

Johan Bieleman

# Lackadditive

 **WILEY-VCH**

Weinheim • New York • Chichester  
Brisbane • Singapore • Toronto

This Page Intentionally Left Blank

Johan Bieleman

Lackadditive

 **WILEY-VCH**

This Page Intentionally Left Blank



Johan Bieleman

# Lackadditive

 **WILEY-VCH**

Weinheim • New York • Chichester  
Brisbane • Singapore • Toronto

Johan H. Bieleman  
Servo Delden BV  
Langestraat 167  
NL-7494 Delden

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Herausgeber, Autoren, Übersetzer und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Bieleman, Johan:**

Lackadditive / Johan Bieleman. – Weinheim; New York; Chichester; Brisbane; Singapore; Toronto: Wiley-VCH, 1998  
ISBN 3-527-28819-8

© WILEY-VCH Verlag GmbH, D-69469 Weinheim (Federal Republic of Germany). 1998

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publishers. Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Satzkonvertierung: ProSatz Unger, D-69469 Weinheim  
Druck: betz-druck gmbh, D-64291 Darmstadt  
Bindung: Wilhelm Osswald & Co, D-67433 Neustadt

Printed in the Federal Republic of Germany.

# Vorwort

Lackadditive stellen eine äußerst wichtige Gruppe von Rohstoffen vor, die zur Herstellung von Lacken und Beschichtungen sowie verwandten technischen Erzeugnissen benötigt werden.

Die Qualität und manche Anwendungseigenschaften der Lacke werden in hohem Maße von den eingesetzten Additiven bestimmt. Die richtige Auswahl aus dem breiten Angebot der Additive ist daher von großer Bedeutung.

In der Praxis kommt der Lacktechniker oft erst nach vielen Versuchsreihen, also meist rein empirisch, zu einer Auswahl von Additiven, eine Erklärung, warum das eine Additiv in der Formulierung wirkt und das andere nicht, wird dabei nicht gefunden.

Es ist das primäre Ziel dieses Buches, die Lacktechniker und ihre sachverständigen Mitarbeiter darüber zu informieren, wie die bekanntesten Additivgruppen wirken, welche Effekte diese bei einer richtigen Anwendung hervorrufen können und wo der Lacktechniker Vorteile erreichen kann.

Die chemisch-technischen Grundlagen und die Theorien über die Wirkungsweise von Additiven, wie Verdicker, grenzflächenaktive Verbindungen, Oberflächenmodifizierungsmittel, Katalysatoren, Biozide usw., werden ausführlich erläutert. Auch wurde großer Wert auf die Erfassung der für die Praxis wichtigen optischen Aspekte bei Lackierungen gelegt.

Das Buch ist ideal für Lackingenieure und -chemiker aus der Industrie, Handel, Instituten, Hochschulen und Behörden.

Obwohl zur Vervollständigung einige Handelsnamen genannt werden, ist das Buch keine Übersicht von Lackrohstoffen nach Handelsnamen. Ebenso ist es kein rein wissenschaftliches Buch mit detaillierter Beschreibung der Theorien und Veröffentlichungen, ohne daß diese in einen Zusammenhang mit Praxisanwendungen gebracht werden.

Viele Fachspezialisten haben an der Ausgabe dieses Buches mitgewirkt. Ihnen gebührt herzlichen Dank. Besonders herzlich möchte ich mich bei Herrn Dr. Dieter Stoye, Dorsten, bedanken. Ohne seine Ermutigungen wäre dieses Buch wohl nicht so schnell entstanden. Der Leitung der SERVO-Delden B.V., Delden, und den Herren des Geschäftsführungsbereichs „Lackrohstoffe“ der Hüls Aktiengesellschaft, Marl, sei gedankt für die persönliche Unterstützung und die Bereitstellung der technischen und materiellen Mittel.

Januar 1997

*Johan H. Bieleman*

This Page Intentionally Left Blank

# Inhaltsverzeichnis

	Die Autoren und ihre Beiträge .....	XVII
<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	1
	<i>J. Bieleman</i>	
1.1	Additive in Farben und Lacken .....	1
1.2	Begriffsbestimmung .....	1
1.3	Einstufung nach Funktionen .....	2
1.4	Verbrauchsmengen .....	3
1.5	Wirtschaftliche Bedeutung von Additiven .....	4
	Literatur .....	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	5
	<i>J. Bieleman</i>	
2.1	Einführung .....	5
2.2	Wechselwirkungen .....	5
2.3	Chemische Zusammensetzung .....	7
2.4	Wirksamkeit der Additive .....	7
2.5	Anwendungen .....	8
	Literatur .....	8
<b>3</b>	<b>Verdicker</b> .....	9
	<i>J. Bieleman und G. Kroon</i>	
3.0	Grundlagen .....	9
3.0.1	Einführung .....	9
3.0.2	Rheologie und Viskosität .....	10
3.0.3	Viskositätsmessungen .....	14
3.1	Anorganische Verdicker .....	17
3.1.1	Einführung .....	17
3.1.2	Organoschichtsilikate .....	17

VIII *Inhaltsverzeichnis*

3.1.3	Herstellung der Organoschichtsilikate .....	20
3.1.4	Rheologie und Organoschichtsilikate .....	21
3.1.5	Einfluß der Organoschichtsilikate auf die Lackeigenschaften .....	25
3.1.5.1	Absetzen .....	26
3.1.5.2	Ablaufen .....	27
3.1.5.3	Verlaufen .....	28
3.1.6	Einarbeitung .....	29
3.1.6.1	Pulvermethode .....	29
3.1.6.2	Pastenmethode .....	30
3.1.6.3	Leicht dispergierbare Organoschichtsilikate .....	30
3.1.7	Handelsprodukte .....	30
3.2	Organische Verdicker .....	31
3.2.0	Einführung .....	31
3.2.0.1	Organische Verdickungsmittel für Anstrichstoffe auf Wasserbasis ..	31
3.2.0.2	Verdickungsmittel für Lösemittelfarben .....	34
3.2.1	Cellulosederivate .....	35
3.2.1.1	Chemie von Celluloseethern .....	35
3.2.1.2	Zugabe von Celluloseethern zu einer Farbe .....	38
3.2.1.3	Farbeeigenschaften, beeinflußt durch Celluloseether .....	41
3.2.1.4	Assoziative Celluloseether .....	45
3.2.1.5	Kommerzielle Produkte .....	48
3.2.1.6	Neue Entwicklungen .....	49
3.2.1.7	Toxikologie und Entsorgung .....	50
3.2.2	PUR-Verdicker .....	51
3.2.2.1	Einführung .....	51
3.2.2.2	Chemischer Aufbau und Lieferform .....	52
3.2.2.3	Wirkungsmechanismus .....	53
3.2.2.4	Eigenschaften der PUR-Verdicker .....	54
3.2.2.5	Anwendungen .....	56
3.2.2.6	Lackformulierung .....	57
3.2.2.7	Lackeigenschaften .....	58
3.2.2.8	Handelsprodukte .....	59
3.2.3	Organische Verdicker für lösemittelhaltige Lacke .....	59
3.2.3.1	Einführung .....	59
3.2.3.2	Produktübersicht .....	60
3.2.3.3	Hydriertes Ricinusöl .....	60
3.2.3.4	Polyamide .....	62
3.2.3.5	Überbasische Sulfonate .....	62
3.2.3.6	Handelsprodukte .....	63
	Literatur .....	63
<b>4</b>	<b>Grenzflächenaktive Verbindungen .....</b>	<b>67</b>
	<i>J. Bieleman, W. Heilen, S. Silber, M. Ortelt und W. Scholz</i>	
4.1	Netz- und Dispergiermittel .....	69

4.1.1	Einführung .....	69
4.1.2	Begriffsbestimmungen .....	69
4.1.3	Der Dispergierprozeß .....	71
4.1.3.1	Die Pigmentbenetzung .....	73
4.1.3.2	Mechanische Zerteilung .....	76
4.1.3.3	Stabilisierung .....	77
4.1.3.4	Stabilisierung in polaren Medien: Praxisbeurteilungen .....	84
4.1.3.5	Stabilisierung in apolaren Systemen: Praxisbeurteilungen .....	85
4.1.4	Chemische Zusammensetzung der Netz- und Dispergiermittel ....	87
4.1.4.1	Polymere Dispergiermittel .....	91
4.1.5	Problemlösungen .....	92
4.1.6	Bestimmungsmethoden .....	95
4.1.6.1	Messung der Grenzflächenladung .....	95
4.1.6.2	Dispergiermittelbedarf .....	95
4.1.6.3	Ablauf des Dispergierprozesses .....	96
4.1.6.4	Dispersionsgrad .....	97
4.1.6.5	Flockulationsgrad .....	97
4.1.6.6	Ausschwimmen: Rub-out-Test .....	98
4.1.7	Biologische und toxikologische Eigenschaften .....	99
4.1.7.1	Tenside .....	100
4.1.7.2	Polymere .....	100
4.1.8	Handelsprodukte .....	100
4.2	Entschäumung von wäßrigen Anstrichstoffen .....	101
4.2.1	Einführung .....	101
4.2.2	Schaumbildung in wäßrigen Anstrichstoffen .....	102
4.2.3	Ursachen der Schaumstabilisierung .....	103
4.2.3.1	Stabilitätsmindernde Parameter .....	104
4.2.3.2	Schaumstabilitätsfördernde Parameter .....	106
4.2.4	Aufbau und Wirkungsweise von Entschäumern und Schaum- inhibitoren .....	107
4.2.4.1	Entschäumer .....	107
4.2.4.2	Schauminhibitoren .....	109
4.2.5	Formulierung der Wirkstoffe .....	110
4.2.6	Testmethoden zur Beurteilung von Entschäumern .....	111
4.2.7	Herstellerinformation .....	112
4.3	Haftvermittler .....	114
4.3.1	Definition .....	114
4.3.2	Modelle zur Interpretation von Haftungserscheinungen .....	114
4.3.3	Haftfestigkeit im Verbund .....	116
4.3.4	Haftvermittler .....	117
4.3.4.1	Allgemeines .....	117
4.3.4.2	Organofunktionelle Silane .....	118
4.3.4.3	Metallorganische Verbindungen .....	122
4.3.4.4	Chlorierte Polyolefine .....	125

4.3.4.5	Spezielle Kondensate .....	125
4.3.4.6	Phosphorsäureester .....	127
4.3.4.7	Polyethylenimin .....	127
4.3.4.8	Silikone und silikon-modifizierte Polymere .....	128
4.3.4.9	Sonstiges .....	128
4.3.4.10	Zusammenfassung .....	129
4.4	Additive zur Verbesserung der Untergrundbenetzung .....	131
4.4.1	Einführung .....	131
4.4.2	Bedeutung der Oberflächenspannung für die Untergrundbenetzung .....	131
4.4.3	Beeinflussung der Oberflächenspannung von Lacken .....	133
4.4.4	Messung der Oberflächenspannung .....	133
4.4.5	Chemie der Silikonadditive .....	134
4.4.6	Anwendung der Silikonadditive .....	138
4.4.7	Handelsprodukte .....	139
	Literatur .....	140
<b>5</b>	<b>Additive zur Oberflächenmodifizierung .....</b>	<b>143</b>
	<i>J. Bieleman, W. Scholz, W. Heilen, S. Silber, U. Ferner und G. Lüers</i>	
5.1	Additive zur Verbesserung der Oberflächenglätte (Slipadditive) ...	144
5.1.1	Einführung .....	144
5.1.2	Begriffsbestimmungen .....	144
5.1.3	Praktische Bedeutung der Oberflächenglätte .....	145
5.1.4	Einflußfaktoren auf die Kratzfestigkeit .....	145
5.1.5	Gleitfähigkeit .....	146
5.1.6	Beeinflussung der Oberflächenglätte .....	147
5.1.7	Silikonadditive .....	147
5.1.8	Wachse .....	148
5.1.9	Messung der Oberflächenglätte .....	149
5.1.10	Handelsprodukte .....	151
5.2	Mattierung .....	152
5.2.1	Physikalische Grundlagen der Mattierung .....	152
5.2.1.1	Meßverfahren zur Charakterisierung von Oberflächen .....	153
5.2.1.2	Glanz und Sheen .....	153
5.2.1.3	Oberflächenrauigkeit .....	154
5.2.1.4	Eigenschaften, die durch Mattierungsmittel nicht beeinflußt werden sollten .....	155
5.2.1.5	Wirkungsmechanismen der Mattierungsmittel .....	155
5.2.2	Handelsübliche Mattierungsmittel .....	157
5.2.2.1	Einführung .....	157
5.2.2.2	Wirtschaftliche Bedeutung .....	158
5.2.2.3	Anforderungen an moderne Mattierungsmittel .....	158
5.2.2.4	Amorphe Kieselsäuren .....	159
5.2.2.5	Natürliche Kieselsäuren und Füllstoffe .....	161
5.2.2.6	Organische Mattierungsmittel .....	162



5.2.3	Anwendung der Mattierungsmittel .....	162
5.2.3.1	Allgemeine Parameter, die die Mattierung beeinflussen .....	162
5.2.3.2	Lösemittelhaltige Systeme .....	166
5.2.3.3	Wasserverdünnbare Systeme .....	166
5.2.3.4	High-Solids/strahlenhärtende Systeme .....	167
5.2.3.5	Pulverlacke .....	167
5.2.4	Handelsprodukte .....	168
	Literatur .....	168
<b>6</b>	<b>Verlauf- und Filmbildehilfsmittel</b> .....	<b>171</b>
	<i>J. Bieleman, J. Hajas und K. Dören</i>	
6.1	Verlaufmittel .....	172
6.1.1	Einführung .....	172
6.1.1.1	Definition und Messung des Verlaufs .....	172
6.1.1.2	Verlaufsbestimmende physikalische Eigenschaften .....	174
6.1.1.3	Verlaufsverbesserung: Wirkungsweise der Verlaufsadditive .....	177
6.1.2	Handelsübliche Verlaufsadditive .....	177
6.1.2.1	Polymere .....	177
6.1.2.2	Silikone .....	179
6.1.2.3	Fluortenside .....	179
6.1.2.4	Lösemittel .....	179
6.1.2.5	Sonstige Additive .....	181
6.1.3	Eigenschaften der Verlaufsadditive .....	181
6.1.4	Verwendung der Verlaufsadditive .....	182
6.1.4.1	Polymere .....	182
6.1.4.2	Silikone .....	183
6.1.4.3	Fluortenside .....	184
6.1.4.4	Lösemittel .....	185
6.1.4.5	Sonstige Additive .....	186
6.1.5	Praktische Hinweise .....	186
6.1.6	Toxikologie und Entsorgung der Verlaufsadditive .....	188
6.2	Filmbildehilfsmittel .....	189
6.2.1	Einführung .....	189
6.2.2	Polymerdispersionen: Struktur/Filmbildung .....	190
6.2.3	Wirkungsweise der Filmbildehilfsmittel .....	192
6.2.4	Produktübersicht .....	196
6.2.5	Anwendungstechnische Aspekte .....	200
6.2.6	Ökologie und Toxikologie .....	206
6.2.7	Handelsnamen .....	207
	Literatur .....	207
<b>7</b>	<b>Katalytisch wirksame Verbindungen</b> .....	<b>211</b>
	<i>J. Bieleman und R. Lomölder</i>	
7.1	Trockenstoffe .....	212

XII *Inhaltsverzeichnis*

7.1.1	Einführung .....	212
7.1.2	Historischer Überblick über die Verwendung von Trockenstoffen ..	212
7.1.3	Zusammensetzung .....	214
7.1.4	Herstellung .....	217
7.1.4.1	Fällungsverfahren .....	217
7.1.4.2	Schmelzverfahren .....	217
7.1.4.3	Direktumsetzung .....	218
7.1.5	Der Trocknungsmechanismus und die Funktion von Trockenstoffen	218
7.1.6	Trockenstoffmetalle .....	221
7.1.6.1	Aktive Trockenstoffe .....	222
7.1.6.2	Hilfstrockenstoffe .....	224
7.1.7	Kombinationstrockenstoffe .....	226
7.1.8	Verlust an Trocknungsvermögen .....	227
7.1.9	Bleifreie Trockenstoffsysteme .....	229
7.1.9.1	Bleitrockenstoffsysteme .....	229
7.1.9.2	Ersatz eines Bleitrockenstoffs .....	230
7.1.10	Wasserverdünnbare Lacke .....	230
7.1.10.1	Charakteristische Trocknungsphänomene wasserverdünnbarer Beschichtungsmittel .....	231
7.1.10.2	Koordinationswirkungen auf Trockenstoffe .....	233
7.1.10.3	Vorkomplexierte Trockenstoffe .....	234
7.1.11	High-Solids-Lacke .....	235
7.1.12	Analysenverfahren .....	237
7.1.13	Biologische und toxikologische Eigenschaften .....	237
7.1.14	Handelsnamen .....	239
7.2	Katalysatoren .....	240
7.2.1	Einführung .....	240
7.2.2	Melaminharz-vernetzende Systeme .....	242
7.2.2.1	Einführung .....	242
7.2.2.2	Katalyse von HMM-Systemen, Fremdvernetzung .....	244
7.2.2.3	Anbiaternachweis .....	247
7.2.2.4	Katalyse reaktiver Melaminharzsysteme, Selbstkondensation .....	248
7.2.2.5	Allgemeine Formulierungshinweise .....	249
7.2.3	Polyurethansysteme .....	250
7.2.3.1	Einführung .....	250
7.2.3.2	2K-PUR-Systeme .....	252
7.2.3.3	Wärmehärtende 1K PUR-Systeme .....	257
7.2.3.4	Polyurethan-Pulverlacke .....	260
7.2.3.5	Feuchtigkeitshärtende 1K PUR-Systeme .....	260
7.2.3.6	Anbiaternachweis .....	263
7.2.4	Epoxidharzsysteme .....	263
7.2.4.1	Einführung .....	263
7.2.4.2	Epoxy-Amin-Systeme .....	265
7.2.4.3	Epoxy-Carboxy-Systeme .....	267
7.2.4.4	Epoxy/Phenol-Formaldehydharz-Systeme .....	268

7.2.4.5	Anbiaternachweis .....	269
	Literatur .....	270
<b>8</b>	<b>Speziell wirksame Additive .....</b>	<b>273</b>
	<i>J. Bieleman, T. Bolle, A. Braig, J. Glaser, M. Köhler und R. Spang</i>	
8.1	Hautverhinderungsmittel .....	274
8.1.1	Einführung .....	274
8.1.2	Begriffsbestimmung .....	274
8.1.3	Ursachen der Hautbildung .....	275
8.1.4	Folgen der Hautbildung .....	275
8.1.5	Bekämpfung der Hautbildung .....	276
8.1.5.1	Antioxidantien .....	276
8.1.5.2	Blockierungsmittel des Polymerisationskatalysators .....	279
8.1.5.3	Lösemittel .....	282
8.1.5.4	Retentionsmittel .....	283
8.1.6	Praktische Hinweise .....	283
8.1.7	Toxikologische Eigenschaften .....	284
8.1.8	Handelsprodukte .....	284
8.2	Lichtschutzmittel .....	285
8.2.1	Einführung .....	285
8.2.1.1	Umwelteinflüsse auf Lacke .....	285
8.2.1.2	Photooxidation von Polymeren .....	286
8.2.1.3	Stabilisierungsmöglichkeiten .....	288
8.1.1.4	Wirtschaftliche Bedeutung .....	288
8.2.2	Grundlagen .....	288
8.2.2.1	UV-Absorber .....	289
8.2.2.2	Sterisch gehinderte Amine (HALS) .....	293
8.2.3	Eigenschaften von Lichtschutzmitteln .....	296
8.2.3.1	Anforderungsprofil an Lichtschutzmittel .....	296
8.2.3.2	Löslichkeit und Verträglichkeit von Lichtschutzmitteln .....	297
8.2.3.3	Flüchtigkeit von Lichtschutzmitteln .....	297
8.2.3.4	Einfluß der Eigenfarbe der Lichtschutzmittel auf die Farbe des Lackes .....	298
8.2.3.5	Interaktionsneigung von UV-Absorbern .....	298
8.2.3.6	Beständigkeit von UV Absorbern .....	299
8.2.3.7	Nebenreaktionen von HALS .....	300
8.2.4	Verwendung von Lichtschutzmitteln .....	300
8.2.4.1	Stabilisierung von 2-Schichtlackierungen .....	300
8.2.4.2	Stabilisierung von 1-Schichtlackierungen .....	302
8.2.4.3	Stabilisierung von Pulverlacken .....	303
8.2.4.4	Stabilisierung UV-härtender Klarlacke .....	305
8.2.4.5	Stabilisierung von Holzlacken .....	305
8.2.5	Praktische Hinweise .....	305
8.2.5.1	Prüfmethoden .....	305

8.2.5.2	Empfehlungen für den Einsatz von Lichtschutzmitteln	307
8.2.5.3	Handelsnamen	307
8.2.6	Toxikologie und Entsorgung	308
8.3	Korrosionsinhibitoren	309
8.3.1	Einführung	309
8.3.1.1	Grundlagen	309
8.3.1.2	Elektrochemische Korrosionsprozesse	311
8.3.1.3	Korrosionsschutz durch organische Beschichtungen	313
8.3.2	Handelsübliche Korrosionsinhibitoren	314
8.3.2.1	Definition	314
8.3.2.2	Inhibierungsmechanismen	315
8.3.2.3	Inhibitor Klassen/Charakteristika	318
8.3.3	Produkte und Produkteigenschaften	319
8.3.3.1	Flugrostinhibitoren	319
8.3.3.2	Inhibitoren für permanenten Korrosionsschutz	320
8.3.4	Praktische Hinweise, Formulierungsgrundsätze	322
8.3.4.1	Flugrostinhibitoren	322
8.3.4.2	Inhibitoren für permanenten Korrosionsschutz	322
8.3.5	Toxikologie und Entsorgung	324
8.3.6	Hersteller und Handelsnamen	324
8.4	Biozide	325
8.4.1	Einführung	325
8.4.2	Definitionen	326
8.4.3	Topf- oder Lagerkonservierung	328
8.4.4	Betriebshygiene	330
8.4.5	Topfkonservierende Wirkstoffe	332
8.4.5.1	Formaldehyd	332
8.4.5.2	Formaldehydabspalter	333
8.4.5.3	Glutaraldehyd	334
8.4.5.4	Phenolderivate	334
8.4.5.5	Säuren	335
8.4.5.6	Carbonsäurenamide	336
8.4.5.7	Quarternäre Ammoniumverbindungen (Quats)	336
8.4.5.8	Isothiazolinon-Derivate	336
8.4.5.9	Alkohole	338
8.4.6	Filmkonservierung	338
8.4.7	Sanieren von Untergründen	341
8.4.8	Filmkonservierende Wirkstoffe	341
8.4.8.1	Benzimidazole	342
8.4.8.2	Carbamate und Dithiocarbamate	342
8.4.8.3	N-Haloalkylthio-Verbindungen	343
8.4.8.4	2-n-Octyl-4-isothiazolin-3-on (OIT)	343
8.4.8.5	Zink-Pyrithion	343
8.4.8.6	Diuron	344
8.4.9	Schlußbemerkung	344

8.4.10	Handelsprodukte .....	345
8.5	Flammhemm-Mittel .....	346
8.5.1	Grundlagen .....	346
8.5.1.1	Brennbarkeitsklassen und Prüfmethode .....	346
8.5.1.2	Der Verbrennungsvorgang .....	347
8.5.1.3	Wirkungsweise der Flammhemmung .....	349
8.5.2	Gebräuchliche Flammhemm-Mittel: Aufbau, Wirkungsmechanismen und Eigenschaften .....	351
8.5.2.1	Anorganische Flammhemm-Mittel .....	351
8.5.2.2	Halogenhaltige Flammhemm-Mittel .....	352
8.5.2.3	Phosphorhaltige Flammhemm-Mittel .....	354
8.5.2.4	Verkohlungsfördernde Flammhemm-Mittel .....	355
8.5.2.5	Intumescenzsysteme .....	355
8.5.3	Verbrauch und Verwendung .....	357
8.5.4	Lieferantenverzeichnis; Handelsprodukte .....	358
8.6	Photoinhibitoren als Additive in UV-härtbaren Lacken .....	359
8.6.1	Einführung .....	359
8.6.1.1	Abrenzung von Photoinitiatoren gegenüber anderen Lackadditiven .....	359
8.6.1.2	Entwicklung der UV-Härtung .....	360
8.6.2	Hauptkomponenten UV-härtbarer Lacke .....	361
8.6.2.1	Photoinitiatoren .....	361
8.6.2.2	Reaktive Harze und Verdüner .....	362
8.6.3	Radikalische Photohärtung .....	363
8.6.3.1	Mechanistische Betrachtungen .....	363
8.6.3.2	Untersuchungen zur Reaktionskinetik .....	364
8.6.4	UV-Härtungstechnik .....	365
8.6.5	Anwendungsbeispiele für Photoinitiatoren .....	366
8.6.5.1	Klarlacke .....	367
8.6.5.2	Pigmentierte Lacke .....	368
8.6.6	Toxikologie und Entsorgung .....	370
8.6.7	Handelsnamen .....	370
	Literatur .....	370
<b>9</b>	<b>Arbeitssicherheit und Entsorgung .....</b>	<b>375</b>
	<i>A. Postma</i>	
9.1	Einführung .....	375
9.2	Begriffserläuterung .....	375
9.3	Biologische und toxikologische Eigenschaften .....	376
9.4	Sicherheitsdaten .....	377
9.5	Arbeitssicherheit .....	377
9.6	Entsorgung und Verpackungen .....	378
	Literatur .....	379

<b>10</b>	<b>Qualitätssicherung</b> .....	<b>380</b>
	<i>A. Postma</i>	
10.1	Einführung .....	380
10.2	Begriffsbestimmungen .....	380
10.3	Qualitätsnorm ISO-9000 .....	382
10.4	Umweltschutz und Arbeitssicherheit .....	382
10.5	Qualitätsprüfung der Additive .....	382
	Literatur .....	383
	Register .....	385

# **Die Autoren und ihre Beiträge**

**Johan Bieleman, SERVO-Delden BV, Delden/NL**

- 1 Einführung**
- 2 Grundlagen**
- 3 Verdicker**
  - 3.1 Anorganische Verdicker**
  - 3.2.2 PUR-Verdicker**
  - 3.2.3 Verdicker für lösemittelhaltige Lacke**
- 4 Grenzflächenaktive Verbindungen**
  - 4.1 Netz- und Dispergiermittel**
  - 5.1.2 Additive zur Verbesserung der Oberflächenglätte**
- 6 Verlauf- und Filmbildehilfsmittel**
- 7 Katalytisch wirksame Verbindungen**
  - 7.1 Trockenstoffe**
- 8 Speziell wirksame Additive**
  - 8.1 Hautverhinderungsmittel**

**Dr. Thomas Bolle, Ciba Spezialitätenchemie AG, Basel/CH**

- 8.2 Lichtschutzmittel**

**Dr. Adelbert Braig, Ciba Spezialitätenchemie AG, Basel/CH**

- 8.3 Korrosionsinhibitoren**

**Dr. Klaus Dören, Polymer Latex GmbH & Co. KG, Marl/D**

- 6.2 Filmbildehilfsmittel**

**Dr. Uwe Ferner, Georg Lüers, Grace GmbH, Worms/D**

- 5.2 Mattierungsmittel**

**Jürgen Glaser, Acima A.G., Buchs/CH**

- 8.4 Biozide**

**János Hajas, Byk-Chemie GmbH, Wesel/D**

- 6.1 Verlaufmittel**

**Dipl.-Ing Wernfried Heilen, Dr. Stefan Silber, Tego Chemie Service GmbH, Essen/D**

- 4.2 Entschäumer**
- 5.1.4/5 Additive zur Verbesserung der Oberflächenglätte**

XVIII *Die Autoren und ihre Beiträge*

Dr. Manfred Köhler, Dr. Andreas Valet, Ciba Spezialitätenchemie AG, Basel/CH  
8.6 Photoinitiatoren als Additive in UV-härtbaren Lacken

Gijsbert Kroon, Hercules BV, Zwijndrecht/NL  
3.2 Organische Verdicker  
3.2.1 Cellulose Verdicker

Dr. Rainer Lomölder, Hüls AG, Marl/D  
7.2 Katalysatoren

Dr. Martina Ortelt, Hüls AG, Marl/D  
4.3 Haftvermittler

Aljan Postma, SERVO-Delden BV, Delden/NL  
9 Arbeitssicherheit und Ökologie  
10 Qualitätssicherung

Dr. Wilfried Scholz, Byk Chemie GmbH, Wesel/D  
5 Oberflächenmodifizierungsmittel  
5.1.1/.3/.6/.7/.8/.9 Additive zur Verbesserung der Oberflächenenglätte

Dr. Raimund Spang, Sika Chemie AG, Bad Urach/D  
8.5 Flammhemm-Mittel



# 1 Einführung

*Johan Bieleman*

## 1.1 Additive in Farben und Lacken

Bei der Zusammensetzung von Farben und Lacken sind folgende Basiskomponenten zu unterscheiden:

- Bindemittel
- Pigmente und Füllstoffe
- Lösemittel
- Additive

Über die Wahl des Bindemittels werden die primären Eigenschaften der Lackschicht bestimmt. Haftung, manche optische und mechanische Eigenschaften sowie Beständigkeiten werden in hohem Maße von der Art des Bindemittels bestimmt.

Die weiteren festen Komponenten der Lackschicht wie Pigmente und Füllstoffe werden vom Bindemittel in einer Matrix fixiert. Die Auswahl des Pigmentes bestimmt den Farbton sowie in starkem Maße Eigenschaften wie Deckfähigkeit und Korrosionsfestigkeit.

Füllstoffe dienen besonders zur Verbilligung der gesamten Rohstoffkosten, beeinträchtigen daneben jedoch auch viele andere Eigenschaften.

Das Lösemittel bzw. Verdünnungsmittel dient vor allem dazu, die Verarbeitbarkeit der festen und hochviskosen Komponenten des Lackes während der Herstellung, Applikation und Filmbildung zu ermöglichen.

Neben den genannten Hauptkomponenten des Lackes bestimmen die eingesetzten Additive in hohem Maße die Lackeigenschaften. Die Grundeigenschaften der drei Hauptkomponenten eines Lackes – Bindemittel, Pigment und Füllstoff – können mit Additiven stark modifiziert werden.

## 1.2 Begriffsbestimmung

Es ist äußerst schwierig, eine einheitliche und genaue Definition der Additive zu geben: die Zusammensetzung dieser Gruppe ist sehr inhomogen. Über Additive lassen sich viele unterschiedliche Funktionen beeinflussen.

Eine mögliche Definition ist folgende:

*„Als Additive sind die Komponenten zu bezeichnen, die in kleinen Mengen neben Bindemitteln, Pigmenten/Füllstoffen und Lösemitteln zur Formulierung der Farbe eingesetzt werden, um während ihrer Herstellung, Lagerung, Verarbeitung oder in der Lackschicht gewünschte Eigenschaften erzielen zu können.“*

### 1.3 Einstufung nach Funktionen

Der Ausdruck „geforderte Eigenschaften“ deutet nicht nur auf technische Eigenschaften hin; auch wirtschaftliche Aspekte, wie z.B. Kostenreduzierung während der Produktion und Verbesserung der Ausbeute von Pigmenten, gehören in diesen Komplex.

Der Anteil an Additiven in einer Lackrezeptur beträgt selten mehr als insgesamt 5 Massenprozent. Übliche Dosierungen einzelner Additive liegen in der Größenordnung von 1 Massenprozent, bezogen auf die gesamte Lackrezeptur.

Es gibt eine große Auswahl an Additiven. Diese sind, eingestuft nach ihren Funktionen, in folgenden Gruppen einzuteilen:

#### **Verdicker**

Es handelt sich um Additive, die das rheologische Verhalten des Lackes beeinflussen.

#### **Grenzflächenaktive Verbindungen**

Dazu gehören:

- Netz- und Dispergiermittel
- Entschäumer
- Haftvermittler

#### **Oberflächenmodifizierungsmittel**

Diese Gruppe wird unterteilt in:

- Slipadditive
- Mattierungsmittel

#### **Verlaufmittel und Filmbildehilfsmittel**

Filmbildehilfsmittel sind auch bekannt als Koaleszenzmittel und werden in Polymerdispersionssystemen verwendet.

#### **Katalytisch wirksame Additive**

Zu dieser Gruppe gehören:

- Trockenstoffe
- Katalysatoren

**Speziell wirksame Additive**

Die übrigen Additive werden unter dieser Bezeichnung zusammengefaßt. Es handelt sich um:

- Hautverhinderungsmittel
- Lichtschutzmittel
- Korrosionsinhibitoren
- Biozide
- Flammhemm-Mittel
- Photoinitiatoren

**1.4 Verbrauchsmengen**

Aus den relativen Verbrauchsmengen der Additivgruppen ergibt sich, daß mengenmäßig die katalytisch wirksamen Additive das größte Volumen ausmachen, sie stehen in dieser Hinsicht noch vor den grenzflächenaktiven Verbindungen und den Verdickern (Abb. 1.4-1)<sup>[1-1]</sup>. Die geschilderten Verhältnisse basieren auf dem Weltverbrauch und können je nach Region länderspezifisch stark abweichen.

Trockenstoffe für oxidativ trocknende Farben und Lacke haben bei den katalytisch wirksamen Additiven immer noch den größten Anteil. Der Trend für die Verbrauchsmengen an Trockenstoffen ist jedoch rückläufig, da immer mehr hochkonzentrierte Trockenstoffe verwendet werden und der Verbrauch an physikalisch trocknenden Lacken unter Verdrängung der oxidativ trocknenden Systeme ständig zunimmt.

Additivgruppe	Verbrauch in % des Gesamtvolumen
Katalytisch wirksame Additive	28
Oberflächenmodifizierungsmittel	12
Verdicker	16
Grenzflächenaktive Verbindungen	19
Verlauf- und Filmbildehilfsmittel	10
Speziell wirksame Additive	15

**Abb. 1.4-1.** Relative Verbrauchsmengen der Additivgruppen

## 1.5 Wirtschaftliche Bedeutung von Additiven

Obwohl der Anteil an Additiven in einer Lackformulierung relativ gering ist, liegt der Gesamtverbrauch in Europa jährlich über 100000 t<sup>[1-2]</sup>!

Die relative Bedeutung der Additive in einer Lackrezeptur ist nicht einfach mit den Begriffen „verbrauchte Menge“ oder „Wert“ zu beschreiben; entscheidend ist der technische Einfluß des Additivs auf die Lackeigenschaften. Die Bedeutung der Additive für eine Lackrezeptur wird am besten ausgedrückt als dessen Beitrag zur Qualitätsverbesserung des Lackes. Leider läßt sich ein solcher Beitrag generell schlecht als Wirtschaftsfaktor – wie es häufig gewünscht wird – quantifizieren.

Die rein wirtschaftliche Bedeutung der Additive, bezogen auf die Rohstoffkosten oder auf das Rohstoffvolumen, ist hingegen eher bescheiden (Abb. 1.4-2)<sup>[1-3]</sup>.

Lackrohstoff	Mengen in %	Wert in %
Bindemittel	29,5	31,7
Lösemittel	27,4	15,5
Wasser	10,6	–
Pigmente	18,7	45,9
Füllstoffe	12,3	3,5
Additive	1,5	3,4
Gesamt	100	100

Abb. 1.4-2. Relative Verbrauchsmengen der Lackrohstoffe

Additive nehmen also, bezogen auf die Mengen, nur einen sehr bescheidenen Platz ein. Der relativ höhere Anteil, bezogen auf den Wert, deutet auf die hohen Kosten pro Volumeneinheit mancher Additive hin.

In Abbildung 1.4-2 kommt deutlich zum Ausdruck, daß die zusätzlichen Rohstoffkosten eines Lackes durch den Einsatz von Additiven nur minimal sind. Die Begründung für den Einsatz eines Additivs ist dessen Beitrag zu einer höheren Lackqualität.

## Literatur

[1-1] Bieleman, J.H., *Coatings Agenda Asia Pacific 1996/1997*, Campden Publ. London, S. 150

[1-2] Stoye-Freitag, *Lackharze*, Carl Hanser Verlag, München 1996, S. 396

[1-3] *The Demand for Coating Additives*, 3. Auflage; IRL Ltd., London 1991, S. 118–120

## 2 Grundlagen

*Johan Bieleman*

### 2.1 Einführung

Als Additive sind die Komponenten zu bezeichnen, die in kleineren Mengen neben Bindemitteln, Pigmenten/Füllstoffen und Lösemitteln zur Formulierung der Farbe eingesetzt werden, um während der Herstellung, Lagerung und Verarbeitung der Farbe oder in der Lackschicht gewünschte Eigenschaften ermöglichen zu können (s. Abschn. 1.2).

Aus dieser Definition kann man erkennen, daß es eine Vielfalt an Anwendungszwecken für Additive gibt; die Additivgruppe ist sehr inhomogen. Lackadditive sind hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer Funktionen außerordentlich unterschiedlich.

Die einzigen Phänomene, die die verschiedenen Additivgruppen gemeinsam haben, sind die Tatsachen, daß Additive definitionsgemäß „in kleineren Mengen eingesetzt werden“ und daß es Zweck ihrer Verwendung ist, „gewünschte Eigenschaften zu ermöglichen“.

Diese Fakten deuten schon an, daß es sehr unwahrscheinlich ist, generelle und typische physikalische oder chemische Eigenschaften für alle Additive gemeinsam aufzeichnen zu können.

In der Tat ist es so, daß die verschiedenen Gruppen getrennt betrachtet werden müssen. In diesem Kapitel werden die Basiskonditionen, auf denen die typische Anwendung eines Additivs beruhen, erläutert.

### 2.2 Wechselwirkungen

Additive werden eingesetzt zur Modifizierung der Lackeigenschaften, die über das Bindemittel, Pigment und Lösemittel erreicht werden. Charakteristisch für Additive ist weiterhin, daß sie ihre Wirksamkeit an bestimmten Orten im Lack oder in der Lackschicht entfalten sollten. Aufgabe der Additivhersteller ist es, die Additive so zu konzipieren, daß die Additivmoleküle tatsächlich dort im Lack konzentriert werden, wo sie ihre Wirkung zeigen sollen (Abb. 2.2-1).

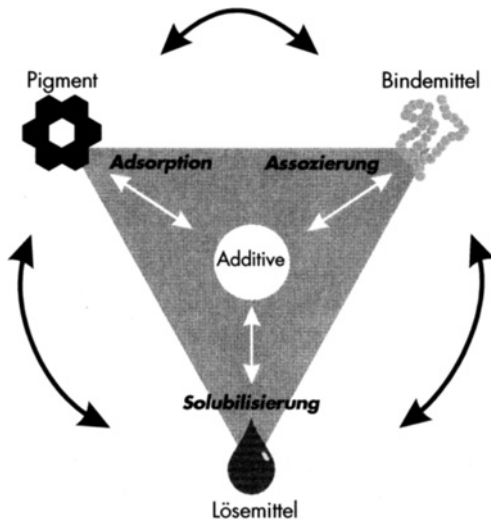


Abb. 2.2-1. Wechselwirkungen zwischen Additiven und sonstigen Lackbestandteilen

Typische charakteristische Eigenschaften des Additivs, die von großer technischer Bedeutung sind:

- Grenzflächenaktivität
- Dampfdruck
- Löslichkeit des Additivs in der Flüssigphase
- chemische Stabilität

Die Bedeutung dieser Eigenschaften wird im folgenden anhand einiger Beispiele demonstriert.

### Grenzflächenaktivität

Über chemische Modifizierungen können Moleküle so maßgeschneidert werden, daß sie eine erhöhte Affinität zur bestimmten Grenzflächen aufweisen.

Carboxylierung, Sulfatierung bzw. Phosphatierung von Fettalkoholen führt zur Bildung anionaktiver, also negativ geladener Gruppen im Molekül. Diese chemische Modifizierung des Fettalkohols hat eine erhöhte Adsorption an den Oberflächen basischer Pigmente zur Folge (kovalente Bindungskräfte).

### Dampfdruck

Als Hautverhinderungsmittel für oxidativ trocknende Farben wird in der Praxis überwiegend Methylethylketoxim verwendet. Die Wirkung beruht auf einer chemischen Komplexierung und als Folge davon einer Blockierung des Katalysators. Der hohe Dampfdruck des Oxims führt zu einer schnellen Verdunstung des Oxims, sobald der Lack appliziert ist und sich somit die Verdunstungsoberfläche des Lackes sehr stark vergrößert hat; dabei wird der Katalysator freigesetzt.

**Löslichkeit**

Entschäumer sollen ihre Wirkung an der Grenzfläche Flüssigkeit/Luft zeigen. Oft sind Entschäumer nur schwach in der Flüssigphase löslich. Sobald der Lack aufgetragen ist, findet eine Abtrennung und ein Aufrahmen des Entschäumers statt; es bildet sich somit eine erhöhte Konzentration des Entschäumers an der Grenzfläche Flüssigkeit/Luft.

**Chemische Stabilität**

Eine beschränkte chemische Stabilität bei erhöhter Temperatur ermöglicht zum Beispiel die Freisetzung von Säuren im Falle von säurekatalysierten Lacken.

## 2.3 Chemische Zusammensetzung

In ihren chemischen Zusammensetzungen unterscheiden sich die Additive außerordentlich voneinander. Teils sind es chemisch eindeutig definierbare Verbindungen wie zum Beispiel Oxime, Silikone, Celluloseether, Metallseifen, teils sind es sehr komplexe Präparationen aus verschiedenen Verbindungen.

Es handelt sich dabei nicht ausschließlich um synthetische Produkte. Manche Additive bestehen aus Naturstoffen (z.B. Lecithin) oder modifizierten bzw. aufbereiteten Naturstoffen (z.B. Cellulosederivate). Jedoch gehört die Mehrheit der Additive zur Klasse der synthetischen Verbindungen.

## 2.4 Wirksamkeit der Additive

Additive, zum Beispiel Entschäumer, werden eingesetzt, um gut definierbare Eigenschaften zu erhalten. Jedoch sind Additive oft in mehrfacher Hinsicht wirksam. Manchmal ist diese mehrfache Wirksamkeit gewollt: Netzmittel führen zu einer besseren Pigmentbenetzung und nicht selten auch zu einer verbesserten Haftung der Lackschicht auf dem Substrat und wirken dazu verlaufsfördernd. Auch Hautverhinderungsmittel wirken zusätzlich als Verlaufsmittel.

Es können aber auch negative Nebenwirkungen auftreten: Verdicker wirken zusätzlich unerwünscht auch als Mattierungsmittel, Dispergiermittel zusätzlich als Polymerisationskatalysatoren.

Diese Phänomene sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die komplexe Struktur eines Lackes zurückzuführen; hinzu kommt, daß auch Additive oft komplex zusammengesetzt sind.

## 2.5 Anwendungen

Additive werden üblicherweise nach folgenden Kriterien ausgewählt<sup>[2-1]</sup>:

- Funktionalität
- Verfügbarkeit
- Verträglichkeit
- Preis-/Leistungsverhältnis

Die Funktionalität hängt direkt mit der Zusammensetzung und den mengenmäßigen Einsatzempfehlungen des Lieferanten zusammen. Additive sind oft „Problemlöser“; sie werden zur Beseitigung aktueller Produktionsprobleme ausgesucht und sofort in die Rezeptur aufgenommen. Allein die Verfügbarkeit des Additivs ist dabei entscheidend.

Verträglichkeit ist ebenfalls ein äußerst wichtiges Kriterium. In der Praxis werden verschiedene Additive in der gleichen Formulierung eingesetzt. Dabei können sich manche Wirkungen gegenseitig aufheben. So können Dispergiermittel die Effektivität der Assoziativverdicker negativ beeinflussen. Auch kann die Wirkung und Effektivität des Additivs während der Lagerung der Farbe als Folge von physikalischen oder chemischen Wechselwirkungen mit anderen Komponenten der Lackrezeptur stark beeinträchtigt werden.

Die Risiken solcher unerwünschter Prozesse können bei ausreichenden Kenntnissen aller eingesetzten Rohstoffe und deren Chemie reduziert werden, jedoch kann – was den Beitrag der Additive anbelangt – auch die Reihenfolge der Rohstoffzugabe von Bedeutung sein.

Additive werden üblicherweise vor dem Dispergierprozeß, z. B. Dispergiermittel, Verdicker, Bakterizide, oder während der Auflackungsphase des Lackproduktionsprozesses zugegeben.

Auch die Dosierungsmenge mancher Additive ist kritisch; die Komplexität einer Lackrezeptur erfordert, daß die einzusetzende Menge in jeder Rezeptur empirisch ermittelt wird.

Da Additive Substanzen sind, die nur in kleinen Mengen zugefügt werden, ist der Einfluß auf die Gesamtrohstoffkosten relativ unbedeutend. Entscheidend ist vielmehr, ob die gewünschte Verbesserung erreicht wird.

## Literatur

- [2-1] Sharma, M. K., Parikh, A, *Surface Phenomena Waterborne Coatings*, Plenum Press, New York 1995, S. 203



## **3 Verdicker**

*Johan Bieleman*

### **3.0 Grundlagen**

#### **3.0.1 Einführung**

Verdicker werden in Lacken und Farben eingesetzt, um dem System die gewünschten rheologischen Eigenschaften zu geben. Das rheologische Verhalten eines Lackes beeinflusst sowohl dessen Herstellung und Lagerung als auch die anwendungstechnischen Eigenschaften.

Verdicker werden während der Herstellung meist schon vor dem Dispergierungsprozeß der Mahlpaste – abgestimmt auf das Dispergiergerät – zur Erzielung eines optimalen Fließverhaltens zugegeben. Werden die Pigmente in einem zu dünnen Medium dispergiert, dann tritt turbulentes Fließverhalten auf, wodurch ein großer Teil der zugeführten Energie verloren geht, also nicht optimal für den Dispergierprozeß genutzt wird.

Während der Lagerung sollte die Farbe eine ausreichend hohe Viskosität haben, damit auch schwere Pigmentteilchen nicht sedimentieren.

In ähnlicher Weise werden über die Viskositätseinstellung viele anwendungstechnische Eigenschaften bestimmt, z.B. das Fließ-, Ablauf- und Streichverhalten sowie die Schichtdicke und Deckfähigkeit.

Zur Einstellung der Rheologie gibt es viele Möglichkeiten. Durch Zugabe des Verdickers wird eine Viskositätserhöhung erzielt. Als geeignete Verdicker werden in der Praxis sehr häufig sowohl organische als auch anorganische Produkte verwendet.

Um die Wirkungsweise dieser Verdicker in Lacken zu verstehen, sind einige rheologische Grundkenntnisse erforderlich; daher werden zunächst einige Begriffe der Rheologie erläutert.

### 3.0.2 Rheologie und Viskosität

Definitionsgemäß versteht man unter Rheologie „die Lehre von der Verformung und dem Fließverhalten der Materie unter Einwirkung äußerer Kräfte“<sup>[3-1, 3-2]</sup>. Wörtlich übersetzt bedeutet der aus dem Griechischen stammende Begriff „rheos“ das Fließen.

#### Fließverhalten und Strömung

Bei der Strömung in Flüssigkeiten wird zwischen laminarer und turbulenter Strömung unterschieden. Eine Strömung wird als laminar bezeichnet, wenn die parallelen, unendlich dünnen Flüssigkeitsschichten – aus denen wir uns die Flüssigkeit zusammengesetzt vorstellen können – sich im Verhältnis zueinander so bewegen, daß keine Vermischung stattfindet<sup>[3-3]</sup>.

Als Folge davon lassen sich laminare Strömungen, vorausgesetzt daß dabei keine turbulenten Strömungen entstehen, mathematisch leicht beschreiben.

Die Strömung wird als turbulent oder dilatant bezeichnet, wenn eine Vermischung erfolgt. Bei einer turbulenten Strömung geht ein großer Teil der Energie, die eingesetzt wird, um eine Strömung zu bewirken, verloren und kann somit – im Unterschied zur laminaren Strömung – nicht für das eigentliche Ziel, eine Strömung zu erreichen, genutzt werden.

Sowohl während der Herstellung als auch während der Anwendung sind die Strömungen in Lacken und Beschichtungsmitteln hauptsächlich laminar.

#### Scherspannung, Schergeschwindigkeit und Viskosität

Zur Veranschaulichung rheologischer Größen wird häufig das Zwei-Platten-Modell verwendet (Abb. 3.0-1).

Stellen wir uns, wie bei der laminaren Strömung beschrieben, ein Flüssigkeitsvolumen vor, das aus einer Vielzahl von Flüssigkeitsschichten besteht. Die oberste Schicht mit der Fläche  $A$  wird durch die Kraft  $F$  ( $N = kg\ m/s^2$ ) mit der Geschwindigkeit  $v$  ( $m/s$ ) bewegt. Die untere Schicht ist fixiert. Die Richtung dieser Kraft verläuft parallel zu den Grenzflächen der Schichten.

In diesem Fall beträgt die „Beanspruchung“ Kraft  $F$ /Fläche  $A$ . Diese Beanspruchung wird als Scherspannung oder als Schubspannung  $\tau$  bezeichnet. Die Scherspannung ist somit diejenige Kraft, mit der zwei angrenzende Flüssigkeitsschichten im Verhältnis zueinander bewegt werden<sup>[3-1]</sup>.

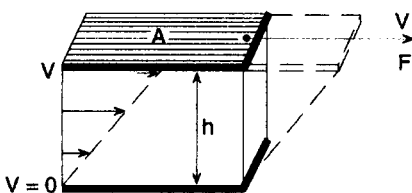


Abb. 3.0-1. Das Zwei-Platten-Modell