

FARBEUNDLACK // BIBLIOTHEK



Das Rheologie Handbuch

THOMAS G. MEZGER

5., VOLLSTÄNDIG ÜBERARBEITETE AUFLAGE



Thomas G. Mezger

Das Rheologie Handbuch

Für Anwender von
Rotations- und Oszillations-Rheometern

5., vollständig überarbeitete Auflage

Umschlagbild: Fiedels - fotolia.com

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Thomas G. Mezger

Das Rheologie Handbuch: Für Anwender von Rotations- und Oszillations-Rheometern
5., vollständig überarbeitete Auflage
Hannover: Vincentz Network, 2016
Farbe und Lack // Bibliothek
ISBN 3-86630-632-6
ISBN 978-3-86630-632-5

© 2016, Vincentz Network GmbH & Co. KG, Hannover
Vincentz Network, Plathnerstr. 4c, 30175 Hannover, Germany

Das Werk einschließlich seiner Einzelbeiträge und Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenzeichen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Namen ohne weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um geschützte, eingetragene Warenzeichen.

Das Verlagsverzeichnis schickt Ihnen gern:
Vincentz Network, Postfach 6247, 30062 Hannover, Germany
Tel. +49 511 9910-033, Fax +49 511 9910-029
buecher@farbeundlack.de
www.farbeundlack.de

Satz: Siegfried Urbich, Mediendesign, Celle, Germany
Druck: BWH GmbH, Hannover, Germany
ISBN 3-86630-632-6
ISBN 978-3-86630-632-5

Wir empfehlen auch folgende Bücher:



Neue
Auflage!

Lackeigenschaften messen und steuern

GEORG MEICHSNER,
THOMAS G. MEZGER UND
JÖRG SCHRÖDER

Um die speziellen Funktionen und Eigenschaften moderner Beschichtungen zu optimieren, ist ein Verständnis ihrer physikalisch-chemischen Zusammenhänge unerlässlich. Genau dieses Verständnis schaffen die Autoren dieses Standardwerkes nun bereits in der zweiten Auflage und schlagen dabei konsequent den Bogen von der Theorie hin zur Praxis. Ein unverzichtbares Lehrbuch für Lackingenieure, Chemiker und Techniker!

2., überarbeitete Auflage, 2016 //
252 Seiten // gebunden
159,- € // **Bestell-Nr.: 163**
eBook: 163_PDF



Instrumentelle Lackanalytik

ROGER DIETRICH

Das Buch gibt Einblick in die Ziele der Lackanalytik, stellt eine Fülle an Verfahren und Einsatzmöglichkeiten vor und hilft, Abweichungen und Fehlerquellen in Beschichtungen gezielt zu bestimmen. Ein praxisorientiertes Lehrbuch für alle Anwendungstechniker und Einsteiger!

2006 // 130 Seiten // gebunden // 149,- €
Bestell-Nr.: 169



Kurzeitwitterung

ULRICH SCHULZ

Wetterbeständigkeit und Langlebigkeit sind unerlässliche Eigenschaften einer Lackierung, wobei die Kurzzeitwitterung hierbei als wichtigste Prüfmethode dient. Der Autor vermittelt seine jahrelangen Erfahrungen auf dem Gebiet und liefert wertvolle Erkenntnisse für Lackentwickler und Lackprüfer.

2007 // 183 Seiten // gebunden // 149,- €
Bestell-Nr.: 402



Coloristik für Lackanwendungen

TASSO BÄUERLE ET AL.

Die Autoren erklären die wichtigen Themengebiete Farbmeterik, Messung und Analyse grundlegend und besonders anschaulich. Angefangen mit den Grundlagen der Farbmeterik werden die Techniken für die messtechnische Farbbeurteilung detailliert und praxisnah dargestellt.

2012 // 312 Seiten // gebunden // 169,- €
Bestell-Nr.: 548 // eBook: 548_PDF

www.farbeundlack.de/shop



VINCENZ



Auf ein Wort

Warum wurde dieses Buch geschrieben?

Wer sich in der industriellen Praxis mit Rheologie befasst – der Lehre vom Deformations- und Fließverhalten – und nach entsprechender Literatur sucht, findet einerseits Broschüren mit geringem Tiefgang, in denen für den praktischen Anwender meist wenig Nutzen bringendes steht, und andererseits hochspezialisierte Fachbücher, die mit physikalischen Formeln und mathematischen Theorien überladen sind. Dazwischen mangelt es an

Literatur, die sich bei den theoretischen Grundlagen auf das Notwendige beschränkt und darüber hinaus praxistgerechte Anleitungen für Versuche zur Materialcharakterisierung beinhaltet. Dieses Buch soll dazu beitragen, die Lücke zu füllen.

Dargestellt sind die Möglichkeiten der Rheologie in den Bereichen Qualitätssicherung, Produktions- und Anwendungstechnik, chemische und mechanische Ingenieurwissenschaften, Materialforschung und -entwicklung. Der Schwerpunkt liegt auf den aktuellen Messmethoden. Der Leser soll anschließend in der Lage sein, Versuche mit Rotations- und Oszillations-Rheometern durchzuführen und die Ergebnisse richtig zu interpretieren.

Wie ist dieses Buch entstanden?

Mitte der 1980er-Jahre erschienen die ersten rechnergesteuerten Rheometer in den Industrielabors; seitdem verbessert sich die Messtechnik in Atem beraubendem Tempo und dasselbe gilt für die Steuer- und Auswertmöglichkeiten. Um die ständig anwachsende Informationsmenge zu ordnen und transparent zu machen, führt die Fa. Anton Paar Germany – vorher unter dem Namen Physica Messtechnik – bereits seit 1988 Grundlagenseminare sowie branchenspezifisch applikationsbezogene Schulungen durch. Während der „European Coatings Show“ in Nürnberg im April 1999 regte der Veranstalter und Verlagsleiter Dr. Lothar Vincentz an, dieses Buch über angewandte Rheologie zusammenzustellen.

Für wen und für welche Industriebranchen wurde dieses Buch geschrieben?

„Das Rheologie Handbuch“ ist geeignet für alle, die ohne Vorkenntnisse in die Rheologie einsteigen, sowie für jene, die bereits früher erworbenes Wissen mit aktuellen Informationen auffrischen wollen. Der Leser kann es als Lehrbuch von Anfang bis Ende durchlesen oder als Nachschlagewerk für gezielt ausgewählte Kapitel nutzen; zahlreiche Querverweise stellen Zusammenhänge her und ein ausführliches Stichwortverzeichnis hilft bei der Suche. Bei Bedarf soll das Buch – wie die ersten Sprossen einer Leiter – den Aufstieg in die Höhen der theorieorientierten Rheologiebücher mit Universitätsstandard erleichtern. Um den Lesestoff aufzulockern, sind neben vielen Abbildungen anschauliche Beispiele, Tabellen

und Rechenübungen eingefügt. Folgende Auflistung zeigt, dass Rheologieanwender in vielen Industriebranchen angesprochen sind.

- **Polymere:** Lösungen, Schmelzen, Festkörper; Membranemulsionen, Celluloselösungen, Latexdispersionen, feste Filme, Folien (einschichtig, mehrschichtig), Lamine, Natur-, Epoxid-, Gieß-Harze, Silikone, Kautschuk, Weich- und Hart-Gummi; Thermoplaste, Elastomere, Duroplaste, Blends, Schaumstoffe; vernetzte und unvernetzte Polymere mit und ohne Füllstoffe oder Fasern; Polymerisations-, Vernetzungs-, Vulkanisations-, Schmelz- und Aushärtprozesse; polymere Verbundwerkstoffe; Pulverrheologie: Harzpulver, Granulat
- **Kleber und Dichtmassen:** Leime, Ein- und Mehrkomponenten-, Haft-, UV-, Schmelzkleber (Hotmelt), Plastisolpasten (Nahtabdichtung, Unterbodenschutz), Konstruktionskleber, Spachtelmassen; ungehärtet und ausgehärtet
- **Lacke, Lackfarben, Beschichtungen (Coatings):** Spritz-, Streich-, Tauch-Lacke; Wasser-, Effekt-, Struktur-, Low-Solid-, High-Solid-, Foto-, UV-, Pulver-Lacke; Lasuren, Holzbeizen; Bandbeschichtungen (Coil Coatings), Schutzlacke; reaktive Brandschutz-Beschichtungen; feste Lackfilme; Pulverrheologie: Pulverlack, Farbpulver (z.B. Titandioxid, Ruß), z.B. für 3D-Druck
- **Druckfarben:** Tiefdruck-, Hochdruck-, Flexodruck-, Flachdruck-, Offsetdruck-, Siebdruck-, UV-Druckfarben; Tinten, Pigment-, Farb-, „Thixo-Pasten“, flüssige und pastöse Farbpigmentdispersionen; Pulverrheologie: Materialien für 3D-Druck
- **Papierstreichfarben:** Grundier- und Deckstrich; Immobilisierungsprozess
- **Lebensmittel:** Wasser, Speiseöle, Fruchtsäfte, Baby- und Flüssignahrung, Likör, Sirup, Mus, Verdickungsmittel, Gele, Pudding, Gummibärchen, Ketchup, Mayonnaise, Senf, Milchprodukte (Joghurt, Quark, Streich-, Schmelz-, Weich-, Hart-Käse, Butter), Schokolade(schmelze), Weichbonbons, Speiseeis, Kaugummi, Teig, Ei-Schaum und Cappuccino-Schaum, Wurstbrät, Saucen mit Fleischpartikeln, Marmeladen mit Fruchtstücken, Tierfutter; Biokulturflüssigkeiten; Gelbildungsprozess von Speisestärke; Grenzflächen-Rheologie: Emulsionen, Schäume; Schüttgüter- und Pulverrheologie: Milchpulver, Kakaopulver, Kaffeepulver, Kaffeeweißer, Mehl, Stärkepulver (u.a. Bindemittel), Puder- und Kristallzucker, Gewürze, Tierfutter (als Körner, Pellets), Getreide- und Reiskörner, sprühetrocknete Produkte; Einfluss der Luftfeuchtigkeit (z.B. Gebäck)
- **Kosmetik:** Parfümöle, Emulsionen (z.B. Hautpflege, Haarfärbung), Lotionen, Nagellack, Roll-on-Fluide (Deodorant), Shampoo, Duschgele, Hautcremes, Abrasiv-Cremes (Peeling), Haargele, Styling-Wachse, Rasierschaum, Zahnpasta, Make-up-Dispersionen, Lippenstift, Mascara, Haftkleber (z.B. für Babywindeln), Superabsorber, Haare, Schwämme; Grenzflächen-Rheologie: Emulsionen, Schäume; Pulverrheologie: Make-up-Puder, Rouge, Deodorant-Puder, Trocken-Shampoo, Baby-Puder, Hygienepulver
- **Pharmazie, Medizin, Biotechnologie:** Hustensaft, Nasensprays, Impferum, Blut (Hämo-Rheologie), Blutersatzstoffe, Emulsionen, Speichel, Schleim, Hydrogele, Synovial-Flüssigkeit (z.B. als Gelenkschmiere), Hyaluronsäure-Präparate (Hyaluronan, HA), Hautcremes, Salben, Vaseline, Membranen (natürlich, synthetisch), Siliconpolster, Dentalabformmasse, Zahnfüllungen, Schwämme, Kontaktlinsen (Augen), Haftkleber (z.B. für Hautpflaster, Zahnprothesen), Knochenzement, Implantate, organisch-anorganische Verbundmaterialien (Hybride), biologisch aktive Suspensionen und Gele (z.B. selbstschwimmende Mikroalgen, Bakterien), bakterielle Biofilme, biologische Zellen, Zellgewebe (z.B. Epithel), Knorpel, künstliches Gewebe; Grenzflächen-Rheologie: Emulsionen, Schäume; Pulverrheologie: Tablettieren, Desinfektionspulver
- **Agrochemikalien:** Pflanzenschutzmittel-Dispersionen (als Pestizide, Herbizide, Insektizide)
- **Reinigungsmittel (Detergentien):** Seifen-, Desinfektions-, Tensid-Lösungen, Dispersionen von Reinigungs-, Spül-, Scheuermitteln, Flüssig-Waschmittel; Grenzflächen-Rheologie: Emulsionen, Schäume; Pulverrheologie: Superabsorber (z.B. Babywindeln)

- **Oberflächentechnik:** Polier-, Schleifmittel-Suspensionen, Kühlemulsionen; Pulverrheologie: Polierpulver, Schleifmittel
- **Elektrotechnik und Elektronik:** Dickschicht-, Leit-, Widerstands-, Isolier-, Glas-, Weichlot-, Siebdruckpasten, SMD-Kleber (für „surface mounted devices“), Isolier-, Schutzlacke, Entfettungspasten, Batteriepasten, Elektroden-Beschichtungen
- **Petrochemikalien:** Erdöl, Lösemittel, Enteisungsmittel, Brennstoffe, Mineral-, Leicht-, Schwer-, Heiz-Öle, Schmierfette, Paraffine, Wachse, Vaseline, natürliches und polymer-modifiziertes Bitumen (PmB), Destillationsrückstände, Teer, Pech
- **Keramik und Glas:** Gießschlicker, Kaolin-, Porzellansuspensionen, Gaspulver-, Emailpasten, plastisch verformbare Massen, Verbundmaterialien, Glasschmelzen, Aerogele, Xerogele, Sol-/Gel-Materialien, Organosilane (als Hybride); Pulverrheologie: keramische Pulver (z.B. für 3D-Druck, Lasersintern), Ton, Lehm
- **Baustoffe:** Fließestrich, selbstnivellierende Ausgleichsmassen, Gips, Mörtel, Maschinenputze, Zementsuspensionen, Fliesenkleber, Dispersionsfarben, Dichtmassen, Parkettlacke, Fußboden-Lamine, polymer-modifiziertes Bitumen (z.B. als Straßenasphalt-Bindemittel), GTR-modifiziertes Asphaltbindemittel (ground tire rubber); Schüttgüter- und Pulverrheologie: Sand, Kalk, Kreide, Gips
- **Metalle:** Schmelzen von Magnesium, Aluminium, Stahl, Legierungen, Schlacke; Umformprozess im halbfesten Zustand („Thixoformen“, „Thixo-casting“); Pulverrheologie: Metallpulver (z.B. für 3D-Druck, als Laserschmelze)
- **Abfallwirtschaft:** Schmutzwasser, Klärschlämme, Tierkot (z.B. von Fischen, Geflügel, Katzen, Hunden, Schweinen, Rindvieh), Müllverbrennungsrückstände; Pulverrheologie: Klärschlamm, Filterkuchen
- **Geologie, Bodenmechanik, Bergbau:** Kohle-, Torf-, Erd-, Bohrschlämme; Fluss- und See-Sedimentmassen; Bodenverformung als Folge von Erdarbeiten bei Bergbau, Kanalbau, Deichbau, beim Befahren durch landwirtschaftliche Fahrzeuge; Bohrflüssigkeiten (z.B. mit Fließverbesserer), Fluide zur hydraulischen Stimulation (fracturing fluids); Schmelzen vulkanischer Gesteine (z.B. Basalt), Lava, Magma, Salzschmelzen; Pulverrheologie: Kohlestaub, Brikettieren
- **Katastrophenschutz:** Feuerlöschschaum, brennende Materialien, Bodenverformung bei Überschwemmung und Erdbeben
- **Materialien mit Spezialfunktionen (z.B. als „Smart Fluids“):** Magneto-rheologische Fluide (MRF), elektro-rheologische Fluide (ERF), di-elektrische Materialien, selbstheilende Lacke, Materialien mit selbstorganisierenden Überstrukturen (z.B. Tenside), dilatante Textilien (stoßdämpfend, „schussfest“), mesogene Fluide (MF), Flüssigkristalle; ionische Flüssigkeiten; mikroverkapseltes Paraffinwachs (Phasenwechsel-Material als Latentwärmespeicher); Formgedächtnis-Materialien (shape memory); Berührungsempfindlichkeit beim Anfassen einer geformten Probe (haptische Wahrnehmung) oder beim Abtasten einer Oberfläche (taktile Wahrnehmung); Systeme die auf äußere Reize mit Formänderung reagieren (z.B. Temperatur, Licht, Druck); Pulverrheologie: Materialien für 3D-Druck

Es ist sehr erfreulich, dass die ersten vier Auflagen des „Rheologie Handbuchs“, die zwischen 2000 und 2012 erschienen, nach unerwartet kurzer Zeit bereits vergriffen sind. Dieses Fachbuch ist auch in englischer Sprache erhältlich, vier Auflagen wurden zwischen 2002 und 2014 publiziert (Titel: „The Rheology Handbook“). Gerne nehme ich zur Kenntnis, dass dieses Buch nicht nur bei Labortechnikern und bei an praktischen Anwendungen interessierten Ingenieuren, bei Lehrern und Professoren von Technikerschulen und anwendungstechnisch orientierten Hochschulen große Zustimmung findet, sondern inzwischen auch weltweit als Einstiegslektüre für Vorlesungen, Praktika und weiterführende Studienarbeiten in Universitäten zur Erklärung der Grundlagen der Rheologie verwendet wird.

Für die fünfte Auflage wurden weitere Beispiele aus der Industriepraxis sowie aus der Mitarbeit in mehreren Arbeitskreisen zur Normierung von Messmethoden in verschiedenen Branchen eingefügt. Neu dazu kam Kapitel 13 (Scherversuche mit Pulvern und Schüttgütern). Kapitel 16 (Normen) wurde wieder aktualisiert.

Mein abschließender Wunsch ist, dass „Das Rheologie Handbuch“ als nützlicher Ratgeber dabei hilft, die genannten Produkte praxisnah zu charakterisieren, ihre Qualität zu sichern und möglichst noch zu verbessern.

Stuttgart, im August 2016

Thomas Mezger

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	19
1.1	Rheologie, Rheometrie, und Visokoelastizität.....	19
1.2	Deformation und Fließverhalten.....	21
2	Fließverhalten und Viskosität	23
2.1	Einleitung.....	23
2.2	Begriffsdefinitionen.....	23
2.2.1	Schubspannung.....	24
2.2.2	Scherrate.....	24
2.2.3	Viskosität.....	29
2.3	Scherbelastungsabhängiges Fließverhalten.....	31
2.3.1	Idealviskoses Fließverhalten.....	31
2.4	Strömungsformen im Zwei-Platten-Modell.....	34
3	Rotationsversuche	36
3.1	Einleitung.....	36
3.2	Grundlagen.....	36
3.2.1	Versuchsarten Scherraten- und Schubspannungsvorgabe, Rohdaten und rheologische Messgrößen.....	36
3.3	Fließkurven und Viskositätsfunktionen.....	37
3.3.1	Versuchsbeschreibung.....	37
3.3.2	Scherverdünnendes Fließverhalten.....	41
3.3.2.1	Strukturen von Polymeren mit scherverdünnendem Verhalten.....	43
3.3.2.2	Strukturen von Dispersionen mit scherverdünnendem Verhalten.....	48
3.3.3	Scherverdickendes Fließverhalten.....	48
3.3.3.1	Strukturen von Polymeren mit scherverdickendem Verhalten.....	52
3.3.3.2	Strukturen von Dispersionen mit scherverdickendem Verhalten.....	53
3.3.4	Fließgrenze.....	54
3.3.4.1	Auswertung der Fließgrenze über Fließkurven.....	55
3.3.4.2	Weitere Informationen zur Fließgrenze.....	56
3.3.5	Überblick: Fließkurven und Viskositätsfunktionen.....	61
3.3.6	Anpassungsfunktionen für Fließ- und Viskositätskurven.....	62
3.3.6.1	Modellfunktion für idealviskoses Fließverhalten nach Newton.....	63
3.3.6.2	Modellfunktionen für scherverdünnendes und scherverdickendes Fließverhalten.....	63
3.3.6.3	Modellfunktionen für Fließverhalten mit Null-Viskosität und Unendlich-Viskosität.....	64
3.3.6.4	Modellfunktionen für Fließkurven mit Fließgrenze.....	65
3.3.7	Wirkung von Rheologie-Additiven in wässrigen Dispersionen.....	68
3.4	Zeitabhängiges Fließverhalten und Viskositätsfunktion.....	73
3.4.1	Versuchsbeschreibung.....	73
3.4.2	Zeitabhängiges Fließverhalten ohne Aushärtung der Messprobe.....	73
3.4.2.1	Strukturabbau und -wiederaufbau (Thixotropie und Rheopexie).....	75

3.4.2.2	Testmethoden zur Untersuchung thixotropen Verhaltens	77
3.4.3	Zeitabhängiges Fließverhalten mit Aushärtung der Messprobe	84
3.5	Temperaturabhängiges Fließverhalten und Viskositätsfunktion	86
3.5.1	Versuchsbeschreibung	86
3.5.2	Temperaturabhängiges Fließverhalten ohne Aushärtung der Messprobe	87
3.5.3	Temperaturabhängiges Fließverhalten mit Aushärtung der Messprobe	88
3.5.4	Anpassungsfunktionen für Kurven der temperaturabhängigen Viskosität	90
3.6	Druckabhängiges Fließverhalten und Viskositätsfunktion	92
4	Elastisches Verhalten und Schubmodul	97
4.1	Einleitung	97
4.2	Begriffsdefinitionen.....	97
4.2.1	Deformation.....	98
4.2.2	Schubmodul.....	98
4.3	Scherbelastungsabhängiges Deformationsverhalten	101
4.3.1	Idealelastisches Deformationsverhalten nach Hooke	101
4.4	Auswertung der Fließgrenze über Anpassungsgeraden im Schubspannungs-/Deformations-Diagramm	103
5	Viskoelastisches Verhalten.....	107
5.1	Einleitung	107
5.2	Grundlagen.....	107
5.2.1	Viskoelastische Flüssigkeiten nach Maxwell	107
5.2.1.1	Das Maxwell-Modell.....	107
5.2.1.2	Anwendungsbeispiele für das Verhalten von VE-Flüssigkeiten in der Praxis	110
5.2.2	Viskoelastische Feststoffe nach Kelvin/Voigt.....	112
5.2.2.1	Das Kelvin/Voigt-Modell.....	112
5.2.2.2	Anwendungsbeispiele für das Verhalten von VE-Festkörpern in der Praxis	114
5.3	Normalspannungen.....	116
6	Kriechversuch	121
6.1	Einleitung	121
6.2	Grundlagen.....	121
6.2.1	Versuchsbeschreibung	121
6.2.2	Idealelastisches Verhalten	122
6.2.3	Idealviskoses Verhalten.....	123
6.2.4	Viskoelastisches Verhalten.....	123
6.3	Auswertung.....	124
6.3.1	Verhalten der Moleküle.....	124
6.3.2	Das Burgers-Modell.....	125
6.3.3	Kurvendiskussion	126
6.3.4	Begriffsdefinitionen.....	128
6.3.4.1	Null-Viskosität	128
6.3.4.2	Kriechkomplianz und Kriecherholungs-Komplianz	129
6.3.4.3	Retardationszeit.....	131
6.3.4.4	Retardationszeit-Spektrum.....	132
6.3.5	Datenkonversion.....	133
6.3.6	Bestimmung der Molmassenverteilung.....	134
6.4	Auswertung der Fließgrenze über Kriechversuche.....	134

7	Relaxationsversuch.....	136
7.1	Einleitung	136
7.2	Grundlagen.....	136
7.2.1	Versuchsbeschreibung	136
7.2.2	Idealelastisches Verhalten	138
7.2.3	Idealviskoses Verhalten.....	138
7.2.4	Viskoelastisches Verhalten.....	138
7.3	Auswertung.....	139
7.3.1	Verhalten der Moleküle.....	139
7.3.2	Kurvendiskussion	140
7.3.3	Begriffsdefinitionen.....	141
7.3.3.1	Relaxationsmodul.....	141
7.3.3.2	Relaxationszeit.....	142
7.3.3.3	Relaxationszeit-Spektrum.....	143
7.3.4	Datenkonversion	145
7.3.5	Bestimmung der Molmassenverteilung.....	147
8	Oszillationsversuche.....	149
8.1	Einleitung	149
8.2	Grundlagen.....	149
8.2.1	Idealelastisches Verhalten	150
8.2.2	Idealviskoses Verhalten.....	152
8.2.3	Viskoelastisches Verhalten.....	152
8.2.4	Begriffsdefinitionen.....	153
8.2.5	Versuchsarten Deformations- und Schubspannungsvorgabe, Rohdaten und rheologische Parameter.....	158
8.3	Amplitudentest.....	160
8.3.1	Versuchsbeschreibung	161
8.3.2	Stukturcharakter einer Messprobe.....	162
8.3.3	Grenze des LVE-Bereichs	163
8.3.3.1	Grenzwert des LVE-Bereichs als Deformationswert.....	164
8.3.3.2	Grenzwert des LVE-Bereichs als Schubspannungswert.....	168
8.3.4	Bestimmung der Nachbegrenze und Fließgrenze mit dem Amplitudentest	168
8.3.4.1	Nachbegrenze (yield point).....	168
8.3.4.2	Fließgrenze (flow point).....	169
8.3.4.3	Nachgiebigkeitsbereich zwischen Nachbegrenze und Fließgrenze	169
8.3.4.4	Bewertung der beiden Begriffe Nachbegrenze und Fließgrenze	170
8.3.4.5	Messprogramme in Kombination mit Amplitudentests	171
8.3.5	Frequenzabhängigkeit beim Amplitudentest.....	172
8.3.6	SAOS- und LAOS-Tests, und Lissajous-Diagramme.....	174
8.4	Frequenztest	178
8.4.1	Versuchsbeschreibung	178
8.4.2	Verhalten von unvernetzten Polymeren (Lösungen und Schmelzen).....	180
8.4.2.1	Einfaches Maxwell-Modell für Polymere mit enger Molmassenverteilung (MMV).....	180
8.4.2.2	Verallgemeinertes Maxwell-Modell für Polymere mit breiter MMV	184
8.4.3	Verhalten von vernetzten Polymeren	187
8.4.4	Verhalten von Dispersionen und Gelen.....	190
8.4.5	Vergleich von Überstrukturen mit Hilfe von Frequenzkurven	194
8.4.6	Mehrfrequenz-Versuch (Multiwave-Test).....	194

8.4.7	Datenkonversion.....	195
8.5	Zeitabhängiges Verhalten bei konstantendynamisch-mechanischen und isothermen Bedingungen.....	196
8.5.1	Versuchsbeschreibung	196
8.5.2	Zeitabhängiges Verhalten ohne Aushärtung der Messprobe	197
8.5.2.1	Strukturabbau und -wiederaufbau (Thixotropie und Rheopexie)	198
8.5.2.2	Testmethoden zur Untersuchung thixotropen Verhaltens	199
8.5.3	Zeitabhängiges Verhalten mit Aushärtung der Messprobe	204
8.6	Temperatur-abhängiges Verhalten bei konstanten dynamisch-mechanischen Bedingungen	208
8.6.1	Versuchsbeschreibung	209
8.6.2	Temperatur-abhängiges Verhalten ohne Aushärtung der Messprobe	210
8.6.2.1	Temperaturkurven und Strukturen von Polymeren.....	210
8.6.2.2	Temperaturkurven von Dispersionen und Gelen.....	218
8.6.3	Temperatur-abhängiges Verhalten mit Aushärtung der Messprobe	222
8.6.4	Thermoanalyse (TA)	224
8.7	Zeit-/Temperatur-Verschiebung	226
8.7.1	Temperatur-Verschiebungsfaktor nach der WLF-Methode	227
8.8	Die Cox/Merz-Beziehung.....	232
8.9	Kombinierte Rotations- und Oszillationsversuche	233
8.9.1	Vorgabe von Rotation und Oszillation in Serie.....	233
8.9.2	Überlagerung von Oszillation und Rotation	234
9	Komplexes Verhalten von Tensidsystemen.....	239
9.1	Tensidsysteme.....	239
9.1.1	Tensidstrukturen und Mizellen.....	239
9.1.2	Emulsionen	248
9.1.3	Mischungen von Tensiden und Polymeren, tensid-ähnliche Polymere.....	249
9.1.4	Anwendungen von Tensidsystemen	253
9.2	Rheologisches Verhalten von Tensidsystemen.....	254
9.2.1	Gewöhnliches Scherverhalten.....	254
9.2.2	Scherinduzierte Effekte, Scherschichtung und „Rheo-Chaos“	257
10	Messsysteme.....	262
10.1	Einleitung	262
10.2	Konzentrische Zylinder-Messsysteme	262
10.2.1	Zylinder-Messsysteme im Allgemeinen	262
10.2.1.1	Geometrie von Zylindersystemen mit weitem Scherspalt	262
10.2.1.2	Betriebsarten	263
10.2.1.3	Berechnungen.....	263
10.2.2	Konzentrische Zylinder-Messsysteme mit engem Spalt nach ISO 3219	265
10.2.2.1	Geometrie	265
10.2.2.2	Berechnungen.....	266
10.2.2.3	Umrechnung zwischen Rohdaten und rheologischen Parametern	267
10.2.2.4	Fließinstabilität und Sekundärströmungen im Zylinder-MS	268
10.2.2.5	Vor- und Nachteile von Zylinder-Messsystemen	270
10.2.3	Doppelspalt-Messsysteme.....	270
10.2.4	Zylinder-Messsysteme für hohe Scherraten (High-Shear)	271
10.3	Kegel/Platte-Messsysteme.....	272
10.3.1	Geometrie	272
10.3.2	Berechnungen.....	272

10.3.3	Umrechnung zwischen Rohdaten und rheologischen Parametern	274
10.3.4	Fließinstabilität und Sekundärströmungen.....	274
10.3.5	Kegelspitzenabnahme und Spalteinstellung	274
10.3.6	Maximal zulässige Partikelgröße	275
10.3.7	Befüllung des Kegel/Platte-Messsystems.....	276
10.3.8	Vorteile und Nachteile von Kegel/Platte-Messsystemen	276
10.4	Platte/Platte-Messsysteme.....	278
10.4.1	Geometrie	278
10.4.2	Berechnungen.....	279
10.4.3	Umrechnung zwischen Rohdaten und rheologischen Parametern	281
10.4.4	Fließinstabilität und Sekundärströmungen.....	281
10.4.5	Empfehlungen für den Plattenabstand	281
10.4.6	Automatische Spalt-Einstellung und automatische Spalt-Nachregelung mit Hilfe der Normalkraft-Steuerung	282
10.4.7	Bestimmung des Temperaturgradienten in der Messprobe.....	283
10.4.8	Vorteile und Nachteile von Platte/Platte-Messsystemen	283
10.5	Mooney/Ewart-Messsystem	284
10.6	Relativ-Messsysteme.....	285
10.6.1	Messsysteme mit sandgestrahlter oder profilierter Oberfläche.....	286
10.6.2	Scheiben-, stift- und kugelförmige Spindeln.....	287
10.6.3	Krebs-Spindeln	290
10.6.4	Pasten-Spindeln, Stift- und Flügel-Drehkörper.....	291
10.6.5	Kugel-Messsystem (Rotation auf einer Kreisbahn).....	292
10.6.6	Weitere Relativ-Messsysteme.....	293
10.7	Messsysteme für feste Torsionsstäbe.....	293
10.7.1	Probenstäbe mit rechteckigem Querschnitt.....	295
10.7.2	Probenstäbe mit kreisförmigem Querschnitt.....	296
10.7.3	Verbundwerkstoffe	297
10.8	Spezielle Messeinrichtungen	299
10.8.1	Besondere Messbedingungen mit Beeinflussung der Rheologie.....	299
10.8.1.1	Magnetische Felder für magneto-rheologische Flüssigkeiten.....	299
10.8.1.2	Elektrische Felder für elektro-rheologische Flüssigkeiten.....	300
10.8.1.3	Immobilisierung von Suspensionen durch Flüssigkeitsentzug.....	300
10.8.1.4	Ultraviolettes Licht für UV-härtende Materialien	301
10.8.1.5	Relative Luftfeuchtigkeit macht klebrig oder spröde.....	302
10.8.2	Rheo-optische Messeinrichtungen	303
10.8.2.1	Begriffe aus der Optik.....	303
10.8.2.2	Mikroskopie.....	308
10.8.2.3	Geschwindigkeitsprofil in Scherströmungen durch Partikelreflektion	310
10.8.2.4	Messzellen für Anisotropie mit optischer Drehung und Doppelbrechung....	310
10.8.2.5	SALS für gebeugte Lichtquanten	310
10.8.2.6	SAXS für gebeugte Röntgenstrahlquanten.....	311
10.8.2.7	SANS für gestreute Neutronen	312
10.8.3	Andere spezielle Messeinrichtungen.....	313
10.8.3.1	Grenzflächen-Rheologie mit zweidimensionalen Flüssigkeitsfilmen	313
10.8.3.2	Dielektrische Analyse mit elektrischen Dipolen	314
10.8.3.3	NMR mit Resonanz von magnetisch aktiven Atomkernen	315
10.8.4	Andere Prüfungen als Scherversuche	316
10.8.4.1	Dehnversuche, Zugversuche, Dehnviskosität und Dehnrheologie	316
10.8.4.2	Tack-Test, Klebrigkeit und Zügigkeit.....	320
10.8.4.3	Tribologie	323

11	Messgeräte.....	329
11.1	Einleitung	329
11.2	Methoden zur Prüfung von Viskosität und Elastizität	329
11.2.1	Sehr einfache Bestimmungen.....	329
11.2.2	Fließen auf horizontaler Ebene.....	331
11.2.3	Ausbreitmaß auf horizontaler Ebene nach Heben eines Behälters	331
11.2.4	Fließen auf schiefer Ebene.....	332
11.2.5	Fließen auf vertikaler Ebene oder über eine Hilfseinrichtung.....	333
11.2.6	Fließen in Kanal, Trog, Schale	334
11.2.7	Auslaufbecher und andere drucklose Kapillar-Viskosimeter.....	335
11.2.8	Geräte mit steigenden, sinkenden, fallenden, rollenden Elementen	335
11.2.9	Penetrometer, Konsistometer, Texture Analyzer	339
11.2.10	Druckbetriebene Zylinder- und Kapillargeräte.....	341
11.2.11	Einfache Versuche mit Rotationsviskosimetern	343
11.2.12	Geräte mit vibrierenden oder oszillierenden Elementen	346
11.2.13	Rotations- und Oszillations-Vulkameter zur Prüfung des Vulkanisationsverhaltens von Kautschuk, Gummi und Elastomeren	347
11.2.14	Zug- und Dehn-Prüfgeräte	349
11.2.15	Kompressions- oder Druck-Prüfgeräte	350
11.2.16	Linear-Schubgerät, Scherpresse, Ziehprüfer	351
11.2.17	Biege-Prüfgeräte	351
11.2.18	Torsions-Prüfgeräte	351
11.3	Auslaufbecher.....	352
11.3.1	Der ISO-Becher.....	353
11.3.1.1	Kapillarlänge.....	354
11.3.1.2	Berechnungen.....	354
11.3.1.3	Fließinstabilität, Sekundärströmungen und turbulente Fließbedingungen in Auslaufbechern	356
11.3.2	Andere Bauarten von Auslaufbechern.....	357
11.4	Kapillar-Viskosimeter	358
11.4.1	Glaskapillar-Viskosimeter.....	358
11.4.1.1	Berechnungen.....	360
11.4.1.2	Bestimmung der Molmasse von Polymeren über verdünnte Polymerlösungen.....	362
11.4.1.3	Bestimmung des Viskositäts-Index VI von Petrochemikalien	367
11.4.2	Druckbetriebene Kapillar-Viskosimeter	368
11.4.2.1	MFR- und MVR-Tester mit Gewichtsantrieb, als Niederdruck- Kapillarviskosimeter	368
11.4.2.2	Hochdruck-Kapillarviskosimeter mit elektrischem Antrieb zur Prüfung von hochviskosen und pastenartigen Materialien	373
11.4.2.3	Hochdruck-Kapillarviskosimeter mit Gasdruck zur Prüfung von Flüssigkeiten	376
11.5	Kugelfall-Viskosimeter	378
11.6	Stabinger-Viskosimeter	380
11.7	Rotations- und Oszillations-Rheometer.....	382
11.7.1	Bauarten von Rheometern	384
11.7.2	Regelkreise.....	386
11.7.3	Drehmoment-Messeinrichtungen	389
11.7.4	Winkel- oder Drehzahl-Messeinrichtungen	390
11.7.5	Lagerung.....	391
11.7.6	Temperiersysteme.....	393

12	Leitfaden für rheologische Versuche	400
12.1	Messsystem-Auswahl.....	400
12.2	Rotationsversuche.....	400
12.2.1	Fließ- und Viskositätskurven	400
12.2.2	Zeitabhängiges Fließverhalten (Rotation)	401
12.2.3	Sprungversuch (Rotation): Strukturabbau und -wiederaufbau (Thixotropie).....	401
12.2.4	Temperatur-abhängiges Fließverhalten (Rotation)	402
12.3	Oszillationsversuche	402
12.3.1	Amplitudentest.....	402
12.3.2	Frequenztest	403
12.3.3	Zeitabhängiges viskoelastisches Verhalten (Oszillation)	403
12.3.4	Sprungversuch (Oszillation): Strukturabbau und -wiederaufbau (Thixotropie).....	404
12.3.5	Temperatur-abhängiges viskoelastisches Verhalten (Oszillation).....	404
12.4	Wahl der Versuchsart	405
12.4.1	Ruheverhalten.....	405
12.4.2	Fließverhalten	407
12.4.3	Abbau und Wiederaufbau der Struktur (thixotropes Verhalten, z.B. von Beschichtungen).....	407
13	Scherversuche mit Pulvern und Schüttgütern.....	408
13.1	Einleitung	408
13.1.1	Klassifikation von Schüttgütern nach ihrer Fluidisierbarkeit.....	408
13.1.2	Einflussfaktoren auf das Fließverhalten von Pulver.....	409
13.2	Scherprüfung von stark verdichteten, verfestigten Schüttgütern	410
13.2.1	Vorverdichten des Schüttguts	411
13.2.2	Anscheren des Schüttguts	412
13.2.3	Abscheren des Schüttguts	413
13.2.4	Weitere Versuchsdurchläufe mit Anscheren und Abscheren.....	413
13.2.5	Mohrscher Spannungskreis	415
13.2.5.1	Mohr-Kreis für das stationäre Fließen, und die Verfestigungsspannung....	415
13.2.5.2	Mohr-Kreis zur Bestimmung der Druckfestigkeit.....	415
13.2.5.3	Fließfunktion mit der Verfestigungsspannung und der Druckfestigkeit...	416
13.2.6	Weitere Prüfungen mit Schergeräten.....	416
13.2.6.1	Zeitverfestigung, ausgewertet als Zeitfließort.....	416
13.2.6.2	Wandreibung ausgewertet als Wandfließort	417
13.2.6.3	Wandreibung mit Zeitverfestigung, ausgewertet als Zeitwandfließort	417
13.3	Scherprüfung von leicht verdichteten Schüttgütern mit der Fluidisierungs- und Pulver-Messzelle	418
13.3.1	Pulver-Messgeräte und Fluidisierungszellen.....	418
13.3.2	Vorbereitungen zur Pulverprüfung.....	419
13.3.3	Vorversuche zum Fluidisierungsverhalten von Pulvern	420
13.3.4	Pulverprüfung und Bestimmung der Kohäsionsstärke	422
14	Rheologen und die historische Entwicklung der Rheologie	426
14.1	Entwicklung bis zum 19. Jahrhundert.....	426
14.2	Entwicklung zwischen 1800 und 1900.....	430
14.3	Entwicklung zwischen 1900 und 1949	439
14.4	Entwicklung zwischen 1950 und 1979	449
14.5	Entwicklung ab 1980	452

15	Anhang	465
15.1	Verwendete Zeichen, Symbole und Abkürzungen	465
15.2	Griechisches Alphabet	475
15.3	Umrechnung von Einheiten.....	475
16	Normen	479
16.1	ISO-Normen (International Standards Organisation).....	479
16.2	ASTM-Normen (American Society for Testing and Materials)	482
16.3	DIN-, DIN EN-, DIN EN ISO- und EN-Normen (Deutsche Industrie Norm, Europäische Normen).....	489
16.4	Wichtige Normen für Anwender von Rotationsrheometern.....	494
	Lebenslauf	496
	Danksagung	496
	Index	497

1 Einleitung

1.1 Rheologie, Rheometrie, und Viskoelastizität

a) Rheologie

Rheologie ist die Lehre von der Deformation und vom Fließen der Substanzen. Diese Wissenschaft ist ein Teilgebiet der Physik (und der physikalischen Chemie), da die wichtigsten Messgrößen aus der Mechanik kommen: Kräfte, Auslenkungen und Geschwindigkeiten. Der Begriff ist aus dem Griechischen abgeleitet: rhei oder rheo bedeutet fließen, strömen^[1.1]. Dem Wortsinne nach bedeutet Rheologie also „Fließkunde“. Rheologische Untersuchungen umfassen aber nicht nur **das Fließverhalten von Flüssigkeiten**, sondern auch **das Deformationsverhalten von Festkörpern**. Der Zusammenhang besteht darin, dass durch Scherkräfte verursachte große Deformationen bei vielen Substanzen zum Fließen führen.

Alle Formen des wissenschaftlich beschreibbaren rheologischen Scherverhaltens finden zwischen zwei Extremen statt, dem Fließen von idealviskosen Flüssigkeiten und dem Verformen von idealelastischen Festkörpern. Beispielsweise kommen einerseits niederviskoses Mineralöl und andererseits eine Stahlkugel den beiden idealen Verhaltensformen sehr nahe. **Das Fließverhalten viskoser Substanzen** wird in Kapitel 2 erläutert und **das elastische Deformationsverhalten** in Kapitel 4.

Alle realen Substanzen besitzen sowohl einen viskosen als auch einen elastischen Anteil, man nennt ihr Verhalten viskoelastisch. Beispielsweise ist ein Tapetenkleister eine viskoelastische Flüssigkeit, und ein Radiergummi ist ein viskoelastischer Festkörper. Über **das viskoelastische Verhalten** wird in Kapitel 5 informiert. **Komplexes, auch außergewöhnliches rheologisches Verhalten** wird in Kapitel 9 am Beispiel von Tensidsystemen vorgestellt.

Tabelle 1.1 zeigt die wichtigsten Begriffe, die in diesem Buch angesprochen werden und sie ist auch den Kapiteln 2 bis 8 vorangestellt. Die fettgedruckten Begriffe heben hervor, welcher Inhalt in dem jeweiligen Kapitel erläutert wird.

Tabelle 1.1: Überblick über unterschiedliche Arten rheologischen Verhaltens

Flüssigkeit		Feststoff	
(ideal-) viskoses Fließverhalten Viskositätsgesetz (<i>Newton</i>)	viskoelastisches Fließverhalten Modell von <i>Maxwell</i>	viskoelastisches Deformationsverhalten Modell von <i>Kelvin/Voigt</i>	(ideal-) elastisches Deformationsverhalten Elastizitätsgesetz (<i>Hooke</i>)
Fließkurven, Viskositätskurven	Kriechversuche, Relaxationsversuche, Oszillationsversuche		

Die Rheologie wird erst seit dem 20. Jahrhundert als eine eigenständige Wissenschaft angesehen, aber schon vorher befassten sich viele Forscher mehr oder weniger wissenschaftlich mit dem Verhalten von Flüssigkeiten und Feststoffen. Die geschichtliche Entwicklung der Rheologie ist in Kapitel 14 aufgelistet. Interessant sind hier vor allem die historischen Versuche zur Klassifizierung aller Varianten des rheologischen Verhaltens, wie sie z.B. 1931 und 1960 durch *Markus Reiner* und 1942 durch *George W. Scott Blair* unternommen wurden.

Das Ziel der Rheologen ist es, das Fließ- und Deformationsverhalten der unterschiedlichsten Substanzen zu messen, die Ergebnisse gut deutbar darzustellen und zu erklären.

b) Rheometrie

Rheometrie ist die Messtechnik, die mit dem Erfassen rheologischer Daten verbunden ist. Hier gilt das Interesse den **Messsystemen**, den **Messgeräten**, und den **Mess- und Auswertemethoden**. Mit Rotations- und Oszillations-Rheometern können neben Flüssigkeiten und Festkörpern auch Pulver untersucht werden. In Kapitel 3 werden **Rotationsversuche** vorgestellt, mit denen das Fließverhalten oder viskose Verhalten beurteilt wird. Um das viskoelastische Verhalten zu charakterisieren führt man **Kriechversuche** (Kapitel 6), **Relaxationsversuche** (Kapitel 7) und **Oszillationsversuche** (Kapitel 8) durch. Informationen über **Messsysteme** (Messgeometrien) und **spezielle Messeinrichtungen** sind in Kapitel 10 und über Messgeräte in Kapitel 11 zu finden. Scherversuche mit leicht verdichteten Pulvern und stark verdichteten Schüttgütern sind in Kapitel 13 erläutert.

Seit ungefähr 1970 kamen analog gesteuerte Programmgeber und on-line-Schreiber zur Aufzeichnung von Fließkurven auf den Markt; und seit 1980 gibt es digital gesteuerte Geräte, welche die Speicherung von Messdaten und viele, auch ziemlich komplexe Auswertemethoden ermöglichen. Durch die messtechnischen Fortschritte werden die Grenzen immer weiter vorgeschoben und durch ISO-genormte Messsysteme und -verfahren sind die Messergebnisse heute weltweit vergleichbar geworden. Die Rheometerhersteller kommen in vielen Bereichen dem Ziel schon sehr nahe, den Anwendern dabei zu helfen, ihre Substanzen unter praxis- und prozessnahen Testbedingungen zu untersuchen.

Kapitel 12 enthält einen kurzen **Leitfaden für rheologische Messungen**, um praxisorientierten Anwendern die tägliche Laborarbeit zu erleichtern.

c) Anhang

Im Anhang (Kapitel 15) sind alle verwendeten **Zeichen, Symbole und Abkürzungen** mit den Einheiten erläutert, hier sind auch das griechische Alphabet (mit Aussprachehilfe) sowie eine **Umrechnungstabelle für Einheiten** (zwischen dem SI- und dem cgs-System) zu finden.

In Kapitel 16 sind über 500 **Normen** aufgelistet (**ISO, ASTM und DIN**). Die **Literaturstellen** sind jeweils am Ende des betreffenden Kapitels angegeben; die Veröffentlichungen und Bücher können durch die angegebene Ziffer in der hochgestellten Klammer identifiziert werden (z.B. mit ^[12,34] als Literaturstelle 34 in Kapitel 12).

d) Informationen für „Frau und Herrn Cleverle“

Im vorliegenden Text sind immer wieder Abschnitte für „Frau und Herrn Cleverle“ mit dem Brillen-Symbol eingefügt: 

Sie sind für jene Leser gedacht, die tiefer in die Theorie einsteigen wollen und auch vor etwas Mathematik und Physik nicht zurückschrecken. Diese Erläuterungen beinhalten jedoch keine Grundlagen für das Verständnis der Informationen aus dem nachfolgenden normalen Text, schließlich halten Sie gerade ein Buch über Rheologie auch für Einsteiger in der Hand. Deshalb können die Leserin und der Leser, die vor allem die praktische Seite der Rheologie interessiert, diese „Cleverle“-Abschnitte einfach überspringen.

1.2 Deformation und Fließverhalten

Im Alltag begegnen uns oft rheologische Phänomene. Einige Versuche sollen dies verdeutlichen, sie werden in den erwähnten Kapiteln ausführlich erläutert.

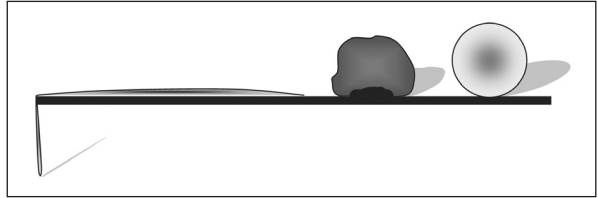


Abbildung 1.1: Verformungsverhalten nach dem Auftreffen auf den Boden: a) Mineralöl, b) Knetmasse, c) Stahlkugel

Versuch 1.1: Verhalten von Mineralöl, Knetmasse und Stahl

Drei völlig verschiedene Verhaltensweisen treten auf, wenn die folgenden drei Gegenstände auf einer Tischplatte auftreffen (Abbildung 1.1):

- Das **Mineralöl** verläuft so lange weiter, bis sich eine sehr dünne Schicht ausgebildet hat (**idealviskoses Fließverhalten**: Kapitel 2.3.1).
- Die **Knetmasse** wird beim Aufschlagen verformt und bleibt danach dauerhaft verformt (inhomogenes **plastisches Verhalten** außerhalb des linear-viskoelastischen Deformationsbereichs: Kapitel 3.3.4.2c).
- Die **Stahlkugel** springt wieder hoch und zeigt sich am Ende unverformt (**ideal-elastisches Verhalten**: Kapitel 4.3.1).

Versuch 1.2: Spielen mit „hüpfendem Kitt“ („Silly Putty“)

Dieses **Silikonpolymer** (unvernetztes PDMS) ist rheologisch vielseitig. **Das Verhalten ist, abhängig von der Belastungszeit**, sehr unterschiedlich (**viskoelastisches Verhalten von Polymeren**: Kapitel 8.4, Frequenztest).

- Bei sehr schneller und kurzzeitiger Belastung** verhält sich das Silikon wie ein steifer, elastischer **Festkörper**: Formt man die Masse zu einer Kugel und wirft sie auf den Boden, dann springt sie wieder hoch.
- Bei sehr langsamer und lange andauernder Belastung** verhält sich das Silikon wie eine nachgiebige, hochviskose **Flüssigkeit**: In Ruhe, d.h. beim Liegenlassen, verläuft sie unter ihrem Eigengewicht sehr langsam zu einer ebenen Schicht mit gleichmäßiger Dicke.

Versuch 1.3: Bleiben die Stäbchen standhaft?

Drei Holzstäbchen werden in drei Gläser mit unterschiedlichen Substanzen gesteckt und der Erdanziehungskraft überlassen.

- Das Stäbchen im Glas mit **Wasser** verändert seine Position sofort und kippt an den Rand des Glases (**idealviskoses Fließverhalten**: Kapitel 2.3.1).
Zusätzliche Beobachtung: Alle Luftblasen, die möglicherweise beim Einstecken des Stabes in das Wasser eingebracht wurden, steigen innerhalb von Sekunden schnell nach oben.
- Das Stäbchen im Glas mit **Silikon** (unvernetztes PDMS) neigt sich sehr, sehr langsam und lehnt sich erst nach ungefähr 10 Minuten an den Rand des Glases (**Polymer mit Null-Viskosität**: Kapitel 3.3.2.1a).

Zusätzliche Beobachtung zu den Luftblasen, die mit dem Stab in die Polymerprobe eingebracht wurden: Die großen Blasen steigen innerhalb weniger Minuten auf, die kleineren scheinen ohne sichtbare Bewegung in der Probe verteilt zu bleiben. Nach mehreren Stunden steigt jedoch auch noch das kleinste Bläschen an die Oberfläche. Dadurch findet am Ende doch die vollständige Entlüftung der Silikonmasse statt, auch wenn dies lange Zeit dauert.

- Das Stäbchen in der **Handcreme** dagegen bleibt still stehen (**Nachgebrenze und Fließgrenze**: Kapitel 3.3.4 und 4.4 sowie 8.3.4).

Zusätzliche Beobachtung: Alle Luftblasen bleiben, unabhängig von ihrer Größe, ohne Bewegung in der Creme verteilt stehen. Hier findet also überhaupt keine Entlüftung statt.

Fazit

Das rheologische Verhalten einer Substanz hängt von vielen äußeren Einflüssen ab. Die wichtigsten Bedingungen sind:

- die Art der Belastung (Vorgabe der Verformung, der Geschwindigkeit oder der Kraft, beziehungsweise der Deformation, der Scherrate oder der Schubspannung)
- die Höhe der Belastung (als geringe oder hohe Scherbelastung)
- die Dauer der Belastung (in Form der Belastungs- und Ruhezeiten)
- die Temperatur (siehe Kapitel 3.5 und 8.6)

Einige weitere wichtige Parameter sind beispielsweise:

- die Konzentration (z.B. von Feststoffpartikeln in einer Suspension, siehe Kapitel 3.3.3, oder von Polymeren in einer Lösung, siehe Kapitel 3.3.2.1a, oder von Tensiden in einer Dispersion, siehe Kapitel 9). Mit einer Immobilisations-Messzelle kann der Flüssigkeitsanteil unter gesteuerten Bedingungen reduziert werden (z.B. bei Untersuchungen von Dispersionen wie Papierstreichfarben, siehe Kapitel 10.8.1.3).
- der Umgebungsdruck (siehe Kapitel 3.6)
- der pH-Wert (z.B. bei Tensidsystemen, siehe Kapitel 9)
- die magnetische oder elektrische Feldstärke bei magneto-rheologischen oder elektro-rheologischen Flüssigkeiten (MRF, ERF), siehe die Kapitel 10.8.1.1 und 2.
- Aushärtung unter UV-Bestrahlung (z.B. bei der Untersuchung von UV-härtenden Harzen, Klebstoffen, Druckfarben), siehe Kapitel 10.8.1.4.
- die Luftfeuchtigkeit (siehe Kapitel 10.8.1.5)
- die Menge des Luftstroms in einer fluidisierten Pulver-Luft-Mischung (siehe Kapitel 13.3)
- der Festigungsgrad in einem zusammengepressten Schüttgut oder Pulver (siehe Kapitel 13.2)

1.3 Literatur

- [1.1] *Beris, A.N., Giacomin, A.J.,* Panta rhei - everthing flows, *J. Appl. Rheol.* 24 (2014) 52918

Lebenslauf



Thomas G. Mezger, geboren 1954, schloss sein Studium an der Universität Stuttgart als Diplom-Ingenieur Verfahrenstechnik ab. Im Beruf erwarb er auf dem Gebiet der praktisch angewandten Rheologie reichhaltige Erfahrungen bei seinen Tätigkeiten in den Abteilungen Vertrieb (Viskosimeter, Rheometer), Anwendungstechnik (Rheologie, Rheometrie) sowie Product Management und Product Support (Beratung, Ausbildung). Dies erfolgte bei den Rheometerherstellern Contraves (1984 bis 1988) und anschließend bei der Physica Messtechnik in Stuttgart (bzw. Ostfildern), die seit 1996 zur Anton Paar Gruppe gehört. Seit 1990 führt er international Seminare für Mitarbeiter/innen von Firmen aus vielen Industrie-

branchen und Instituten, die sich mit rheologischen Fragen befassen, durch. Diese Seminare enthalten das Basiswissen über Rheologie sowie die praktische Nutzung in der Industrie. Er schrieb folgende Fachbücher:

- Das Rheologie Handbuch in der fünften Auflage, sowie als englische Ausgabe: The Rheology Handbook in der vierten Auflage
- Angewandte Rheologie – mit Joe Flow auf der Rheologie-Straße; weitere Ausgaben in englischer, chinesischer, französischer, japanischer, koreanischer und spanischer Sprache
- Als Co-Autor in:
 - 1) *Meichsner, G., Mezger, T.G., Schröder, J.*, Lackeigenschaften messen und steuern, Vincentz, Hannover, 2. Auflage 2016
 - 2) Rheologische Prüfungen, in: Kittel – Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, Band 10: Analysen und Prüfungen, (Hrsg.) *H.-D. Otto*, Hirzel, Stuttgart, 2006

Danksagung

Ganz herzlich möchte ich mich bei allen bedanken, ohne deren kompetente Anregungen und Verbesserungsvorschläge es nicht möglich gewesen wäre, ein so umfangreiches und verständlich gestaltetes Fachbuch zusammenzustellen; in besonderem Maße haben mir dabei geholfen: Gunther Arnold, Oliver Arnolds, Heike Audehm, Wolfgang R. Baumgartner, Monika Bernzen, Stefan Büchner, Tom Colman, Giuseppe Distratis, Gerd Dornhöfer, Andreas Eich, Elke Fischle, Ingrid Funk, Katja Hartmann, Patrick Heyer, Siegfried Huck, Jörg Läger, Thomas Littens, Markus Nemeth, Sabine Neuber, Tobias Nill, Joop van den Ouweland, Gina Paroline, Detlef van Peij, Marcel de Pender, Matthias Prenzel, Bernd Reinmüller, Hubert Reitberger, Elke Riedl, Michael Ringhofer, Haike Ruijters, Oliver Sack, Michael Schäffler, Jan Scheel, Carmen Schönhaar, Denis Schütz, Werner Stehr, Heiko Stettin, Simone Stojanovic, Markus Thiele, Jürgen Utz, Loredana Völker-Pop, Klaus Wollny und Christine Wurm. Neben der Unterstützung durch meine Kollegen ist an dieser Stelle auch jene des Managements der Firmen Anton Paar GmbH in Graz und Anton Paar Germany GmbH in Ostfildern (bei Stuttgart) zu nennen. Last, not least, gilt mein Dank Dr. Ulrich Zorll (Lektor und Herausgeber der ersten Auflage) für seine wertvollen Hinweise.

Index

A

Abkühl-Verhalten (Petrochemikalien) 88, 344
 Abkürzungen 465
 Ablaufen (Beschichtung) 25, 61, 81, 88, 202, 333
 Abscheren (Pulver-Rheologie) 413
 Absetz-Verhalten 33, 191
 Absolut-Messsysteme 285
 Absorption (Dämpfung) 114
 Aceton (Viskosität) 30
 acoustic wave viscometer 347
 Adams-Konsistometer 331
 additive Fertigung 425, 456
 Adhäsion, Adhäsions-Bruch 322, 340
 Adhäsions-Test (Pulver) 417
 adhäsive Trenn-Energie 321
 Aero-Gele, Aero-Sole 25, 206
 AFNOR-Becher 357
 Agglomerate 48, 188, 310
 Aggregation (Tenside) 241, 252
 Agro-Chemikalien 254
 aktive Temperier-Haube 277, 284, 396
 Aktivierungs-Energie 90
 akustische Dämpfung 114, 231
 Aluminium 100, 199, 297
 amorphe Bereiche, amorphe Polymere 210, 252, 307
 amorpher Festkörper (Glas) 219
 Ampho-Tenside 239
 Amplituden-Test 160, 320
 Amplituden-Test (G'' -Maximum) 165
 Amplituden-Test (Leitfaden) 402
 Amylo-Graph (Teig) 444
 Amylo-Pektin 215
 Amylose 213
 Anfangs-Komplianz (Kriechtest) 129
 Anfangs-Schubmodul 141
 Anfangs-Viskosität 45
 Angström (Längeneinheit) 240, 476
 anisotrope Eigenschaften 244, 257, 298, 305, 310, 319
 Anker-Rührer 293
 Anlauf-Effekt 34, 39, 56, 73, 317
 Anpassungs-Funktionen (Fließkurven) 62
 Anpassungs-Funktionen (Viskosität/Temperatur) 90, 230
 Anpump-Fließgrenze 171
 Anscheren (Pulver-Rheologie) 412
 Anti-Thixotropie 76, 448

Anvulkanisations-Zeit (Gummi) 347
 application rate, AR (Rakeln) 27
 Approximations-Funktionen (Fließkurven) 62
 Arrhenius-Beziehung 90, 436
 Arzneimittel 253
 Asphalt 25, 164, 197, 231, 295, 337, 339, 349, 350, 351, 433, 436, 439, 454, 494
 Asphaltén-Partikel 231
 Assemblierung (Tenside) 252
 Assoziations-Kolloide 241
 Assoziativ-Verdicker 72, 249
 ASTM-Normen 482
 ASTM Viskositäts-Klassifizierung (Schmierstoffe) 360
 Asynchron-Motor 383, 451
 Aufrahmen (Entmischung) 33, 191
 Auftrags-Gewicht (Rakeln) 27
 Ausbreit-Maß 331, 332
 Aushärte-Zeit 85, 207, 330, 331
 Aushärtung 84, 88, 204, 222, 270, 284, 330, 443, 494
 Aushärtung (UV) 207, 301
 Aushärtung (Versuche, Leitfaden) 404, 405
 Auslauf-Becher 335, 337, 352
 Auslenk-Winkel 98, 150, 268, 281, 296, 297
 Auslenk-Winkel (Regelung, Messung) 387, 390
 Ausroll-Grenze (Tonerde) 334
 Auto-Lacke 27, 441, 442, 450, 455
 automatische Spalt-Einstellung (AGS) 274, 282
 automatische Spalt-Nachregelung (AGC) 275, 282, 294
 Automobil-Klebstoffe 155, 171, 173
 Auto-Reifen 99, 115, 188, 433, 438, 443
 Avogadro-Zahl 434, 450
 Axial-Kraft (Tribologie) 323

B

Bambus 116
 Basalt 219, 297
 Baustoffe 220, 246, 293
 Baustoff-Rührer 293
 bending beam rheometer, BBR 351
 Bentonit (Gel-Bildner) 70, 155, 162
 Benzin 30, 89
 Beschichtungen 25, 26, 60, 68, 75, 88, 100, 111, 162, 206, 234, 246, 254, 277, 290, 333, 446
 Beschichtungen (Schichtdicke) 60, 81, 202, 224

Beton 297, 332
 Beugung (Rheo-Optik) 307
 Bi-Konus 313
 Biege-Prüfgeräte 340, 351
 Bier-Würze 336
 Bindungen 57, 311
 Bingham build-up, BBU 84, 343
 Bingham Modellfunktion 41, 57, 65, 441
 biologisches Gewebe 165, 189, 244, 309, 319
 Bio-Materialien 115, 165, 177, 252, 253
 Bio-Membranen 244, 253, 319
 Bio-Tech-Produkte 217, 247, 253, 336
 birefringence (Rheo-Optik) 305
 Biskuits 302
 Bitumen 30, 31, 99, 111, 162, 164, 197, 218, 231,
 295, 330, 334, 337, 339, 349, 350, 436, 437,
 438, 454, 494
 Bitumen-Zahl (pen) 339
 Blasen-Viskosimeter 335
 Blatt-Rührer 293
 Blind-Viskosität 157
 Bloom-Gelometer 337
 Blut, Blut-Plasma 25, 30, 31, 115
 Blut-Gefäße 116, 165, 319
 Boden-Fließen 59, 293, 334
 Boger-Fluid 342
 Bohr-Flüssigkeiten 75, 92, 235, 254, 338
 borderline pumping temperature, BPT (Öl) 89, 344
 Bostwick-Konsistometer 334
 Bronze (Modul) 100
 Brookfield-Spindeln 289, 448
 brownsche Molekularbewegung 29, 219, 431, 440
 Bruch-Energie, B.-Festigkeit 321, 322, 340, 350
 Bruch-Stress (Bohrfluide) 236
 BS-cups 357
 BS/IP U-tubes 360
 bubble viscometer 355
 bulk rheology 314, 450
 Burgers-Modell (Kriechversuch) 125, 446
 Butter 25, 26, 99, 218, 249

C

Cannon/Fenske-Kapillar-Viskosimeter 360
 cantilever test (Biegeprüfung) 351
 Carbonfaser-verstärkte Materialien 298
 carbon nano-tubes, CNT 315
 Carreau, C./Yasuda Modellfunktion 64, 451
 Casagrande-Apparat 334
 Casson, C./Steiner Modellfunktion 66, 67, 449
 CC-Messsysteme 262
 Cellulose-Derivate 31, 70, 250, 424, 435, 438, 440
 Celsius (Temperatur-Einheit) 429
 centi-grades (Temperatur-Einheit) 208
 centi-Poise, cP (Viskositäts-Einheit) 29
 centi-Stokes, cSt (Viskositäts-Einheit) 31

CFK, CFRP (kohlefaser-verstärkt) 298
 charakteristische Bewegungszeiten 312
 cloudpoint (Petro-Chemikalien) 89
 cmc (critical micelle concentration) 241
 Cochius-Luftblasen-Viskosimeter 336
 Co-Extrudate (Dehnversuche) 319
 cold cranking simulator, CCS (Öl) 345
 cold filter plugging point, CFPP(Öl) 89
 Cole/Cole-Plot 183
 congealing point 89
 conicylinder 284, 446
 consistency viscosity cup 357
 controlled shear deformation, CSD 159, 387
 controlled shear rate, CSR 36, 387
 controlled shear stress, CSS 37, 159, 386
 controlled strain 387
 core/shell (Partikel) 245, 250, 311
 Couette-Methode 263, 382, 385, 437
 counter rotation 386
 coupe NFT 357
 Cox/Merz-Beziehung 232, 449
 CP-Messsysteme 272
 crashbox 115
 creep test 121
 Creme 21, 25, 53, 54, 75, 99, 221, 249, 253, 325
 Cremigkeit (Tribologie) 325
 Cross Modellfunktion 64, 450
 cross-over point (Frequenztest) 186
 CSD-Test 159, 387
 CSR-Test 36, 387
 CSS-Test 37, 159, 386
 cure rate index, c. time (Vulkameter) 207, 348, 349

D

Dahlquist-Kriterium (Kleber) 323
 Dämpfer-Modell 32, 439
 Dämpfung-Eigenschaften 114, 231, 300
 Dämpfung-Faktor/Verlustfaktor 154, 157, 188, 189,
 319
 Daniel dilatancy index, DDI 52, 330
 Daniel Fließmaß 334
 Daniel wet point, flow point 52, 329
 Daten-Konversion 133, 145, 195, 232, 451
 DDK (dynam. Differenz-Kalorimetrie) 225
 DEA (di-elektrische Analyse) 314
 debonding on demand DOD 217
 Deborah-Zahl 181
 Debye-Kräfte 57, 442
 Defluidisierung (Pulver) 421
 Deformation 98, 150, 431
 Deformations-Energie 33, 103, 114, 154, 165, 175,
 189, 212, 232, 429
 Deformations-Geschwindigkeit 24, 98, 128
 Deformations-Rate 24, 98, 128
 Deformations-Steuerung 387

- Deformations-Vorgabe (Oszillation) 159
 Deformations-Werte (im LVE-Bereich) 164
 Deformation (Umrechnung in Scherrate) 158
 Defo-Tester (Elastomere) 350
 Degradation (Polymere) 48, 197, 198, 210
 Dehn-Apparat 349
 dehn-induzierte Kristallisation 318
 Dehn-Modul, Dehn-Rate 100, 316, 319
 Dehnung 101, 319, 349, 431
 dehn-versteifend, dehn-verzähend 318, 320
 Dehn-Viskosität, Dehn-Rheologie 316, 451
 Dental-Komposite 49, 301
 Detergentien 253, 424
 Dewar-Gefäß 394
 DG-Messsysteme 270
 Diamant (Modul) 100
 Dichroismus (Rheo-Optik) 259, 305, 310
 Dichte 28, 30, 379
 Dichtmassen 55, 59, 75, 81, 99, 189, 318, 342, 246, 373, 439
 Dichtmassen (Tribologie) 325
 di-elektrische Analyse DEA 314
 Diesel-Öl 89
 differential scanning calorimetry DSC 225
 Differenzial-Gleichung (Kelvin/Voigt-Modell) 113, 127, 435
 Differenzial-Gleichung (Maxwell-Modell) 109, 140, 433
 Diffraktion (Rheo-Optik) 307
 dilatant, dilatanter Schalter 49, 51
 Dilatanz-Hügel 50
 Dilatanz, scherinduziert 51
 Dilatation (volumetrisch) 53, 413, 436
 DIN-Auslauf-Becher 353, 357
 DIN-Messsysteme 266, 452
 DIN-Normen 489
 Dipol/Dipol-Wechselwirkungen 57
 direct strain oscillation, DSO 388
 direct tension tester, DTT 349
 diskretes Relaxationszeit-Spektrum 144
 diskretes Retardationszeit-Spektrum 133
 Dispenser-Test 341
 Dispersionen 27, 48, 49, 53, 59, 68, 75, 76, 99, 111, 121, 136, 162, 164, 177, 190, 193, 218, 234, 253, 259, 292, 307, 310, 315, 332
 Dispersions-Farben 25, 26, 55, 111, 235, 254, 446
 Dispersions-Stabilität 173, 191
 Dispersionen (Versuche, Leitfaden) 403, 406
 DMA (dyn. mech. Analyse) 149, 196, 225, 293, 320, 350, 351, 352
 DMTA (dyn. mech. therm. Analyse) 208, 225, 293, 320, 350, 351, 352
 DOD-Effekt (Kleber) 217
 Dog-Tail-Test (Kleber) 192
 Domänen (Polymere) 214
 Doppel-Brechung (Rheo-Optik) 259, 305, 310, 444
 Doppel-Kegel (Bi-Conus) 313
 Doppel-Rheometer 385
 Doppelrohr-Versuch 31, 44
 Doppel-Schichten (Tenside) 243
 Doppelspalt-Messsysteme 270, 436, 449
 DORA (dyn. optical rheo-analyzer) 310
 drag-cup (Motor) 451
 drag-flow Viskosimeter (Couette) 437
 drag reduction 254
 DRD (di-electro rheolog. device) 314
 Drehmoment 267, 274, 281, 286, 295, 296
 Drehmoment (Regelung, Messung) 386, 389
 Drehzahl 268, 274, 281, 386
 Drehzahl (Regelung, Messung) 387, 390
 drei-dimensionale Diagramme 62, 161, 173, 179, 180
 druck-abhängiges Fließverhalten 92
 druck-betriebene Kapillar-Viskosimeter 368
 Druck-Farben, D.-Pasten 25, 55, 68, 75, 111, 162, 173, 193, 246, 301, 320, 330, 332, 336, 427, 430, 440
 Druck-Festigkeit (Kompression, Pulver) 416
 Druck-Kraft (Normalkraft, PP-Messsystem) 282
 Druck-Kraft (Normalkraft, Torsionsstäbe) 294
 Druck-Prüfgeräte (Kompression) 350
 Druck-Verlust 27
 Druck-Verschiebungs-Faktor (Viskosität) 93
 dry-hard, dry-through time (Beschichtungen) 331
 DSC (diff. scanning calorimetry) 225
 DSO (direct strain oscillation) 388
 DSR (dynamic shear rheometer) 454
 dual cure Klebstoffe 207
 dual head rheometers 384
 Dualphasen-Stahl 177
 Duktilitäts-Tester 349, 438
 Duplex-Emulsionen 249
 Durchfluss-Rate 27
 Duro-Plaste 164, 187, 215, 298
 dynamic gel point 206
 dynamic shear rheometer DSR 454
 dynamische Differenzkalorimetrie, DDK 225
 dynamische Gel-Temperatur 223
 dynamische Oszillation 178
 dynamische Viskosität 29, 157
 dynamisch-mechanische Analyse, DMA 149, 196, 225, 293, 320, 350, 351, 352
 dynamisch-mechanische thermische Analyse, DMTA 208, 225, 293, 320, 350, 351, 352
- ## E
- EB-Aushärtung (Elektronen-Strahl) 451
 e-Funktion (Viskositätskurven-Anpassung) 65
 Einheiten, Umrechnung 430, 434, 475
 Einreiben 25, 53, 325
 Einschnürung (Dehnversuche) 317
 Einsteins Viskositäts-Gleichung 440
 Eintauch-Viskositätsbecher 358

- Einweg-Messbecher, -platten 270, 284
 Eis (Modul) 100
 Eiscreme 218, 254
 elastisches Verhalten 97, 103, 154, 157, 175, 349, 374
 elastisch scherweichend, el. scherversteifend (LAOS) 176
 elastisch-turbulentes Fließen 374
 Elastizitäts-Gesetz 101, 102, 130, 142, 150, 162, 296, 319, 390, 428, 429, 431, 448
 Elastizitäts-Modul 100, 225, 349
 Elastomere 25, 49, 99, 149, 165, 189, 213, 214, 215, 217, 231, 283, 286, 295, 318, 319, 347, 350, 433, 441
 elastomer-modifiziertes Bitumen, EMB 455
 Elastometer 340
 elasto-plastisch 58
 elasto-viskose Flüssigkeit 108
 elektrische Heizung 394
 elektro-magnetische Lagerung (Rheometer) 447
 elektro-rheologische Fluide, ERF 300, 448
 Ellis Modellfunktion 65, 443
 E-Modul, E-Modulwerte 99, 101, 225, 349
 Empfindlichkeit (tenderness, Textur) 340
 Emulsionen 25, 48, 53, 75, 162, 164, 177, 218, 220, 248, 253, 313, 315
 End-Viskosität 47
 Energie-Dissipation 33, 154, 166, 252
 Engler-Becher 353, 357, 436
 EN-Normen 489
 Entlüftung (Beschichtung) 88, 224
 Entlüftung (Pulver) 422
 Entmischung 49, 58, 76, 177, 191, 220, 254, 258, 293
 Epoxid-Harz 85, 88, 206, 215, 224
 Erdöl 25, 94, 235, 435
 Erdöl (Gewinnung) 254
 Erd-Rutsch 59
 ERF (elektro-rheol. Fluid) 300, 448
 Erstarrungs-Temperatur 87, 89, 218, 220
 Erweichung, E.-Punkt, E.-Temperatur 87, 210, 218, 226, 302, 337
 erzwungene Oszillation 351, 352
 Estrich 332
 euklidischer Körper 426, 445, 450
 Extenso-Graph (Teig), E.-Meter 349, 444
 Extraktion (Öl) 254
 Extrusion 25, 110, 118, 320, 340, 342, 374, 437
 Extrusions-Plastometer 368, 373
 Extrusions-Rate 342
 Eyring/Prandtl/Ree Modellfunktion 63, 446
- F**
- Fadenzug 53, 111, 155, 171, 322, 340
 Fahrenheit (Temperatur-Einheit, Umrechnung) 429, 478
 Fallnadel-Viskosimeter 337
 Fallstab-Viskosimeter 336
 Farinograph (Teig) 444
 Faser-Bildung (Spinnenseide) 252
 Fasern (Dehn-Versuche) 319
 Fasern (in Dispersionen) 53, 293
 Fasern, Polymer- 25, 110, 302, 316, 447
 faser-verstärkte Materialien 100, 298
 Feder-Modell 102, 439
 Ferro-Fluide 299
 fester Zustand 155
 Festigkeit (firmness, Textur) 340
 Festkörper 99, 124, 139, 149
 Festkörper-Reibung (Tribologie) 324
 Feststoffe 25, 92, 112, 162, 164, 167, 188, 209, 283, 307, 320, 329
 Fett 177, 218, 246, 286, 339, 340, 435
 Fette (Tribologie) 325
 Feuchtigkeit 302, 315, 409
 Fikentscher K-Wert 366
 Filme (Dehn-, Zug-Versuche) 318, 319, 349
 Filme, flüssig 313
 Filtrierbarkeit (Petro-Chemikalien) 89
 Finger-Test 111, 330
 Fitting (Fließkurven) 62
 flag impeller (Spindel) 291
 Flaschen-Abfüllung 27
 Flexibilität 193, 223, 303
 Fliesen-Kleber 293
 Fließ-Aktivierungs-Energie 90
 Fließ-Bett (Pulver-Rheologie) 420
 Fließ-Druck 341
 Fließ-Elastizität 108, 443
 Fließen (horizontale Ebene) 331
 Fließen (Kanal, Trog) 334
 Fließen (schiefe Ebene) 332
 Fließen (vertikale Ebene) 333
 Fließ-Fähigkeit (Käse) 331
 Fließ-Fähigkeit (Schüttgüter) 416
 Fließ-Festigkeit 443
 Fließ-Fette 338, 339
 Fließ-Funktion (Pulver-Rheologie) 416
 Fließgrenze 54, 60, 65, 68, 103, 169, 170, 191, 435, 495
 Fließgrenze (Ablauf-Ebene, A.-Kanal) 333, 334
 Fließgrenze, Anpump- 171
 Fließgrenze, Bingham 65
 Fließgrenze (Casagrande-Apparat) 334
 Fließgrenze (Fallstab) 336
 Fließgrenze (gelation test) 343
 Fließgrenze (Kasometer) 335
 Fließgrenze (Kippstab-Methode) 338
 Fließgrenze (Kriechversuch) 134
 Fließgrenze (Kugelharfe) 338
 Fließgrenze (Leitfaden) 401, 402, 405
 Fließgrenze (mini-rotary) 90, 344
 Fließgrenze (mit Flügel-Drehkörper) 292

- Fließgrenze (Penetration) 339
Fließgrenze (pseudo yield value) 336
Fließgrenze, scheinbar 55, 453
Fließgrenze (schiefe Ebene) 332, 333
Fließgrenze (Setzmaß) 332
Fließgrenze (zeit-abhängig) 56
Fließ-Index (MFI-Test) 373
fließ-induzierte Kristallisation 51, 220, 318
Fließ-Instabilität 51, 268, 274, 281, 356
Fließ-Kurven 32, 37, 61
Fließ-Kurven (Anpassungs-Funktionen) 62
Fließ-Maß 332
Fließ-Ort (Pulver-Rheologie) 414
Fließ-Pressung (Keramik) 342
Fließ-Prüfgerät (Klebstoffe) 333, 342
Fließ-Rate (ISO, Pulverlacke) 422
Fließ-Ratenverhältnis, FRV (MVR-Test) 370
Fließ-Übergangsbereich 104
Fließ-Übergangs-Index (Amplitudentest) 169
Fließ-Verbesserer 254
fließ-verfestigend 49
Fließ-Verhalten 23, 426, 429, 431
Fließ-Verhalten, druck-abhängig 92
Fließ-Verhalten, ideal-viskos 31, 63
Fließ-Verhalten, newtonsch 31, 63
Fließ-Verhalten, scherverdickend 48
Fließ-Verhalten, scherverdünnend 41, 63, 68, 176
Fließ-Verhalten, temperatur-abhängig 86
Fließ-Verhalten, visko-elastisch 108
Fließ-Verhalten, zeit-abhängig 73
Fließ-Widerstand 31, 428
Fließzahl-Messer 334
Flock-Punkt (Öl) 89
Flotation 33, 191, 254
Flügel-Drehkörper 291
Fluid 29, 162
Fluidisierbarkeit (Pulver) 408, 418
Fluidisierung (Pulver) 420
Fluidisierungs-Faktor (ISO, Pulverlacke) 422
Fluidität 29, 334, 343, 435
Fluidometer 334
Fluktuation (Tenside) 72, 243, 255
Fluoreszenz (Rheo-Optik) 308, 439
flüssiger Zustand 155, 162, 329
Flüssigkeits-Bad (Temperierung) 393, 436
Flüssig-Kristalle 244, 259, 260, 307, 325
Flüssig-Seifen 253
Folien 318, 319, 326
Ford-Becher 353, 358, 441
Formgedächtnis-Materialien 217, 300, 319
Formograph (Milch-Gelierung) 346
Form-Stabilität 191, 249
Fourier-Transformation 175, 388
fracturing fluids, fracfluids 254
freeze-thaw cycle tests 220
freie Oszillation 351, 352, 382
Frequenz-Abhängigkeit (Amplitudentest) 165, 172
Frequenz-/Temperatur-Verschiebung 226
Frequenz-Test 178, 320
Frequenz-Test (Anpassungsfunktion, Gele) 191
Frequenz-Test (Leitfaden) 403
Frikmar-Becher 358
Fruchtsaft 25, 30, 254
funktionelle Beschichtungen 246, 456
- ## G
- Gallenkamp-Torsions-Viskosimeter 343
Gardner/Holdt Bubble Viscometer 335
Gase (Viskosität) 29, 30
gedämpfte Schwingung 352
Gefrier-/Auftau-Test 220
Gefrier-Punkt 87, 218
Gefühl (Mund/Haut) 315, 325
gefüllte Polymere 188, 218, 315
gegenläufige Rotation 386
Gelatine-Gel 302, 337, 434, 435
gelation index GI (Öl) 89, 344
Gel-Bildner (Rheo-Additive) 68, 162, 166
Gele 55, 75, 99, 115, 121, 136, 149, 162, 164, 167,
188, 189, 190, 193, 215, 218, 247, 283, 286, 292,
302, 339, 343, 434, 453
Gele (Versuche, Leitfaden) 403, 406
Gel-, Gelier-Punkt 84, 88, 155, 163, 205, 206, 222,
257, 337, 344
Gel-, Gelier-Temperatur 88, 222, 344
Gel-, Gelier-Zeit 84, 205, 206, 298, 330, 341, 344
Gelier-Test (Keramiksuspension, 20 min) 343
Gelierzeit (Glasstab) 330, 343
Gelierzeit (Heizplatten-Test) 330
Gelierzeit (Kugelfall-Verfahren) 337
Gelierzeit (Temperaturanstieg) 330
Gelierzeit (Vertikal-Oszillation) 341
Gel-Stabilität 191
Gel-Stärke 191, 337, 340, 402, 406, 434
Gel-Zustand 57, 155, 162, 205, 223, 247, 255
gemittelte Scherrate, gem. Schubspannung 280
generative Fertigung 425, 456
Gerson-Plastimeter 341
Geschwindigkeits-Gefälle 24, 26, 59
Geschwindigkeits-Profil (Strömung) 52, 260, 310, 433
Getränke 27
GE-Viskositätsrohr 358
GFK, GFRP (glasfaser-verstärkt) 298
Gibson Kugelfall-Viskosimeter 336
Gieß-Schlicker 76, 343
Gips-Dispersionen 75, 27
GI Temperatur (Öl) 89, 344
Glare (Verbund-Werkstoff) 299
Glas 87, 100, 206, 218, 219, 223, 345, 446, 482
Glas-Bereich (Frequenztest) 185

Glasfaser-verstärkte Materialien 298
 Glaskapillar-Viskosimeter 358
 Glasübergangs-Temperatur 211, 214, 216, 217, 218, 405
 Glas-Zustand (Polymere) 185, 206
 Gleichgewichts-Komplianz 130
 Gleichgewichts-Schubmodul, -Schubspannung 139, 141
 Gleichgewichts-Viskosität 34, 39
 Gleit-Reibung (Tribologie) 323, 324
 G"-Maximum (Amplitudentest) 165, 177
 G-Modul, G-Modulwerte (Tabelle) 98, 99, 101, 150, 153
 Gold (Modul) 100
 Grenze des LVE-Bereichs 130, 142, 163
 grenzflächen-aktiv 240
 Grenzflächen-Rheologie 240, 254, 313
 Grenz-Viskositäts-Zahl (GVZ) 363, 379, 444
 griechisches Alphabet, gr. Symbole 473, 475
 Gummi 25, 49, 99, 101, 112, 138, 162, 165, 187, 215, 231, 283, 286, 315, 347, 350, 352, 433, 438, 441, 443
 Gummi-Bälle 112, 188
 Gummi-Bär 25, 99, 188
 gummi-elastisch (Bereich, Plateau) 184, 214
 Gummi-Puffer 114
 Gurp/Palmen-Plot 183

H

Haft-Reibung 324
 Hagen/Poiseuille Beziehung 27, 355, 361, 372, 375, 377, 431
 halb feste Materialien 55, 162, 177, 249, 292, 315, 318, 331, 334, 339, 340
 Handprüf-Methoden (Tonerde) 331
 Haptik 111, 116, 163, 300, 325
 Härte (hardness, Textur) 340
 Hart-Gummi 99, 187
 Härtungs-Temperatur, H.-Zeit (siehe Aushärtung)
 Harze 38, 85, 88, 100, 162, 164, 188, 193, 205, 206, 209, 215, 223, 224, 246, 281, 298, 330, 331, 333, 335, 424, 432, 438, 439, 441, 443, 494
 HASE (Assoziativ-Verdicker) 250
 Haupt-Spannung (Pulver-Rheologie) 415
 Haut-Gefühl (Emulsionen) 53
 Heizrate 209, 393
 Helipath-Messsystem 288
 Helix-Rührer 293
 Hencky-Dehnmaß, H.-Dehnrate 317, 442
 Hencky strain, H. strain rate 317
 Herschel/Bulkley Modellfunktion 67, 443
 HEUR (Assoziativ-Verdicker) 251
 High-Shear Bereich 46
 high-shear viscosity (Fallstab) 336
 high-shear viscosity, HSV (CP-Viskosimeter) 277
 High-Shear Zylinder-Messsysteme 271, 448
 High-Throughput Rheometer 456

Hochdruck-Kapillar-Viskosimeter 341, 373, 376
 Hochgeschwindigkeits-Stabilität 345
 Hochtemperatur-Test (Glas) 87, 219
 Hochtemperatur-Viskosität (Öl) 344
 Holz (Modul, Bio-Material) 100, 116
 Holz-Kleber 283
 Honig 30
 hookesches Elastizitäts-Gesetz 102, 150, 162, 296, 319, 390, 428
 Höppler (Kugelfall-Viskosimeter) 378, 445
 horizontaler Verschiebungs-Faktor (WLF) 227
 Hotmelts (Kleber) 121, 207
 hüpfender Kitt 21
 HS-Messsysteme 271
 HSV (high-shear viscosity) 277
 HTHS-Viskosität 344, 376
 Hybrid-Materialien 223, 249, 297, 456
 hydro-dynamische Reibung (Tribologie) 325
 hydro-dynamischer Radius 71, 311
 Hydro-Gele/Hydro-Sole 179, 248, 253, 310, 453
 Hydro-Kolloide 70, 162, 188, 258, 259
 hydrophil/hydrophob 218, 239
 hydro-statischer Druck 44, 354, 361
 hygro-skopische Materialien 302
 Hysterese-Fläche (Fließkurve) 82

I

ICA-Test (Schokolade) 39
 ICI CP Viscometer 277
 ideal-elastisches Verhalten 101, 122, 138, 150, 175
 ideal-plastisches Verhalten 57
 ideal-viskoses Fließverhalten 31, 63, 123, 138, 152, 175, 254, 354
 Imaginärteil (komplexe Viskosität) 157
 Immobilisierung (Suspensionen) 300
 Implantate 116
 Induktions-Heizung 394
 inhärente Viskosität 362
 inkrementaler Winkelgeber 391
 Inkubations-Zeit (Vulkameter) 348
 interfacial rheology 313
 intrinsische Viskosität 363, 379, 444
 inverse Masterkurve 232
 inverse Mizellen (Emulsionen) 249
 inviscid (ohne Viskosität) 445
 IOCCC-Methode (Schokolade) 66
 ionische Fluide 325
 ISO-Becher 353
 ISO-Messsysteme 265, 272, 454
 ISO-Normen 448, 479
 ISO-Scherraten 37
 isotherme Aushärtung 84, 204
 isotrope Eigenschaften 298, 307
 ISO Viskositäts-Klassifizierung (Schmierstoffe) 360
 IV-Wert (intrinsische Viskosität) 363, 379

J

Jacobs Kugelfall-Viskosimeter 336
 Jenike-Schergerät 410, 450
 Joghurt 25, 55, 75, 254, 292
 Jung Check Kugelfall-Viskosimeter 336

K

Kaffee-Pulver 424
 Kaffee-Sahne 30
 Kaffee-Satz 59
 Kaffee-Weißer (Pulver) 421, 424
 Kakao-Pulver 424
 kalter Fluss (Kriechen) 25
 Kälte-Verhalten (Petro-Chemikalien) 89, 220
 Kalt-Verformung 58, 199
 Kanten-Flucht (Beschichtung) 88, 224
 Kapillar-Extruder 373
 Kapillar-Strömung 25, 27, 58, 354, 437
 Kapillar-Viskosimeter 341, 358, 431, 436, 437, 439, 442
 Kapseln 246, 303
 Kartuschen-Extrusionstest 341, 342
 Käse 25, 99, 155, 188, 283, 286, 331
 Kasumeter 335
 Kauen 25
 Kaugummi 215, 302, 432
 Kautschuk 318, 347, 350, 433, 439, 441, 443, 450
 Keesom-Kräfte 57, 439
 Kegel/Platte-Messsysteme 272
 Kegelspitzen-Abnahme 274
 Kelvin(Einheit, Umrechnung) 432, 478
 Kelvin/Voigt Modell 112, 125, 127, 131, 434, 435
 Keramik 25, 55, 100, 206, 223, 293, 297, 342, 373
 Keramik-Suspensionen 25, 49, 343
 Kern-/Hülle-Partikel 219, 245, 250, 311
 Kesternich-Methode (Fließdruck) 341
 Ketchup 55, 75
 Kieselsäure 155, 447
 kinematische Viskosität 30, 353, 359, 380
 Kippstab-Methode (Schmierfette) 338
 Klebrigkeit 111, 155, 302, 320, 331, 340
 Klebstoff-Dispersionen 25, 27, 68
 Klebstoffe 99, 111, 121, 155, 171, 173, 192, 207, 217, 246, 283, 301, 302, 318, 320, 322, 333, 337, 342, 373, 380, 439, 451, 495
 Kleister 41, 302
 Knautsch-Zone (Auto) 115
 Knet-Masse 21, 25, 59, 110, 433
 Koagulation (Latex) 345
 Knochen (Modul) 100, 116
 Knochen-Zement 116
 koaxiale Zylinder-Messsysteme 262
 Kofler-Heizbank (Harze) 331
 Kohäsion, Kohäsions-Bruch 34, 98, 322

Kohäsions-Stärke (Pulver) 423
 Kolloide 29, 167, 258, 259, 433, 437, 439
 kombinierte Rotation & Oszillation 233
 komplexe Darstellung (Schubmodul, Viskosität) 158
 komplexer Dehnmodul 319
 komplexer Schubmodul 150, 153
 komplexe Viskosität 152, 156, 181
 Komplianz (Kriechversuch) 129
 Komposite 51, 115, 223, 297, 319
 Kompressions-Prüfgeräte 350
 Kompressions-Versuch 282
 konfokale Mikroskopie (Rheo-Optik) 309
 Konsistenz 190, 191, 194, 332, 334, 339, 340, 345, 435
 Konsistometer 331, 334, 340, 347, 445
 kontinuierliches Relaxationszeit-Spektrum 145
 kontinuierliches Retardationszeit-Spektrum 133
 Kontraktions-Strömung 342
 Konturlänge (Tenside) 242
 Konus-Penetrationstest 339
 Konvektions-Heizung 394
 konzentrische Zylinder-Messsysteme 262
 Kork 101
 Kosmetika 53, 99, 191, 220, 253, 286, 303, 315, 325, 424
 Kräfte-Netzwerk 57, 190, 243, 256
 kraftfreier Kontakt (PP-Messsystem) 282, 301
 kraftfreier Längenausgleich (Torsions-Stab) 294
 Kramer-Scherzelle 340
 Kratky-Kamera 312
 Krebs-Einheiten (KU), K.-Spindel 290, 291
 Kreis-Frequenz 178
 kreuz-polarisiertes Licht 305
 Kriechen (Scherrate) 25
 Kriech-Komplianz 129
 Kriech-Nachgiebigkeit 129
 Kriech-Versuch 121, 319
 Krieger/Dougherty Modellfunktion 65, 450
 kristalline Strukturen 92, 213, 252, 260, 307
 Kristallisation, dehninduziert 318
 Kristallisation, scherinduziert 51, 210
 Kristallisations-Temperatur 87, 218, 405
 kritische Konzentration (Masse, Polymer-Lösung) 45
 kritische Mizellbildungs-Konzentration(KMK) 241
 kritische Molmasse (Polymere) 46
 kritische Re-Zahl 269, 357
 Kugeldruck-Viskosimeter 340
 Kugelfall-Viskosimeter 336, 378, 432, 445
 kugel-förmige Spindeln 289
 Kugel-Harfe 338
 Kugellager-Test (Tribologie) 324
 Kugellager-Viskosimeter 392
 Kugel-Messsystem 292, 419
 Kugel-Mizellen 241
 Kugelzieh-Viskosimeter 340
 Kühl-Prozess, Kühl-Rate 209, 218, 344, 393

Kunststoffe (Tribologie) 325
 Kurzzeit-Verhalten 146, 178, 187, 226
 K-Wert (Fikentscher) 366

L

Lacke 25, 41, 68, 75, 81, 99, 111, 191, 202, 234, 246,
 254, 277, 290, 301, 320, 332, 333, 438, 441, 445,
 446, 450, 451, 455
 Lagerung (Rheometer) 391
 LALLS (Rheo-Optik) 310
 Lamellen (Tenside) 243
 laminare Strömung 23, 28, 34, 357, 379, 432
 Lamine 295, 318, 319, 349
 Langmuir monolayer 240, 313
 Langzeit-Stabilität (Versuche, Leitfaden) 403, 406
 Langzeit-Verhalten 25, 133, 146, 178, 187, 191, 226
 LAOS-Tests 174
 Laray-Viskosimeter (Fallstab) 336
 large-angle oscillatory shear LAOS 174
 Lärmschutz (Dämpfung) 114
 Laser (Rheo-Optik) 303, 450
 Latex-Dispersionen 71, 76, 249, 312, 345, 432, 433
 Lauf-Reibung (Tribologie) 324
 Laun, Regel von 454
 Lawinen-Strömung 293, 332, 333, 334
 Lebensmittel 25, 99, 111, 162, 177, 188, 218, 220,
 246, 253, 286, 292, 293, 302, 315, 318, 320, 325,
 331, 334, 340, 424
 Lebensmittel (Tribologie) 325
 Lecithin 239, 248
 Leder 303, 447
 Lehm 59
 Lehmann-Becher 358
 Leichtbau-Materialien (fest) 199, 206, 297
 Leiter-Pasten 55
 Leitfaden (für Rheologie-Versuche) 400
 Licht 303, 440
 Licht-Brechung (Rheo-Optik) 305
 Licht-Streuung (Rheo-Optik) 306, 310
 limiting viscosity number LVN 363
 linear-elastischer Bereich 98, 101, 103
 linear-elastisches Verhalten 162
 Linearitäts-Grenze 163, 168
 Linear-Schubgerät 351
 linear-viskoelastischer (LVE) Bereich 130, 142, 162,
 193, 320, 435, 451
 linear-viskoses Verhalten 162
 lipophil/lipophob 239
 Liposome (Tenside) 245
 Lippenstift 55
 Lissajous-Diagramme 174, 451
 Lodge-/ Meissner-Regel 118
 Lodge-Stressmeter 374
 logarithmische Viskositätszahl 362
 London-Kräfte 57, 444

Lösemittel 31
 Lösemittel-Falle 270, 277, 284
 Lotionen 25, 53, 99, 162, 191
 Lot-Pasten 341, 345
 Low-Fat Produkte 254
 Low-Shear-Bereich 44, 167, 179
 low-shear viscosity, LSV 289
 LSV (low-shear viscosity) 289
 LTHS-Viskosität (Öl) 345
 LTLS-Viskosität (Öl) 344
 Luft-Blasen 21, 270
 Luft-Feuchtigkeit 302, 322
 Luft-Lager (Rheometer) 392, 449
 Luft (Viskosität) 30
 Lumineszenz (Rheo-Optik) 308
 LVE-Bereich 130, 142, 162, 168, 193, 320, 435, 451
 LVE-Bereichsgrenze (Deformations-Werte) 164, 320
 lyotropes Verhalten 247

M

Magnesium 199
 magneto-rheologische Flüssigkeiten, MRF 299, 448
 Mahl-Prozess 308
 Makro-Moleküle 43, 48, 124, 139, 180, 210, 442, 444
 Malcolm Spiral-Pump Viskosimeter 345
 Mallison-Fließzahlmesser 335
 Margarine 55, 254
 Mark/Houwink-Beziehung 364, 445
 Marmelade 293
 Marshall-Prüfpresse 350
 Marsh-Trichter 358
 Masterkurve (WLF) 131, 142, 187, 227
 Matrix-Harz 298
 Matrix-Verkapselung 246
 Matsch 59, 293, 332, 333, 334
 Matthis-Fluidometer 334
 maximale Partikelgröße 275, 282
 Maxwell-Modell 107, 125, 141, 142, 433
 Maxwell-Verhalten 109, 180, 183, 190, 233
 Mayonnaise 55, 249, 254, 325
 medium-shear viscosity, MSV 291
 medizinische Produkte 99, 116, 165, 220, 253, 286,
 300, 302, 309, 319, 325, 424
 Mehl 424
 Mehrfrequenz-Versuch 194
 melt flow index, MFI 373
 melt mass-flow rate, MFR 369
 melt volume-flow index, MVI, m. v. rate, MVR 370,
 373
 Membrane 165, 206, 319
 ME-Messsystem 284
 mesogene Fluide (MF) 325
 Mess-Geräte 329
 Messing (Modul) 100
 Messpunkt-Dauer 39, 79, 181, 201

Mess-Systeme 262, 400, 494
 Mess-Systeme, transparent 260, 262, 272, 279
 Metalle 58, 100, 199, 219, 297
 Metalle (Tribologie) 325
 metallische Schäume 199
 Metallo-Polymere 218
 Metall-Pulver 421, 424
 meta-stabile Überstruktur 243
 Methyl-Cellulose 31, 41
 Metzner/Otto-Theorie 293
 MFI, MFR (melt flow index, rate) 369, 373
 Mikro-Kapseln 219, 246
 Mikro-Kontraktions-Strömung 342
 Mikro-Kugelfall-Viskosimeter 336, 378
 Mikro-Risse 166, 167, 252, 296
 Mikroskopie (Rheo-Optik) 48, 259, 308, 386, 428, 439
 Mikro-Strukturen 68, 239, 303
 Milch 30
 Milch-Produkte 189, 346, 292
 Milch-Pulver 424
 Mineral-Öl 21, 25, 30, 31, 75, 89, 91, 92, 93, 143, 284, 344, 367, 376, 380, 435
 Mineral-Öl (Tribologie) 325
 mini-rotary viscometer MRV 344
 Misch-Prozess 25
 Mizellen 231, 240, 310, 312
 Mobilometer 338
 Modell-Funktionen (Fließkurven) 62
 mohrscher Spannungskreis 415, 435
 Molmasse 43, 46, 128, 180, 182, 186, 364, 366, 442
 Molmasse (Bestimmungsmethoden) 365
 Molmasse (via Kapillar-Viskosimeter) 362
 Molmassen-Verteilung, MMV 132, 134, 147, 180, 184
 Mono-Schicht (Tenside) 240, 241
 Mooney/Couette Viskosimeter 284
 Mooney/Ewart-Messsystem, ME 284, 446
 Mooney Scherscheiben-Viskosimeter 347, 352, 445
 Mörtel 220, 293, 332
 Motor-Öl 30, 344
 MRF (magneto-rheol. Fluide) 299, 448
 MSV (medium-shear viscosity) 291
 multi-lamellar (Tenside) 244
 multi-wave test 194
 Mundgefühl 111, 163, 302, 315, 325
 MVI, MVR (melt volume-flow index, rate) 370, 373

N

Nachgeb-Grenze 105, 168, 259, 292
 Nachgeb-Grenze (Leitfaden) 402, 405
 Nachgiebigkeits-Bereich 104, 169
 Nadel-Penetrationstest 339, 437
 Naht-Abdichtung (Auto, Plastisol) 81, 171, 189
 Nano-Komposite 51, 223, 456
 Nano-Strukturen 68, 177, 239, 252, 303
 Nasenspray-Aerosole 25

Netzwerk-Brücken 187, 191, 206, 215, 223, 250
 Netzwerk-im-Netzwerk 223
 Neutronen-Streuung (Rheo-Optik) 312
 Newton Modellfunktion (Fließkurve) 63
 newtonsches Viskositätsgesetz 31, 152, 162, 428
 nicht-lineares Verhalten 131, 142, 175
 Niederdruck-Kapillarviskosimeter 368
 niederviskose Flüssigkeiten 268, 270, 274, 279, 281
 NL-Bereich (nicht-linear) 175
 NLGI-Konsistenzzahl (Schmierfette) 166, 339
 NMR (Kernresonanz) 315
 no-flow point 89
 Normalkraft 118, 274, 281, 320, 386, 448, 449
 Normalkraft-Steuerung (NFC) 282, 294
 Normalkraft (Tribologie) 323
 Normal-Spannungen 112, 116
 Normalspannungs-Differenz 118, 374
 Normen (ISO, ASTM, DIN) 479
 Null-Normalspannungs-Koeffizient 118
 Null-Viskosität 25, 30, 41, 44, 45, 62, 64, 91, 93, 128, 162, 182, 232, 255
 Null-Viskosität (Leitfaden) 401, 403, 406

O

Oberflächen-Verlauf 25
 Offset-Druckfarben 111, 162, 173, 193, 336, 440
 offset yield strength (Zug-Test) 350
 OICC-Methode (Schokolade) 66
 Öle 21, 25, 30, 31, 75, 89, 91, 92, 93, 235, 246, 286, 335, 344, 367, 380, 435, 438
 Öle (Tribologie) 325
 Öl (Gewinnung) 254
 onset of gelation 205
 open time (Harze) 85, 205
 Optik 303
 Orangen-Haut (Beschichtungen, Filme) 320
 Organogele/Organosole 248
 Organo-Silane 223
 ORO-Test (Thixotropie) 202
 Ostwald/de Waele Modellfunktion 41, 63, 442
 Ostwald-Kapillar-Viskosimeter 360, 436
 Oszillation, erzwungen 352
 Oszillation, frei 352
 Oszillation, gedämpft 352
 Oszillation, resonanzfrei 352
 Oszillations-Rheometer 382
 Oszillations-Versuche 149, 319, 445
 Oszillations-Versuche (Leitfaden) 402
 oxidative induction time OIT 225

P

Paddel-Messsystem (Krebs-Spindel) 290
 panta rhei (Rheologie) 444
 Papier-Streichfarben 25, 50, 300, 430, 437, 377
 Paraffine 75, 89, 218, 219, 220, 432, 435, 436

- particle imaging velocimetry, PIV 52, 260, 310
 particle tracking velocimetry, PTV 52, 260, 310
 Partikel 47, 48, 53
 Partikel-Größe 29, 275, 282, 293
 Partikel-Konzentration 49
 Pas (Pascal-Sekunde) 29
 Pascalsches Fluid 445, 450
 Pasten 25, 49, 52, 55, 75, 76, 99, 149, 162, 259, 279,
 330, 339, 345, 427
 Pasten-Spindeln 291
 Payne Viscometer 343
 PCI-Verfahren (Pulverlacke) 330, 333
 PDMS (Silikon) 21, 25, 30, 54, 110, 137, 138, 144, 162,
 178, 210, 281, 283
 Pellets 283, 434
 Peltier-Element 394
 Penetrations-Grad (Asphalt) 339
 Penetrometer 339, 341, 350, 434, 437, 445
 Pen-Zahl 339
 Permittivität (di-elektrische Analyse) 314
 Persistenz-Länge (Tenside) 242
 Petro-Chemikalien 89, 220, 339, 435
 Pfropfen-Strömung 58, 59
 Pharmazeutika 53, 99, 111, 162, 220, 253, 286, 303,
 315, 325, 424
 Phasen-Entmischung 58, 76, 177, 191, 220, 255, 258
 Phasenverschiebungs-Winkel 153, 446
 Phasenwechsel-Material 219
 Philipps/Deutsch Modellfunktion 65
 Phospho-Lipide (Tenside) 244
 Phosphoreszenz (Rheo-Optik) 307
 physikalisch-chemische Bindungen 57, 164, 191, 217,
 243, 311
 Pigment-Pasten 25, 52, 329
 Pinseln (Beschichtung) 25, 26
 Pipetten-Viskosimeter 436
 PIV (particle imaging velocimetry) 260, 310
 plasticity index, PI 343
 plastic viscosity (Bingham) 66
 Plastimeter (Gerson) 341
 plastisches Verhalten 34, 57, 97, 150, 177, 286, 291,
 340, 417, 435
 plastisch-viskos 58
 Plastisole 25, 48, 50, 55, 76, 81, 171, 342, 373
 Plastizität, P-Index 66, 331
 Plastizitäts-Prüfgerät 342
 plasto-elastisch 58, 340, 448
 Plateauwert (Frequenztest) 181, 184
 Plateauwert (Nullviskosität) 44, 259
 Plateauwert (Relaxations-Versuch) 141
 Platten-Abstand (PP-Messsystem) 278, 281
 Platte/Platte-Messsystem (aus Holz) 283
 Platte/Platte-Messsysteme 278
 pneumatischer Transport (Pulver) 421
 Pochettino-Viskosimeter 337
 Poise (Viskositäts-Einheit) 29
 Poiseuille-Beziehung 27, 355, 361, 372, 375, 377, 432
 Poisson-Zahl 100, 320, 431
 polares Flächenträgheits-Moment 297
 polares Widerstands-Moment 296
 Polarisation (Rheo-Optik) 304
 Polyacrylat (Verdicker) 70
 Polymer-Blends 214
 Polymer-Dispersion (wässrig) 71, 250, 446
 Polymere 25, 100, 210, 302
 Polymere, amorph 210
 Polymere, fest 25, 100, 167, 295
 Polymere, gefüllt 188, 218, 315
 Polymere (Granulat) 424
 Polymere, Metallo- 218
 Polymere mit Formgedächtnis 217, 319
 Polymere (Pulver) 424
 Polymere, shape memory 217, 319
 Polymere, teilkristallin 213, 307
 Polymere, tensid-ähnlich 249
 Polymere (Torsionsstab) 167, 295
 Polymere, unvernetzt 43, 52, 121, 136, 162, 164, 180,
 183, 189, 210, 213
 Polymere, vernetzt 121, 136, 162, 164, 187, 190, 215
 Polymere (Verzweigungsgrad) 184, 318
 Polymer-Fasern 25, 110, 307, 316, 447
 Polymer-Lösungen 31, 41, 70, 110, 111, 149, 162, 164,
 193, 233, 307, 362, 376, 379
 Polymer-Makromoleküle 43, 124, 139, 210, 312, 442,
 444
 Polymer-Matrix 297, 315
 polymer-modifiziertes Bitumen, PMB 111, 197, 231,
 454
 Polymer-Schmelzen 25, 30, 41, 91, 110, 111, 149, 162,
 164, 198, 209, 233, 277, 281, 283, 307, 318, 441,
 442, 494
 Polymer-Schmelzen (Hochdruck-Kap.-Visk.) 373
 Polymer-Schmelzen (MVR, MFR) 368
 Polymer-Schmelzen (Wärme-Stabilität) 198, 210
 Polymer-Versuche (Leitfaden) 403, 404
 Polynome (Fließkurven-Anpassung) 68
 Positions-Sensor (Rheometer) 391
 Potenz-Gesetz (Modellfunktion) 63, 442, 443
 pot life (Harze) 85, 205
 pourpoint (Petro-Chemikalien) 89, 220
 power law (Modellfunktion) 63, 442, 443
 PP-Messsysteme 278
 Prandl/Reuß Modellfunktion 58, 442
 Prepregs (Harze) 164, 205, 298
 Primär-Bindungen 57, 215
 Proben-Stäbe 293
 profilierte Messsysteme 270, 284, 286, 419, 451
 Protein-Dispersionen 166, 252, 253, 259, 336, 364,
 424
 PSA (pressure sensitive adhesives) 322

pseudo-plastic index, PPI 42
pseudo-plastisch 41, 443
pseudo yield value (Fallstab) 336
PTV (particle tracking velocimetry) 260, 310
Pudding 99
pulsierende Strömung 235
Pulver-Lacke 330, 333, 422, 424, 450, 451, 455
Pulver-Rheologie 408, 454
Pumpen-Druck 27
Pump-Temperatur (Grenzwert, Öl) 344
Putz (Baustoff) 25, 59, 220, 293
pyrogene Kieselsäure 447

Q

Quark-Festigkeit 347
Quarz-Viskosimeter 347
Quell-Verhalten 302
Querkontraktions-Zahl 100, 431

R

Radien-Verhältnis 266
Radier-Gummi 99, 138, 188
Rakeln 25, 27, 377
Rand-Effekte (KP, PP-Messsysteme) 258, 277, 279, 284
rate of build-up, RBU 84, 343
rate of extrusion, ROE 342
Rauheit (PP-Messsysteme) 278
Ravenfield Viscometer 345
Reaktions-Beginn 204, 226
Reaktions-Harze 88, 99, 205, 209
Realteil (komplexe Viskosität) 157, 445
Réaumur (Temperatur) 429
reduzierte Kreisfrequenz 227
reduzierte Viskosität 363
Redwood Viscometer 358
Referenz-Flüssigkeiten (Viskosität) 31
Reflow-Effekt (Beschichtungen) 246
Refraktion (Rheo-Optik) 305
Regelkreise (Rheometer) 386
Regeneration (Struktur) 81, 202
Regressions-Modelle (Fließkurven) 62
Reibungs-Verhalten (Tribologie) 323
Reiner/Philippoff Modellfunktion 65, 451
Reinigungs-Mittel (Detergenzien) 253
Reis-Körner (Pulver-Rheologie) 421, 424
relative Feuchtigkeit 302
relatives Drehmoment 267, 286, 390
Relativ-Messsysteme 60, 285
Relativ-Viskositätswerte 286, 288, 291, 329, 362
Relaxation 140
Relaxations-Modul 141
Relaxations-Versuch 136, 319, 347
Relaxationszeit, R.-Spektrum 77, 142, 143, 181, 256

repräsentative Scherrate, Schubspannung, Viskosität 266, 267
resonanz-freie Schwingung 352
Retardation 124, 131
Retardations-Zeit, R.-Spektrum 131, 132
reversibel-elastischer Bereich 98, 104
reversible Deformation 154
Reynolds-Zahl, Re 28, 51, 269, 356, 379, 436
Rheogramme 32, 452
Rheologen (Historie) 426
Rheologie 19, 439, 444
Rheologie-Additive 68, 155
Rheometer, R.-Bauarten 383, 384, 449
Rheometrie 20
Rheo-Optik 52, 53, 259, 303
rheopexes Verhalten 76, 199, 204, 446
Rheo-Viscometer 340
Rührprozess 25
Ring-und-Kugel-Methode 337
Riss-Bildung (Feststoff) 166, 167, 296, 322
Riss-Festigkeit (Textur) 340
Roboter-gesteuerte Rheometer 455
Rohdaten (Oszillations-Versuche) 159
Rohdaten (Rotations-Versuche) 36
Rohr-Strömung 25, 27, 58, 421
Rollen (Beschichten) 25, 26, 111
rollende Kugel 337
Roll-Reibung (Kugellager) 324
Röntgenstrahl-Streuung (Rheo-Optik) 311, 444, 445
Rotations-Versuche 36
Rotations-Versuche (Leitfaden) 400
Rotations-Viskosimeter, R.-Rheometer 382, 437
Rotor (Spindel) 287
Roto-Thinner 289
Rovings (Harze) 298
rubber-modified asphalt RMA 454
Rück-Deformation 127, 349, 350
Ruhe-Konsistenz 190, 191, 345
Ruhe-Verhalten (Leitfaden) 405
Rührer (Messsgeometrie) 293
Rühr-Prozess 25, 110
Ruß 315

S

Saft 25, 30, 254
sag index applicator 333
Saint Venant-Modell 57, 432, 450
Salat-Dressing 99, 162, 191, 248
Salben 25, 27, 53, 99, 249
SALS (Rheo-Optik) 259, 260, 310
Salz-Körner 424
sand-gestrahlte Messsysteme 276, 284, 286
Sandwich-Bauteile 299
SANS (Rheo-Optik) 312
SAOS-Tests 174

- Säverborn-Geltester 343
 SAXS (Rheo-Optik) 259, 311
 Saybolt Universal/S. Furol viscometer 358
 scattering (Rheo-Optik) 307
 Schall-Dämmung 114
 Schallwellen-Viskosimeter 347
 Schaum 75, 164, 166, 177, 253
 Schaum (Metall) 199
 scheinbare Fließgrenze 55, 453
 scheinbare Viskosität 41
 Scher-Bedingungen 23, 97, 150
 Scher-Deformation 98
 Scher-Erwärmung 33, 73, 114, 167, 271, 282, 374, 377
 scher-erweichend (LAOS) 176
 Scher-Gefälle 24
 Scher-Geräte (Pulver) 410
 Scher-Geschwindigkeit 24
 scher-induzierte Effekte 51, 76, 204, 220, 255, 257
 Scher-Leistung (via Thixo-Fläche) 82
 Scherrate 24, 355, 361, 372, 375, 377
 Scherrate (Berechnung aus Deformation) 98, 151, 158, 167, 179
 Scherrate, gemittelt 280
 Scherraten-Steuerung (Rheometer) 387
 Scherraten-Vorgabe (Rotations-Versuch) 36
 Scherraten-Werte 25, 26
 Scherrate, repräsentativ 267
 Scherscheiben-Viskosimeter (Mooney) 347, 352, 445
 Scher-Schichtung 34, 58, 59, 77, 257, 279, 306, 310
 scher-verdickendes Fließverhalten 48, 63, 257, 424, 436
 scher-verdickend (LAOS) 176
 Scher-Verdickung, zeitabhängig 50
 scher-verdünnendes Fließverhalten 41, 63, 68, 255, 435
 scher-verdünnend (LAOS) 176
 Scher-Verdünnung, zeitabhängig 42
 scher-verfestigend 49
 scher-versteifend (LAOS) 176
 Scher-Verzähung 49, 51
 Scher-Viskosität 29
 Scher-Viskosität, scheinbare 41
 Schicht-Dicke 60, 81, 88, 202, 224
 Schicht-Mizellen 243, 255
 Schicht-Silikate (Gel-Bildner) 68
 Schlamm, Sch.-Lawinen 59, 254, 293, 332, 334, 343
 Schleim 115, 177, 190, 253
 Schlitzdüsen-Rheometer 373, 377
 Schlucken 25, 111, 325
 Schmelze-Bruch 118, 274, 374
 Schmelze-Massenfließrate (MFR) 369
 Schmelze-Volumenfließrate (MVR) 370
 Schmelz-Fähigkeit (Käse) 155
 Schmelz-Index (MFI) 373
 Schmelz-Kleber 30, 121, 207, 219, 337
 Schmelz-Punkt (Ring/Kugel) 337
 Schmelz-Temperatur 87, 213, 218, 222, 405
 Schmelz-Verhalten 87, 210
 Schmier-Fett 25, 73, 111, 164, 166, 170, 218, 286, 330, 338, 339, 341, 345, 373, 439, 495
 Schmier-Fett (Tribologie) 325
 Schmier-Stoffe 89, 92, 220, 259, 344, 367, 380, 435, 438
 Schmierung (Scherrate, Tribologie) 25, 325
 Schneidbarkeit (cutting, Textur) 340
 Schnell-Viskosimeter (Jung) 342
 Schnittpunkt (Frequenztest) 186
 Schnittpunkt (Thixotropie) 202
 Schokolade (Schmelze) 25, 38, 55, 67, 164, 218, 254
 Schrumpfung 282, 294, 301
 Schubmodul, Schubmodul-Werte 98, 99
 Schubmodul, komplex 150, 153
 Schubspannung 24, 150, 355, 361, 372, 375, 377, 431
 Schubspannung, gemittelt 280
 Schubspannung, repräsentativ 266
 Schubspannungs-Steuerung (Rheometer) 386
 Schubspannungs-Vorgabe (Oszillation) 159
 Schubspannungs-Vorgabe (Rotation) 37
 Schulze-Ringschergerät 410, 454
 Schüttgut-Dichte (Pulver-Rheologie) 411, 419
 Schüttgüter 408, 450, 454
 scorch time (Gummi) 348
 Searle-Methode 263, 441
 Sedimentation 25, 28, 33, 191
 Seife, Seifen-Sole 59, 75, 253
 Sekanten-Modul, S.-Viskosität (LAOS) 176
 Sekanten-Modul (Zug-Test) 350
 Sekundär-Bindungen 57, 217
 Sekundär-Strömung 51, 268, 274, 281, 285, 356, 442
 selbst-heilende Beschichtungen 246
 Selbst-Organisation (Tenside) 240, 252, 255
 selbst-verlaufend (Beschichtungen) 25, 162
 self-assembly monolayer SAM 240
 semi-kristalline Polymere 213
 Sensorik 315, 325
 set-to-touch time (Beschichtungen) 331
 Setzmaß 332
 Setzungs-Fließen 59, 293
 Severs Extrusions-Rheometer 373
 Shampoo 41, 50, 253, 256
 shape memory (Material-Verhalten) 217, 300, 319
 shear-banding 258, 306
 shearometer 338
 shear-thinning index 42
 Shell-Becher 353, 358
 shift factor (Temperatur) 227
 shortness factor (Fallstab) 336
 SHRP-Methode (Asphalt) 197, 454
 Silan-Chemie 206, 223, 456
 Silica 155, 162, 166, 447

- Silikon 21, 25, 30, 54, 110, 137, 138, 144, 162, 178, 210, 281, 283, 302, 447, 450
 Silikon-Gummi 112, 189, 215
 Silikon-Öl 31
 single head rheometers 384
 sinusförmige Deformations-Funktion 150
 Sirup 30
 Sisko Modellfunktion 65, 449
 SI-System (Einheiten) 450
 Slip-Stick-Verhalten (Pulver-Rheologie) 417
 Slip-Stick-Verhalten (Tribologie) 325
 slump tests 332
 small-angle oscillatory shear, SAOS 174
 smart fluids 9, 246, 254
 softening point 337
 soft touch 116, 163
 Sol-/Gel-Prozess (Silane) 206, 456
 Sol-/Gel-Übergangspunkt 155, 205, 256, 260
 Sol-/Gel-Übergangs-Temperatur 222
 Sol-/Gel-Übergang (Versuche, Leitfaden) 404, 405
 Solifluktion 59, 293
 Sol-Zustand 155, 162, 205, 222, 247
 Soßen 292, 293
 Spachtel-Massen 55
 Spalt-Einstellung (-Nachregelung) 274, 282, 294
 Spann-Apparat 349
 Spann-Versuche 319
 Speichermodul 154, 319
 Speisestärke (siehe Stärke)
 spezifische Viskosität 362
 Spiegel-Relation (Gleißle) 452
 Spindeln 287
 Spinnen-Seide 177, 252
 Spinn-Prozess 25, 110, 307, 316, 447
 Spritz-Guss 25, 441, 442
 Spritz-Lacke 25, 99, 191, 442, 450
 sprödes Verhalten 105, 155, 169, 302, 303
 Sprung-Versuche (Thixotropie) 77, 199
 stab-förmige Messproben 293
 Stabilität, Hochgeschwindigkeits- 345
 Stabilität (mechanisch) 162
 Stabilität, Wärme- 198, 210
 Stabinger-Viskosimeter SVM 380, 455
 Stagnations-Ebene (Mikroskopie) 386
 Stahl 21, 100, 101, 199, 219, 297, 307
 Standard-Geometrie (Zylinder) 265
 Stand-Festigkeit 162, 171, 191, 192
 Stärke 49, 99, 162, 189, 213, 215, 424, 433, 438
 Stärke-Rührer 293
 stationäres Verhalten 126, 127, 140, 181
 Stauchung (Defo-Tester) 350
 Staudinger Funktion, Index 363, 379, 442, 444
 STED (Rheo-Optik) 309, 455
 Steifigkeit 98, 103, 129, 150, 162, 190, 192, 223, 226, 340, 426, 435
 Steifigkeit (Bitumen, BBR) 351
 Steiger/Ory Modellfunktion 63, 450
 Steigrohr-Viskosimeter 342
 Steine 100, 219, 298, 307
 step strain test 136
 Stich-Festigkeit (Textur) 340
 Stift-Drehkörper 291
 Stockpunkt (Petro-Chemikalien) 89, 220
 stokessches Gesetz 28, 432
 Stokes (Viskositäts-Einheit) 31
 Stoß-Dämpfer 32, 115, 300
 strain, strain sweep 98, 161
 Strang-Aufweitung 110, 118, 374, 437
 Straßenteer-Viskosimeter 358
 Streck-Eigenschaft (Bitumen) 349, 438
 Streichen (Beschichtungen) 25, 26, 111
 Streich-Lacke 81, 99
 Stress-Relaxation 136, 140, 433
 stress-strain hysteresis loop 174
 stress sweep 161
 stretch tester 349
 Streuung (Rheo-Optik) 306, 310, 312
 Stribeck-Kurve (Tribologie) 324
 Strömung, pulsierend 235
 Strömungs-Dichroismus (Rheo-Optik) 259, 306, 310
 Strömungs-Doppelbrechung (Rheo-Optik) 259, 305, 310, 444
 Strömungs-Profil 52, 260, 310
 structure recovery index SRI 80
 Struktur-Abbau 75, 171, 198
 Struktur-Stärke 190, 191, 192, 194, 197, 204, 206
 struktur-viskos 41, 443
 Struktur-Wiederaufbau 75, 198, 202, 256
 Stufen-Rakel (Lack-Ablaufverhalten) 333
 Stufen-Versetzungen (Kristalle) 58
 St. Venant-Modell (siehe Saint Venant)
 Super-Absorber 453
 super-elastische Materialien 165
 Super-Fluidität 446
 Superposition (Rotation & Oszillation) 234
 Superpositions-Prinzip (Boltzmann) 132, 144, 435
 Suspensionen 27, 28, 53, 75, 164, 167, 177, 332, 440
 Symbole (im Anhang) 465
 Synärese 193
 Synchron-Motor 383, 389, 452
 Synovial-Flüssigkeit 115
 System-Verdicker 251
- ## T
- Tabletten 424
 Tacho-Generator 391
 tack (Klebrigkeit) 111, 155, 302, 320, 330, 331, 340
 taktile Wahrnehmung 300, 325
 Tangenten-Modul, T-Viskosität (LAOS) 176
 Tangenten-Schnittpunkt (Fließgrenze) 104

- tapered bearing simulator, TBS (Öl) 344
 tapered plug viscometer, TPV (Öl) 344
 Tapeten-Kleister 25, 31, 302
 Tauch-Beschichten 25
 Taylor-Zahl (Ta), T-Wirbel 51, 257, 268, 269, 310, 442
 Teer 334
 Teig 25, 111, 318, 443, 444
 teil-kristalline Polymere 213, 307
 temperatur-abhängiges Verhalten 86, 208, 320, 443
 temperatur-abhängiges Verhalten (Leitfaden) 402, 404
 Temperatur (Einheiten-Umrechnung) 429, 432, 478
 Temperatur-Gradient 283, 294, 396
 temperatur-invariante Masterkurve 227
 Temperatur-Kalibrier-Sensor 283, 294
 Temperatur-Schaukel-Test 220
 Temperatur-Stabilität 220
 Temperatur-Verschiebungs-Faktor (Arrhenius, WLF) 91, 227
 Temperier-Systeme 393
 Temperierung 38, 73, 170, 172, 209, 393
 temporäres Netzwerk 182, 217, 243, 255
 Tenside 50, 53, 59, 72, 166, 183, 239, 311, 313
 tensile energy to break, TEB (Zug-Test) 350
 terminales Fließen (Frequenz-Test) 181
 Textilien 303
 Textur-Prüfgerät, T-Analyser 340
 thermal stability time (Polymere) 198, 210
 thermisch-mechanische Analyse, TMA 225
 thermisch-reversibel (Wechselwirkungen) 217
 Thermo-Analyse, TA 224
 Thermo-Gravimetrie, TG 225
 Thermo-Plaste 25, 211, 214, 298
 thermo-plastische Elastomere, TPE 213, 214, 217, 318, 319
 thermo-rheologisch einfach 90, 226
 thermosets 215
 Thermostat 393, 436
 thermotropes Verhalten 247
 Thixo-Elastizität 455
 thixo-forming 199
 thixotropes Verhalten 75, 198, 256, 495
 Thixotropie (Ausbreitmaß) 332
 Thixotropie (Begriff) 75, 442, 443
 Thixotropie-Fläche 82
 Thixotropie (Gallenkamp) 343
 Thixotropie-Index TI 42, 80, 83
 Thixotropie (Versuche, Leitfaden) 401, 404, 407
 Thixotropie (schiefe Ebene) 332
 Tieftemperatur-Viskosität (Öl) 344, 345
 Tinte 332, 336, 338
 tissue engineering (Biotechn.) 116, 244, 253, 309
 TMA (thermisch-mechanische Analyse) 225
 Tonerde (Dispersion, Masse) 59, 331, 332, 335, 341, 342
 Topfzeit (Harze) 85, 205, 298
 torque tester (Schmierfett) 345
 Torsionsdraht-Viskosimeter 343, 437, 451
 Torsions-Flächenträgheits-Moment 296
 Torsionspendel-Methode 352
 Torsions-Prüfgeräte 351
 Torsions-Stäbe 293
 Torsions-Versuche 293, 494
 Torsions-Widerstands-Moment 295
 transienter Viskositätshügel 40
 transientes Verhalten 34, 39, 56, 79, 126, 140, 181, 201, 255, 286, 317
 transparente Messsysteme 260, 262, 272, 279
 Transport-Stabilität (Dispersion) 193
 Trenn-Energie (Tack) 321
 Tribologie 323, 430
 Trident-Spindel (Schmierfette) 345
 Trimmen 170
 Trinkwasser-Versorgung 27
 TRIP Effekt (Dualphasen-Stahl) 177
 Trocknungs-Prozess (Pulver) 424
 Tropfen, T-Zerteilung 48, 53, 310, 315
 Tropfpunkt (Petro-Chemikalien) 89, 220, 439
 Trouton-Beziehung 316, 440
 Trübungs-Punkt (Öl) 89
 True Gap-Funktion 282
 Tscheuschner Modellfunktion 68
 T-Stab-Spindel 288, 289
 TTS-Methode 226
 Turbo-Viskosimeter 442
 turbulente Strömung 51, 73, 260, 268, 274, 277, 281, 284, 285, 286, 291, 310, 356, 357, 377, 432, 440
 turbulente Strömung (Wasser) 52
- ## U
- Ubbelohde-Kapillar-Viskosimeter 359, 439
 Überlagerung (Oszillation & Rotation) 234
 Umfangs-Geschwindigkeit 264
 Umrechnung von Maß-Einheiten 475
 unelastisches Verhalten 58, 445
 Unendlich-Viskosität 44, 47, 64
 uni-lamellar (Tenside) 244
 Unterboden-Schutz (Auto, Plastisol) 81, 171
 UV-Aushärtung 207, 301, 451
- ## V
- van-der-Waals-Kräfte 57, 435
 van Gurp/Palmen-Plot, vGP-Plot 183
 Vaseline 164, 218, 286
 Vektor-Diagramm 156, 157
 Verarbeitungs-Zeit (Harze) 85, 205
 Verbund-Werkstoffe 51, 115, 199, 205, 223, 297, 319
 Verdicker 68, 249, 254
 Veresterung 187, 215

- Verfestigung-Spannung (Pulver-Rheologie) 415
Verglasung (Reaktionsharz) 206
verkapselte Systeme (Tenside) 219, 246, 253
Verlaufen (Beschichtung) 25, 61, 81, 88, 202, 224, 234, 333
Verlust-Faktor/Dämpfungsfaktor 154, 157, 188, 189, 319
Verlust-Faktor (di-elektrisch) 314
Verlust-Modul 154, 319
Verlust-Winkel 153
vernetzte Materialien 124, 139, 256
vernetzte Polymere 162, 164, 187, 190, 215
Vernetzungs-Grad 190
Vernetzungs-Prozess 204, 222
Vernetzungs-Reaktion (Versuche, Leitfaden) 404, 405
Vernetzungs-Zeit (Vulkameter) 348
Verpackungs-Materialien 217, 319, 326
Verschiebungs-Faktor (Viskosität/Druck) 93
Verschiebungs-Faktor (Viskosität/Temperatur) 91
Verschiebungs-Faktor (WLF) 227
Verschlaufung 43, 52, 70, 182, 426, 450
Verschleiß-Verhalten (Tribologie) 323
Versuchsart (Auswahl) 405
vertikaler Verschiebungsfaktor (WLF) 231
Verzweigungs-Grad (Polymere) 184, 318
Vesikel (Tenside) 245, 311
Vibrations-Dämpfung 114, 300
Vibrations-Prüfgeräte, V-Viskosimeter 346, 351
Vinogradov/Malkin Modellfunktion 65
viscosity ratio VR (drehzahl-abhängig) 42
viscosity relative increment 362
Visco-Spatel (Rossmann) 333
visko-elastische Feststoffe 30, 112, 124, 139, 162, 223, 256, 434, 435
visko-elastische Flüssigkeiten 101, 109, 123, 138, 180, 256, 316, 433
visko-elastisches Verhalten 107, 123, 138, 152, 175, 255, 279, 431, 448
visko-plastisch 58
Viskose 440
viskose Scher-Erwärmung 33, 73, 114, 167, 271, 282, 374, 377
viskoses Verhalten 154, 157, 175, 427
Viskosimeter 383
Viskosität 29, 433
Viskosität, Bingham 65
Viskosität, Blind- 157
Viskosität, Brookfield- 289
Viskosität, Dehn- 316
Viskosität, druckabhängig 92
Viskosität, dynamisch 29, 157
Viskosität, Gleichgewichts- 34, 39
Viskosität, High-Shear-, HSV 46, 277, 336
Viskosität, Hochtemperatur (Öl) 344, 376
Viskosität, HTHS (Öl) 344
Viskosität, Imaginärteil 157
Viskosität, inhärent 362
Viskosität, intrinsisch 363
Viskosität, kinematisch 30
Viskosität, komplex 156, 181
Viskosität, Low-Shear-, LSV 44, 289
Viskosität, LTHS (Öl) 345
Viskosität, LTLS (Öl) 344
Viskosität, Malcolm (Lotpasten) 345
Viskosität, Medium-Shear-, MSV 291
Viskosität, Null- 25, 30, 41, 44, 45, 62, 64, 91, 93, 128, 162, 182, 232, 255, 401, 406
Viskosität, Realteil 157
Viskosität, reduziert 363
Viskosität, relative 286, 288, 291, 362
Viskosität, repräsentativ 267
Viskositäts-Änderung, relative 74
Viskosität, Schallwellen- 347
Viskosität, scheinbare 41
Viskosität, Scher- 29
Viskositäts-/Druck-Koeffizient, Verschiebungsfaktor 93
Viskositäts-Gesetz 31, 152, 162, 428, 432
Viskositäts-Index VI (Petro-Chemikalien) 367, 444
Viskositäts-Kurven 32, 37, 61
Viskositäts-Kurven (Anpassungs-Funktionen) 62
Viskositäts-Minimum 88, 224
Viskosität, spezifisch 362
Viskositäts-Referenzflüssigkeiten 31
Viskositäts-/Temperatur-Verschiebungsfaktor 91, 227
Viskositäts-Verhältnis (Fallstab) 336
Viskositäts-Verhältnis (Polymer-Lösungen) 362
Viskositäts-Verhältnis (Scher-Verdünnung) 42
Viskositäts-Verhältnis (zeit-abhängig) 83
Viskositäts-Verhältnis (Struktur-Regeneration) 80
Viskositäts-Werte (Tabelle) 30
Viskositäts-Zahl, VZ 363
Viskosität, temperatur-abhängig 86
Viskosität, Tief-Temperatur (Öl) 344, 345
Viskosität, transient 39, 79
Viskosität, Unendlich- 44, 47, 64
Viskosität, Wirk- 157
Viskosität, zeit-abhängig 73
viskos scher-verdickend (LAOS) 176
viskos scher-verdünnend (LAOS) 176
Viskosaage 340
Visualisieren (Rheo-Optik) 48, 52, 53, 303
vitrification (Reaktionsharz) 206
VI-Wert (Viskositäts-Index) 367
Vogel-/Ossag-Kapillar-Viskosimeter 360
Voigt-Modell 112, 437
Volodkevich-Beißklemme 340
Volumen-Bruchteil 49, 440
Volumen-Fließrate (via MVR) 372
Volumen-Rheologie (bulk rheology) 314

volumen-spezifische Oberfläche 53
 Volumen-Strom 27
 Vor-Scherung 38, 73
 Vulkameter 347
 Vulkanisation 347, 433

W

Wachs 59, 89, 110, 164, 218, 219, 220, 246, 286, 339, 432, 435, 436, 446
 Walzen (Beschichten) 111
 Wand-Gleiten 34, 49, 55, 58, 76, 177, 270, 284, 286, 292, 293, 437, 442
 Wand-Haftung 23, 97, 150
 Wand-Reibung (Pulver-Rheologie) 417
 Wärme-Ausdehnung 282, 283, 294
 Wärme-Stabilität (Polymere) 198, 210
 Warner/Brazler-Klinge 340
 Warren-Springs-Geometrie 419
 Wasser 21, 28, 30, 31, 52, 87, 93, 110, 138, 143, 218, 268, 269, 315, 357
 Wasser-Aufnahme 302
 Wasser-Bad (Temperierung) 393, 436
 Wasserstoff-Brücken 57, 218, 252
 wässrige Dispersionen 68, 71, 250, 259, 446, 452, 454, 455
 wax appearance point 89
 WAXS (Rheo-Optik) 311
 Wechselwirkungs-Kräfte 48, 57, 190, 426, 435, 439, 442, 444
 Weichmacher 49, 100, 217, 433
 Weißel-Effekt (Cremes) 53
 Weissenberg-Effekt 110, 118, 270, 274, 281
 Weißenberg-Goniometer 312
 wet-tack (Beschichtungen) 320
 Williamson Modellfunktion 68, 444
 Windhab Modellfunktion 67
 Winkel-Einheiten (Umrechnung) 477
 Winkel-Geschwindigkeit 264, 390
 Winkel-Messung (Rheometer) 390
 Wirbel-Bett (Pulver-Rheologie) 420

Wirbel-Bildung (Flüssigkeiten) 51
 Wirbel-Säule (Biologie) 116
 Wirk-Viskosität 157
 WLF-Methode 228, 449
 wurm-förmige Mizellen 50, 177, 241, 256

X

Xero-Gele 206
 X-ray scattering (Rheo-Optik) 311

Y

yield locus YL (Pulver-Rheologie) 414
 yield point 54, 168
 yield strength (Zug-Test) 349, 350
 yield stress 54, 168
 Young's modulus 100, 430

Z

Zähigkeit (toughness, Textur) 340
 Zahn-Becher 353, 358
 Zahn-Füllmassen 49, 50
 Zahnpasta 25, 54, 253
 zeit-abhängiges Verhalten 73, 196, 320
 zeit-abhängiges Verhalten (Leitfaden) 401, 403
 zeitliche Übergangseffekte 39, 73
 Zeit-/Temperatur-Verschiebung 226, 449
 Zeit-Verfestigung (Pulver-Rheologie) 416
 Zement 332, 424
 Zimm/Crothers Viskosimeter 450, 451
 Zucker-Körner 424
 Zügigkeit 111, 155, 320, 330, 340
 Zug-Kraft (Torsionsstab) 294
 Zug-Modul 100
 Zug-Prüfgeräte 340, 349
 Zug-Spannung 101, 317
 Zwei-Platten-Modell 23, 34, 39, 53, 59, 97, 149
 Zwei-Stufen-Klebstoffe (dual-cure) 207
 Zylinder-Messsysteme 262

Prof. Dr. Georg Meichsner, Hochschule Esslingen

Das Rheologie Handbuch ist das Standardwerk in der Lack-, Druckfarben-, Kleb- und Dichtstoffindustrie, in der Lebensmittel- und Kosmetikbranche. Der Schwerpunkt des Buches liegt auf der praktischen Anwendung der Rheologie. Es ist allerdings nicht nur als Nachschlagewerk für den fortgeschrittenen Anwender geeignet, sondern auch für den Anfänger, zum Studium der hinter den Methoden stehenden Theorie.

Der Autor Thomas Mezger, der in verschiedenen DIN-Fachnormenausschüssen arbeitet, hat in der mittlerweile 5. Auflage den Text durch aktuelle Beispiele ergänzt. Hoher Wert wurde auf Verständlichkeit des Textes, anschauliche Bilder und praxisnahe Beispiele gelegt, was den Erfolg dieses Buches erklärt. Die neue Auflage ist um ein Kapitel zur Pulverrheologie erweitert.

Ein sehr empfehlenswertes Buch, eben ein Standardwerk.



VINCENTZ

Wir entwickeln Fachwissen