellen eine herausragende Bedeutung haben, wird hier eine Brücke zu Forschungsgebieten in der Biochemie, Biophysik und Pharmazie gebaut.

Das vorliegende Buch, das aus Diskussionen während eines international besetzten Bunsen-Kolloquiums über „Lyotrope Flüssigkristalle“ in Paderborn entstand, beinhaltet eine übergreifende Darstellung der Eigenschaften von lyotropen Flüssigkristallen und ihrer Anwendungen in verschiedenen Bereichen der Technik, der Kosmetik, der Pharmazie und der Medizin. Dadurch wird es erstmalig möglich sein, Informationen in der Zusammenschau der verschiedenen Teil-

gebiete aufzunehmen. Ich hoffe, daß die Faszination, die von diesem Forschungsgebiet ausgeht, sich auf den in diesem Gebiet vielleicht noch wenig informierten Leser überträgt und bin sicher, daß der in einem Teilgebiet tätige Fachkollege sich über andere, ihm nicht vertraute Aspekte der lyotropen Flüssigkristalle detailliert informieren kann. Dem Herausgeber und den Autoren kommt ein großes Verdienst zu, daß sie dieses Unterfangen gestartet haben, und ich möchte dem Buch eine weite Verbreitung und ein interessierte Leserschaft wünschen.

Halle, August 1999

Alfred Blume

Einführung

(anstelle eines Vorworts)

Im Jahre 1888 entdeckte der Botaniker Friedrich Reinitzer in Prag an Schmelzen von Cholesterinestern physikalische Eigenschaften wie z.B. eine Doppelbrechung, die bisher nur von festen Kristallen bekannt waren [1]. Er trat in Kontakt mit dem Physiker Otto Lehmann in Karlsruhe, der erkannte, daß ein weiterer, bisher unerkannter Zustand der Materie existiert, ein Zwitterzustand zwischen Kristall und Flüssigkeit: Die flüssigen Kristalle waren entdeckt, welche die anisotropen Eigenschaften von Kristallen und die Fluidität isotroper Flüssigkeiten in sich vereinen [2]. Obwohl Otto Lehmann und besonders Daniel Vorländer in Halle [3] bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts diesen vierten Zustand der Materie an vielen anderen organischen Verbindungen verifizieren konnten, wurde seine Existenz noch lange von namhaften Wissenschaftlern wie Tammann, Nernst, Bose, Quincke u. a. zugunsten einer Emulsionstheorie abgelehnt [4]. Da sich die Phasenumwandlungen Kristall/Flüssigkristall/isotrope Flüssigkeit unter Temperaturerhöhung vollziehen, spricht man von *thermotropen* Flüssigkristallen. Seit der ersten Anwendung ihrer elektrooptischen Eigenschaften zum Bau von Displays vor etwa dreißig Jahren [5] begannen die Flüssigkristalle ihren Siegeszug in der Anwendung als Informationsdarstellende Materialien in Uhren, PC- und TV-Bildschirmen, Laptops u. v. a. m. [6].

Die ersten Beobachtungen *lyotroper Flüssigkristalle*, die in konzentrierten Lösungen amphiphiler Moleküle auftreten und denen das vorliegende Buch gewidmet ist, liegen allerdings zeitlich viel weiter zurück. Der Pathologe Rudolf Virchow beschreibt 1854 sogenannte Myelinformen, als er unter dem Mikroskop das Verhalten von Nervenfasern in Wasser verfolgte [7]. Wenig später berichtet C. Mettenheimer über die Doppelbrechung dieser Myelinformen [8], deren komplizierte Struktur erst in neuerer Zeit verstanden wurde [9]. In seinem Buch „Molekularphysik“ weist Otto Lehmann bereits 1888 darauf hin, daß „die zuerst von Virchow aufgefundenen Myelinformen flüssige Kristalle sind“. Virchow und Mettenheimer erkannten allerdings damals keineswegs die Tragweite ihrer Beobachtungen! Dies blieb erst Lehmann vorbehalten, der 1904 in seinem Buch „Flüssige Kristalle“ schreibt, daß auch „gewöhnliche Schmierseife nichts anderes ist als ein Aggregat von fließenden Kristallen“. Wir halten also fest: Lyotrope

Flüssigkristalle waren bereits lange vor ihren thermotropen Verwandten bekannt, wenn auch als solche nicht erkannt.

Der gravierende Unterschied zwischen lyotropen und thermotropen Flüssigkristallen besteht darin, daß die Phasenbausteine letzterer einzelne Moleküle sind, die zwar eine gewisse, begrenzte intramolekulare Flexibilität aufweisen, im großen Ganzen aber doch in ihrer Gestalt in allen Phasen unverändert bleiben. Ganz anders die Bausteine lyotroper Flüssigkristallphasen.

Es sind hoch flexible Molekülaggregate, dynamische Gebilde aus amphiphilen Molekülen, die sich erst in Lösung bilden; Form und Größe der Aggregate unterliegen einer Verteilung und hängen von den thermodynamischen Zustandsgrößen ab. Diese Tatsache bedingt vielfache Probleme beim Studium lyotroper Flüssigkristalle, welche bei thermotropen Systemen nicht auftreten, weswegen auch ein Vergleich beider Flüssigkristalltypen nicht immer einfach und eindeutig ist. Ein weiteres, allerdings äußerliches Problem kommt hinzu: Da die aggregierenden Moleküle in tensidischen Systemen eine tragende Rolle spielen und darum ein hohes Interesse beanspruchen, auch und gerade in anwendungstechnischer Sicht, die Bildung lyotroper Flüssigkristallphasen in solchen Systemen aber oft eine gänzlich unerwünschte Nebenerscheinung darstellt, treten die lyotropen Flüssigkristalle in der wissenschaftlichen Diskussion gegenüber den thermotropen Systemen ungerechtfertigt in den Hintergrund. So führen jene z. B. bei den Kolloid-Konferenzen mehr oder weniger ein Schattendasein. Bei den zahlreichen Flüssigkristall-Konferenzen ist den lyotropen Phasen ein ähnliches Schicksal beschieden – die thermotropen dominieren.

Aus diesen Gründen wurde im Oktober 1996 an der Universität Paderborn ein international besetztes Bunsen-Kolloquium dem Thema „Lyotrope Flüssigkristalle“ gewidmet. Als Nebeneffekt zu den richtungsweisenden Vorträgen und stimulierenden Diskussionen dieser Veranstaltung wurde in internen Gesprächen die Notwendigkeit aufgezeigt, die Problematik, aber auch die breiten Möglichkeiten lyotroper Flüssigkristalle über den engen Zirkel der Fachkollegen einem weiter gefaßten Leserkreis nahezubringen, auch und gerade mit dem Ziel einer Anwendung dieser leicht zugänglichen und im Vergleich mit den thermotropen Flüssigkristallen preisgünstigen Materialien. So ist die Intention der vorliegenden Schrift nicht in Richtung eines Handbuchs angelegt, sondern es soll vielmehr in solchen Kreisen von Forschern, Anwendungstechnikern und Studierenden Interesse und Verständnis wecken, die nicht auf dem Flüssigkristallsektor tätig sind.

Die Autorinnen und Autoren des Buches rekrutieren sich ausnahmslos aus Teilnehmern des oben genannten Bunsen-Kolloquiums. Sie haben die Aspekte lyotroper Flüssigkristalle in folgenden fünf Kapiteln dargestellt.

Kap. 1. Grundlagen und Historie

Die Bildung lyotroper Flüssigkristalle verläuft schrittweise von der mikroskopischen über eine mesoskopische zur makroskopischen Ebene. Der erste Prozeß stellt die Selbstorganisation amphiphiler Moleküle zu Aggregaten dar, im einfachsten Fall zu Mizellen. Im nächsten Schritt erfolgt dann – konzentrationsabhängig – die eigentliche Phasenbildung durch Aufbau hoch geordneter Systeme. So wird zwangsläufig in Kap. 1 nach einer historischen Betrachtung und der Diskussion der Unterschiede zwischen thermotropen und lyotropen Flüssigkristallen die Aggregation tensidischer Moleküle zu den Phasenbausteinen behandelt. Besonders wird der Zusammenhang zwischen der Molekülstruktur der Monomeren und der Form der Monomeraggregate sowie die intermizellare Wechselwirkung dargestellt.

Kap. 2. Lyotrope Flüssigkristallphasen mizellarer Tensidlösungen

Kap. 2 ist den aus monomeren Molekülen resultierenden niedermolekularen lyotropen Flüssigkristallen gewidmet. Wegen der sehr verschiedenen Art der Molekülaggregate findet man einen reichhaltigen Polymorphismus. Strukturen und Eigenschaften der verschiedenen Phasentypen werden im einzelnen beschrieben. Ferner enthält das Kapitel eine eingehende Darstellung der Untersuchungsmethoden lyotroper Flüssigkristalle. Den Abschluß bildet eine Diskussion der aktuellen Theorien lyotroper Systeme.

Kap. 3. Lyotrope polymere Flüssigkristalle

Hatte es bereits besonderer Anstrengungen bedurft, ein geeignetes molekulares Design zu finden, um lange nach den niedermolekularen thermotropen Flüssigkristallen *thermotrope* flüssigkristalline *Polymer* aufzubauen (1978 [10]), so waren erst recht große präparative Schwierigkeiten zu überwinden, um zu lyotropen polymeren Flüssigkristallen zu gelangen [11]. Wenn schon die Selbstorganisation *monomerer* amphiphiler Moleküle zu Aggregaten als mesoskopische Vorstufe lyotroper Flüssigkristallphasen nicht trivial erscheint, so stellt sich die Frage, ob und in welcher Weise sich Makromoleküle mit amphiphiler Struktur überhaupt organisieren und geeignete Aggregate lyotroper Phasen bilden können.

Die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen dieser Klasse lyotroper Systeme bilden daher den Schwerpunkt von Kap. 3. Zwei Fragen stehen im Vordergrund: a) Welche Art von Phasen werden bei Vorliegen einer bestimmten Molekülarchitektur der Polymere (funktionelle Gruppen, Hauptkette, Seitenketten, Polymerisationsgrad, Molmasse) bevorzugt und b) welche Phasen gehen infolge Polymerisation verloren oder treten neu auf. Diese Fragen werden durch Vergleich der Phasendiagramme niedermolekularer lyotroper Flüssigkristallsysteme mit ihren polymeren Analoga diskutiert.

Kap. 4. Lyotrope flüssigkristalline Phasen – Anwendungen in Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln, in der Kosmetik und in technischen Prozessen

Die dominierende Rolle von Tensiden aller Art bei Wasch- und Reinigungsprozessen war und ist Anlaß zu einer intensiven wie extensiven Forschungsaktivität auf diesem Gebiet. Da Tensidlösungen bei höheren Konzentrationen lyotrope Flüssigkristallphasen bilden, ist eine genaue Kenntnis ihres Verhaltens aus zwei Gründen für den Anwendungstechniker von Wichtigkeit: Einmal kann das Auftreten lyotroper Flüssigkristalle wegen ihrer erhöhten Viskosität zu verfahrenstechnischen Problemen wie z. B. Verstopfungen der Anlagen führen. Zum anderen eröffnet der Einsatz lyotroper Flüssigkristalle im Bereich des Kosmetik und beim Waschprozeß neue Anwendungsmöglichkeiten, die keineswegs ausgeschöpft sind. Solchen Fragestellungen ist das Kap. 4 gewidmet.

Im Teil „Kosmetische Anwendungen“ werden flüssigkristalline Strukturen von Cremes und Emulsionen, aber auch Probleme ihrer Wechselwirkung mit der menschlichen Haut diskutiert. Im weiteren Teil wird die Anwendung beim Waschprozeß behandelt: Der Einfluß lyotroper Systeme auf die Waschleistung sowie das Fließverhalten stehen im Vordergrund, wobei letzterem eine wichtige Bedeutung bei technischen Verarbeitungsprozessen zukommt.

Kap. 5. Anwendung lyotroper Flüssigkristalle in Pharmazie und Medizin

Für Pharmazeuten gleich wie für Mediziner stellt sich bekanntlich das Problem, daß ein Medikament nicht nur die gewünschte pharmakologische Wirkung entfalten, sondern dazu an einen definierten Ort im Organismus (z. B. in eine Krebszelle) transportiert werden muß. Dazu können lyotrope Flüssigkristalle dienen, die bereits Eingang in die Anwendungsbereiche von Pharmazie und Medizin gefunden haben. Über den gegenwärtigen Stand wird in Kap. 5 berichtet.

Nach Darstellung der für diesen Arbeitsbereich relevanten Untersuchungsmethoden wird ausführlich auf den pharmazeutischen Einsatz flüssigkristalliner Systeme in den verschiedenen Anwendungsformen wie Salben, Cremes, Gele und Liposomendispersionen eingegangen. Ein besonderes Gewicht wird auf neue therapeutische Methoden mit transdermalen Systemen und der verzögerten Freigabe von Arzneistoffen in den Organismus gelegt.

Dieses Kapitel läßt erkennen, daß im Bereich Pharmazie und Medizin ein erhebliches Entwicklungspotential für die lyotropen Flüssigkristalle liegt, das zu intensiver anwendungsbezogener Forschung Anlaß gibt.

Literatur

1. Reinitzer F (1888) Beiträge zur Kenntnis des Cholesterins. *Monatsh Chem* 9: 412–441
2. Lehmann O (1889) Über fließende Krystalle. *Z Physikal Chem* 4: 462–471
3. Vorländer D (1908) Kristallinisch-flüssige Substanzen. Enke, Stuttgart
4. Kelker H (1973) History of Liquid Crystals. *Mol Cryst Liq Cryst* 21: 1–48
5. Heilmeyer GH, Zanoni L A, Barton L A (1968) Dynamic Scattering: A New Electrooptic Effect in Certain Classes of Nematic Liquid Crystals. *Proc IEEE* 56: 1162–1171
6. Schadt M (1994) Liquid Crystal Displays. In: Stegemeyer H (ed) *Liquid Crystals. Topics in Physical Chemistry*, vol 3. Steinkopff, Darmstadt
7. Virchow R (1854) Myelinformen. *Virchows Archiv* 6: 571
8. Mettenheimer C (1857) *Corr-Blatt d Vereins f gem Arbeit z Förd d wissensch Heilkunde* 24: 331
9. Saupe A (1977) Textures, Deformations, and Structural Order of Liquid Crystals. *J Interface Sci* 58: 549–558
10. Finkelmann H, Ringsdorf H, Wendorff JH (1978) Model considerations and examples of enantiotropic liquid crystalline polymers. *Makromol Chem* 179: 2723
11. Finkelmann H, Lühmann B, Rehage G (1982) Phase behaviour of lyotropic liquid crystalline side chain polymers in aqueous solutions. *Colloid Polym Sci* 260: 56–65

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	V
A. Blume	
Einführung	VII
Autorenverzeichnis	XVI
1 Grundlagen und Historie	1
K. Hiltrop	
1.1 Flüssige Kristalle – ein Widerspruch in sich?	1
1.2 Thermotrope und lyotrope Flüssigkristalle	3
1.3 Die Strukturbausteine lyotroper Flüssigkristalle	5
1.3.1 Amphiphilie	6
1.3.2 Einteilung der Tenside	7
1.3.3 Hydrophober Effekt	10
1.3.4 Aggregation	11
1.3.5 Größe und Form von Aggregaten	16
1.3.6 Wechselwirkungen zwischen Mizellen	22
Literatur	23
2 Lyotrope Flüssigkristallphasen mizellarer Tensidlösungen	25
K. Hiltrop	
2.1 Schematischer Polymorphismus der mizellaren LFK .	25
2.2 Zustandsdiagramme	27
2.3 Eigenschaften und Untersuchungsmethoden lyotroper Flüssigkristalle	32
2.3.1 Doppelbrechung und Polarisationsmikroskopie	32
2.3.2 Streu- und Beugungsmethoden	34
2.3.3 Magnetische Anisotropie und Kernresonanzspektroskopie (NMR)	36
2.3.4 Verschiedene Methoden	38
2.4 Polymorphismus lyotroper Flüssigkristallphasen im Detail	40
2.4.1 Nematische Phasen	40
2.4.2 Hexagonale und verwandte Phasen	43

2.4.3	Lamellare Phasen, Gelphasen	46
2.4.4	Kubische Phasen	48
2.4.5	Intermediäre Phasen	49
2.4.6	Chirale Phasen	50
2.5	Nichtwäßrige Lösemittel	51
2.6	Theorien	52
	Literatur	54
3	Lyotrope polymere Flüssigkristalle	59
	K. Kratzat	
	Einleitung	59
3.1	Molekulare Architektur der amphiphilen Polymere ...	61
3.1.1	Amphiphile Polymere aus amphiphilen Monomeren ..	61
3.1.2	Amphiphile Polymere aus nicht amphiphilen Monomeren	62
3.2	Strategien zur Herstellung von amphiphilen Polymeren	63
3.3	Struktur-Eigenschaftsbeziehungen der amphiphilen Monomere und Polymere in Wasser	64
3.3.1	Assoziationsverhalten amphiphiler Monomere und Polymere in verdünnten wäßrigen Lösungen	65
3.3.1.1	Amphiphile Monomere und Seitenkettenpolymere ...	65
3.3.1.2	Copolymere	70
3.3.2	Phasenverhalten von amphiphilen Polymer/Wasser- Systemen	72
3.3.2.1	Seitenkettenpolymere	72
3.3.2.2	Copolymere	86
3.4	Amphiphile Elastomere	100
	Literatur	103
4	Lyotrope flüssigkristalline Phasen – Anwendungen in Wasch-, Spül- und Reinigungsmitteln, in der Kosmetik und in technischen Prozessen	107
	T. Engels, W. von Rybinski	
	Einleitung	107
4.1	Kosmetische Anwendungen	107
4.1.1	Binäre Systeme	108
4.1.2	Ternäre Systeme	108
4.1.2.1	Stabilisierung von Schäumen	108
4.1.2.2	Stabilisierung von ternären Systemen	110
4.1.2.3	Verdickung, Solubilisierung: Netzbildung durch Flüssigkristalle	121
4.1.2.4	Liposomen	123
4.1.3	Flüssigkristalle im Emulgierprozeß	123
4.1.3.1	PIT-Emulgierung	124
4.1.3.2	Gelphasen-Emulgierung	126
4.1.4	Solubilisierung von Parfümölen	129

4.1.5	Struktur der Epidermis	129
4.2	Lyotrope flüssigkristalline Phasen beim Waschen und Reinigen	130
4.2.1	Einfluß auf die Waschleistung	130
4.2.2	Fließverhalten	134
	Literatur	138
5	Anwendung lyotroper Flüssigkristalle in Pharmazie und Medizin	141
	C. C. Müller-Goymann	
	Einleitung	141
5.1	Untersuchungsmethoden lyotroper Flüssigkristalle ..	146
5.1.1	Elektronenmikroskopie	147
5.1.2	Rheologie	151
5.1.3	Vesikelgrößenbestimmung mit Laserstreuverfahren ..	151
5.2	Pharmazeutischer Einsatz flüssigkristalliner Systeme .	152
5.2.1	Flüssigkristalline Arzneistoffe	152
5.2.2	Flüssigkristalline Arzneiformen zur dermalen Anwendung – Salben, Cremes, Gele, Liposomen- dispersionen	154
5.2.2.1	Tensidgele	154
5.2.2.2	Salben und Cremes	154
5.2.2.3	Liposomendispersionen	158
5.2.3	Liposomendispersionen zur parenteralen Applikation	159
5.2.4	Liposomendispersion zur Instillation in die Lunge ...	160
5.2.5	Transdermale therapeutische Systeme (TTS)	160
5.2.6	Freigabeverzögerung des Arzneistoffs aus festen, halbfesten und flüssigen Arzneiformen	162
5.2.6.1	Feste Arzneiformen	162
5.2.6.2	Halbfeste Arzneiformen	162
5.2.6.3	Flüssige Arzneiformen	162
5.2.7	Flüssigkristalline Strukturen im lebenden Organismus	164
	Literatur	165
	Sachverzeichnis	169

Autorenverzeichnis

Dr. Karl Hiltrop
Universität Paderborn
Institut für Physikalische Chemie
33095 Paderborn

Dr. T. Engels
Dr. W. von Rybinski
TTR Physikalische Chemie
Henkel KGaA
Henkelstraße 97
40598 Düsseldorf

Dr. Krystyna Kratzat
Richard-Strauss-Straße 9
79104 Freiburg i. Br.

Prof. Dr. C. C. Müller-Goymann
TU Carolo-Wilhelmina zu
Braunschweig
Institut für Pharmazeutische
Technologie
Mendelssohnstr. 1
38106 Braunschweig