

# Rheologie für Druckfarben

## Inhalt

	Seite
1. <a href="#">Grundbegriffe</a> .....	2
2. <a href="#">Was ist Viskosität?</a> .....	2
3. <a href="#">Messung der Viskosität</a> .....	3
4. <a href="#">Einfaches Fließverhalten</a> .....	5
5. <a href="#">Komplexes Fließverhalten</a> .....	6
6. <a href="#">Scherkraftabhängige Muster</a> .....	8
7. <a href="#">Zeitabhängige Muster</a> .....	10
8. <a href="#">Zügigkeit und ihre Messung</a> .....	12
9. <a href="#">Elastizität in Druckfarben</a> .....	14

## 1. Grundbegriffe

Die Rheologie ist laut Meyers Enzyklopädischem Lexikon „ein Teilgebiet der Physik, das sich mit den Erscheinungen befasst, die bei der Deformation und beim Fließen flüssiger, kolloidaler (hochpolymerer) und fester Systeme unter Einwirkung äußerer Kräfte auftreten.“ Rheologische Betrachtungen sind bei Druckfarben äußerst nützlich für die unterschiedlichsten Aspekte - von der Herstellung und Verpackung über die Verdruckbarkeit und den Farbtransfer in der Druckmaschine bis zu Trocknungs- bzw. Verfestigungsprozessen.

Wenn wir Druckfarben als kondensierte Phasen verstehen, bei denen die einzelnen Bauteile (z. B. Moleküle) nicht an festen Plätzen untereinander verbunden sind, sondern sich mit geringem Kraftaufwand innerhalb der Phase aneinander vorbei bewegen, behandeln wir sie als Flüssigkeiten. Die gelegentlich sehr pastösen Druckfarben im Bogenoffset wollen wir hier auch als Flüssigkeiten verstehen.

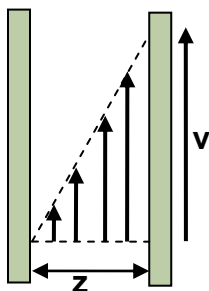
Der erste und wichtigste rheologische Begriff, der uns begegnet, ist die **Viskosität**. Viskose Flüssigkeiten sind zähflüssig, beispielsweise Honig. Hier hilft uns schon der umgangssprachliche Gebrauch. Hochviskose Flüssigkeiten fließen schwerfällig bis zäh, niedrigviskose dagegen leicht, sind also z. B. wasserdünn.

Der zweite Begriff ist ein reines Fachwort, die **Zügigkeit**. Aus der Umgangssprache ergibt sich hier nichts Verwertbares, weder durch „zügig“, noch durch „zugig“. Gemeint ist hier eine Eigenschaft nahe bei der Klebrigkeit, also eine Art innerer Zusammenhalt von Flüssigkeiten. Da zeigt sich auch schon die Schwäche des letzten Vergleichs: Die Klebrigkeit erfordert Adhäsion und Kohäsion. Zügigkeit von Druckfarben meint aber nur die Kohäsion, den inneren Zusammenhalt einer zusammenhängenden Flüssigkeitsmenge. Im technischen Sprachgebrauch findet sich oft synonym der dem Englischen entlehnte Ausdruck „Tack“.

Der dritte wichtige Begriff ist die **Elastizität**. Elastische Körper sind spannbare, federnd. Im umgangssprachlichen Gebrauch bezeichnet er eine Eigenschaft von Festkörpern. Mit physikalischen Experimenten kann man jedoch gerade bei höherviskosen Flüssigkeiten elastische Anteile im Deformationsverhalten zeigen.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

## 2. Was ist Viskosität?



In Lehrbüchern der Physik finden wir als Definition der Viskosität „Koeffizient der inneren Reibung von Flüssigkeiten (und Gasen)“. Er leitet sich durch ein Gedankenexperiment mit einer Flüssigkeit zwischen zwei parallelen Glasplatten ab wie in Abb. 1 dargestellt: Eine Platte stehe still, die andere werde in einer konstanten Geschwindigkeit  $v$  von unten nach oben bewegt. Der Abstand zwischen ihnen sei  $z$ .

Die Moleküle der Flüssigkeit benetzen die Plattenoberflächen, haften also an ihnen. Damit besitzen die Moleküle an der stehenden Platte die Geschwindigkeit 0 und die an der bewegten die Geschwindigkeit  $v$ .

Abb. 1

Wenn wir die Flüssigkeit gedanklich in lauter dünne Molekülschichten zerlegen, wandern durch die thermische Bewegung einzelne Moleküle der Flüssigkeit von einer Schicht in die benachbarte. Dabei stoßen sie an die Moleküle dieser Schicht und geben ihnen einen Impuls in Fließrichtung. Sie selbst werden dabei gebremst. Wenn man eine Weile wartet, wird sich jede Schicht in einer eigenen Geschwindigkeit bewegen, und ein Geschwindigkeitsgefälle entsteht, wie es die Pfeile in Abb. 1 andeuten. Weil die thermische Bewegung der Moleküle aber zusätzlich zur Fließbewegung weitergeht, wechseln ständig einzelne Moleküle ihren Platz und bremsen oder beschleunigen andere. Die Bewegung der rechten Glasplatte wird letztlich dadurch ebenfalls gebremst.

Man kann die Kraft leicht berechnen, mit der diese Platte gebremst wird, die also zur Aufrechterhaltung der Bewegung aufgebracht werden muss. Sie muss proportional zur Fläche  $A$  der Platte und zum Geschwindigkeitsgefälle  $v/z$  zwischen den Platten sein. Ein Koeffizient  $\eta$  gibt noch an, in welchem Maße die jeweilige Flüssigkeit bei gegebener Temperatur bremst:

Dieser Proportionalitätsfaktor  $\eta$  stellt eine Stoffeigenschaft der

Flüssigkeit dar, die innere Reibung. Sie wird auch dynamische Zähigkeit oder Viskosität genannt.

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{v}{z}$$

Wasser hat eine geringe innere Reibung, Honig eine erheblich größere.

In einem durchströmten Rohr bildet sich ebenfalls ein Strömungsprofil aus, in der Rohrmitte die höchste Geschwindigkeit und schichtweise abfallend zu den Wänden immer niedrigere. Abb. 2 skizziert dies.

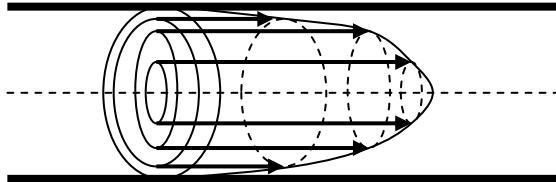
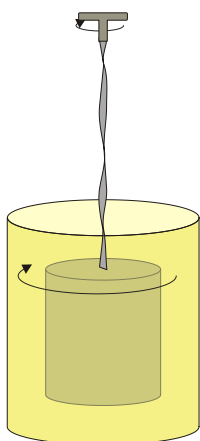


Abb. 2, Geschwindigkeitsprofil einer Flüssigkeit in einem Rohr

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

### 3. Messung der Viskosität



Wie lassen sich nun die Viskositäten von Flüssigkeiten messen? Dazu gibt es recht unterschiedliche Möglichkeiten. Für dünnflüssige, also niedrigviskose Flüssigkeiten, werden oft Rotationsviskosimeter angewendet, bei denen eine Spindel in einem Behälter gedreht wird. Die Spindel ist an einem Torsionsdraht aufgehängt, der sich bei einer eingestellten Drehgeschwindigkeit proportional zum Drehwiderstand verdrillt. Und der Drehwiderstand einer solchen Messeinrichtung ist direkt proportional zur Viskosität. Solche Rotationsviskosimeter mit Spindeln unterschiedlicher Bauart werden für Papierstreichfarben, Anstrichfarben und gelegentlich auch für flüssige Druckfarben eingesetzt.

Abb. 3, Prinzip des Rotationsviskosimeters,

Sobald man von der bisher einfachen Geometrie der Messkörper zu anderen übergeht, kann die Mathematik dahinter recht kompliziert werden. Aber immer gibt es die Möglichkeit, über Kraft- oder Sinkzeitmessungen an die Viskosität heranzukommen. So werden die relativ niedrigviskosen Zeitungsfarben mit einem Kugelfall- (s. Abb. 5) und die höherviskosen Heatset- und Bogenoffsetfarben mit einem Fallstab - Viskosimeter (s. Abb. 4) gemessen.

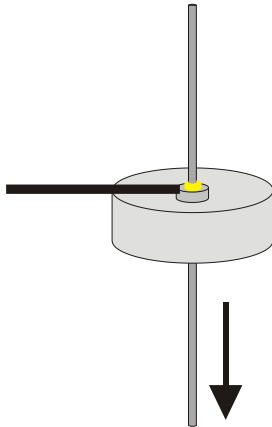


Abb. 4, Fallstab - Viskosimeter

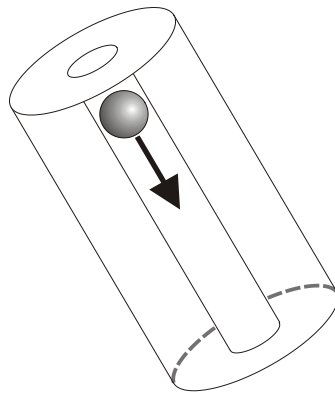


Abb. 5, Kugelfall - Viskosimeter

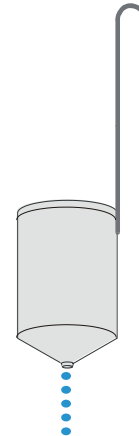


Abb. 6, Auslaufbecher

Im einen Fall streicht man eine Firnis- oder Farbprobe in die hier grau gefärbte Öse des thermostatisierten Halters und lässt den genau hindurch passenden Fallstab hindurch gleiten. Aus seiner Sinkzeit schließt man auf die Viskosität der bremsenden pastösen Messprobe.

Im anderen Fall wird die Sinkzeit (bzw. -geschwindigkeit) einer Kugel in der Druckfarbe bestimmt und daraus auf die Viskosität geschlossen.

Eine apparativ ganz einfache Messtechnik wird für die leicht fließenden Tiefdruck- und Flexodruckfarben und für viele Drucklacke angewendet: Auslaufbecher. Abb. 6 zeigt einen solchen Becher, der an einem Stab in die zu messende Flüssigkeit getaucht wird. Sobald man ihn hoch zieht, beginnt man mit der Zeitmessung. Die Farbe läuft aus dem Loch im Boden des Bechers. Wenn der Strahl abreißt, ist die Messung beendet. Höherviskose Farben benötigen länger, bis der Becher leer gelaufen ist, niedrigviskose kürzer. In der Praxis werden nur die Auslaufsekunden angegeben, ein einfaches und praktikables Mittel. Je nach Viskositätsklassen benutzt man Becher mit z. B. 4 mm Düsendurchmesser (Flexodruck) oder auch nur 3 mm (Tiefdruck).

Viskositäten werden in Pas (Pascal - Sekunden) angegeben, eine Dimension aus Druck x Zeit. Frühere Angaben in Poise lassen sich leicht umrechnen: 1 Pas = 10 Poise.

Zur Orientierung sind in Tab. 1 einige typische Viskositätswerte angegeben.

Tab. 1, typische Viskositäten von einigen reinen Flüssigkeiten und von Druckfarben

	Viskosität in mPas bei 20°C
Wasser	1
Olivenöl	80
Glycerin	1400
Ink Jet Tinte	10
Tiefdruckfarbe	100
Flexodruckfarbe	200
Offsetdruckfarbe	10 000 - 1000 000

Bei der Messung von Viskositäten gibt es zwei wichtige Begriffe. Einer ist die Schubspannung, also die mechanische Spannung (Kraft pro Fläche) der Schubbewegung (erzwungenes Fließen, auch Scherbewegung). Die andere ist die Schub- oder Schergeschwindigkeit. Je nach Schergeschwindigkeiten treffen wir unterschiedliche Strömungsverhältnisse. Wir können die Schervorgänge in Druckmaschinen grob in drei Bereiche einteilen, in

**niedrige Scherkräfte:** spontanes Fließen im Farbkasten oder aus der Dose, Verlaufen der Druckfarbe direkt nach Druck zu einer glatten und glänzenden Oberfläche,

**mittlere Scherkräfte:** Pumpen aus Tanks in Farbwannen und

**hohe Scherkräfte:** Passage des Nip zwischen Walzen, Abrakeln der Farbe vom Tiefdruckzylinder.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

## 4. Einfaches Fließverhalten

Homogene Flüssigkeiten zeigen ein recht übersichtliches Fließverhalten. Sie besitzen bei gegebener Temperatur eine feste Viskosität. Will man diese Viskosität bestimmen, so verwendet man z. B. ein Rotationsviskosimeter. Man misst die Umdrehungszahl der Spindel und den Kraftaufwand des Torsionsdrahtes. Aus dem Kraftaufwand und der Geräte - Geometrie lässt sich berechnen, welche Scherkräfte jeweils herrschen. In der Physik hat sich eingebürgert, dass man die Werte in ein Diagramm einträgt mit der Scher- (Dreh-) -geschwindigkeit  $D$  auf der Abszisse ( $x$  - Achse) und der Schubspannung (Scherkraft)  $\tau$  auf der Ordinate ( $y$  - Achse). Dadurch gelangt man zu Kurven nach dem Muster der Abb. 7, linkes Diagramm. Man bezeichnet solche Diagramme als Rheogramme. Zur weiteren Verdeutlichung sei hier rechts daneben die Abhängigkeit der Viskosität von der Schergeschwindigkeit gegeben. Dies wird analog auch in den kommenden Fällen so angegeben. In der Literatur findet man gewöhnlich nur die Rheogramme.

Die Steigung der Kurven im linken Diagramm gibt die Viskosität einer Flüssigkeit wieder. Sie ist in diesem Fall über den ganzen Drehzahlbereich konstant und nur von der Temperatur abhängig. Solche Flüssigkeiten heißen newtonsch und sind in der Natur weit verbreitet. Vereinfachend kann man sagen, dass alle einphasigen Flüssigkeiten (also keine Emulsionen oder Suspensionen) mit einfachem Molekülbau newtonsch sind. Wasser, Benzin und auch viskose Mineralöle gehören z. B. dazu, auch das recht viskose Glycerin.

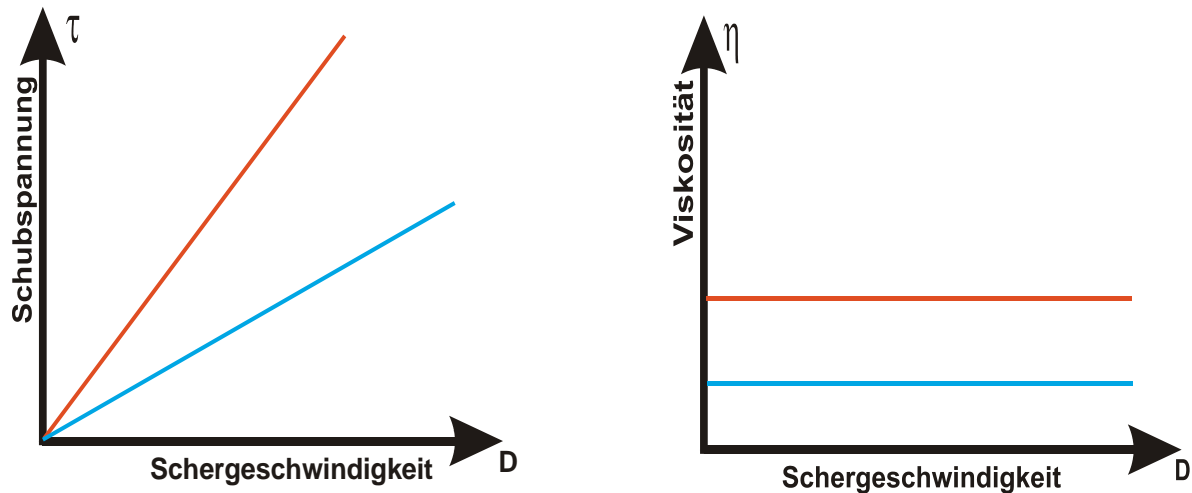


Abb. 7, Scherdiagramm mit Schergeschwindigkeit (hier Drehgeschwindigkeit) und Schubspannung

Je höher die Temperatur eines Systems steigt, desto höher sind die Geschwindigkeiten der thermischen Molekularbewegung. Damit fällt die Bremskraft von Molekülen ab, die im ersten Modell in eine Nachbarschicht überwechseln, weil sie auch in der Strömungsrichtung immer höhere Eigenanteile vorfinden. Die Viskosität sinkt also in allen Fällen, die in unser bisheriges Modell passen.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

## 5. Komplexes Fließverhalten

Druckfarben gehören allerdings nicht zu den einfachen Flüssigkeiten. In allen Fällen enthalten sie Pigmente, die als winzige Feststoffpartikel in eine flüssige Phase eindispersiert worden sind. Sie sind also klar Mehrphasensysteme. Oft sind auch die Bindemittel zwar gelöst oder verteilt in der Flüssigphase, bestehen aber nicht aus kleinen, kompakten Molekülen wie im Wasser oder in Mineralölen, sondern aus z. B. fadenförmigen, vergleichsweise riesigen Polymermolekülen. Wenn solche suspendierten Kriställchen oder gelösten Polymermoleküle in einer Flüssigkeit bewegt werden, stoßen sie fortwährend aneinander, verhaken sich und bringen Fließwiderstand hinzu, der abhängig von der Dynamik der Bewegung ist, also im nächst komplizierten Fall von der Schergeschwindigkeit.

Der mittlere Abstand zwischen den Pigmentkriställchen ist bei ca. 20% Füllgrad einer Suspension etwa so groß wie ihr Partikeldurchmesser. Mit steigender Schergeschwindigkeit müssen wir mit unterschiedlichen Behinderungen der Teilchen untereinander rechnen. Abb. 8 gibt ein paar Modellvorstellungen von Druckfarben.

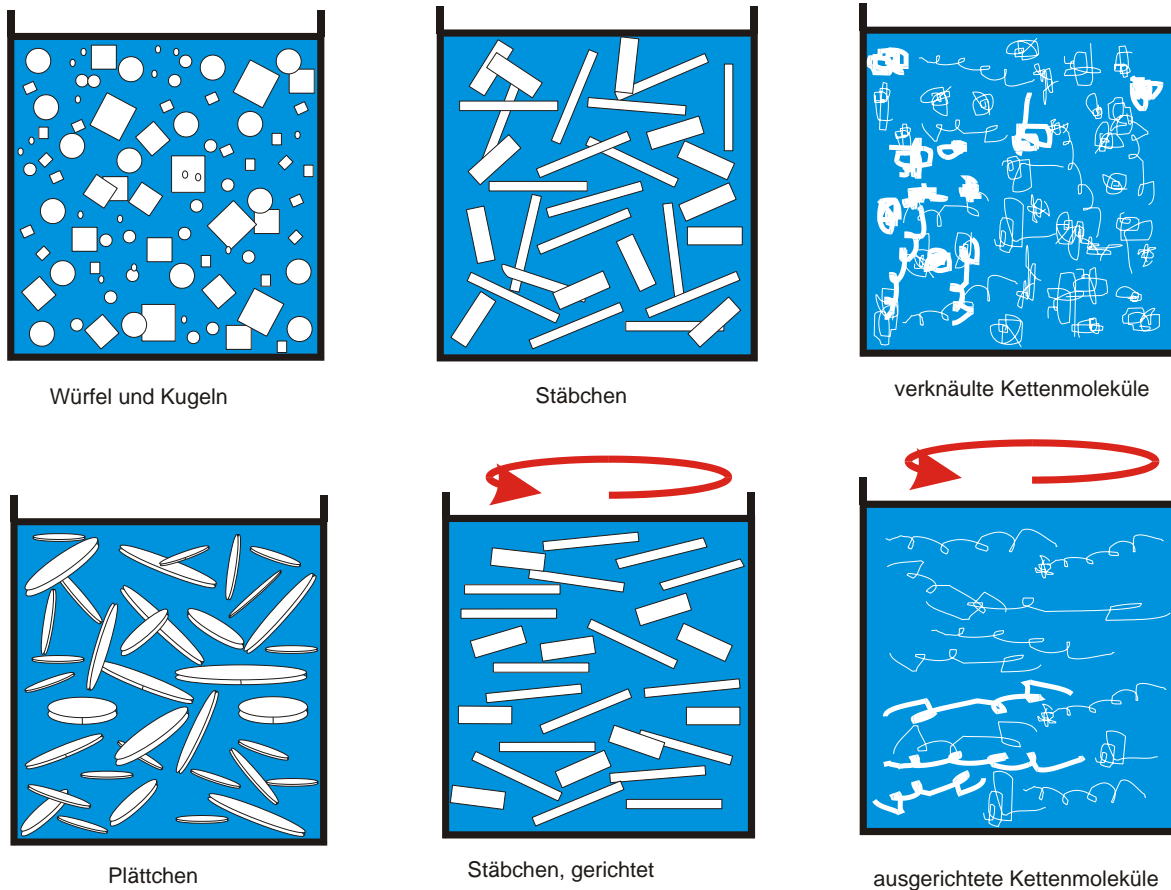


Abb. 8, verschiedene Modelle für das Fließverhalten von Feststoff - Suspensionen

Je kompakter die Partikel sind, desto besser wird die Farbe fließen. Pigmente mit Plättchenform (z. B. Metallglanzpigmente) stören einander häufig. Es ist aber auch denkbar, dass bei geeigneter Bewegung solche Teilchen mit Vorzugsrichtung sich ausrichten und bei bestimmten Fließverhältnissen sogar wieder weniger stören als vorher. Bei den Fadenmolekülen kann es sogar noch schlimmer kommen: Sie können aus ihrer normalen, verknäulten Form sich in einer Strömung strecken und mit der Zeit parallel ausrichten. Dann fließt so eine Suspension plötzlich besser als anfangs. Wir sehen also, es gibt durch suspendierte Teilchen Fließbehinderungen, die mit der Strömungsgeschwindigkeit steigen oder auch sinken können. Dabei ist nicht einmal gesagt, dass sie immer nur vom Schergefälle, also von den Geschwindigkeiten abhängen. Es ist durchaus möglich, dass sich bestimmte Orientierungen erst mit einiger Rührzeit ausbilden. Dann ändert sich die Viskosität eines Systems nicht nur reversibel mit der Schergeschwindigkeit, sondern auch noch mit der Rührzeit. Die Entwirrung von Fadenmolekülen braucht mit Sicherheit ihre Zeit bei Raumtemperatur. Und wenn die Farbe dann in Ruhe gelassen wird, kann es wiederum einige Zeit dauern, bis sich alle Fäden wieder verknäult haben. Damit haben wir ein Modell für die Zeitabhängigkeit der Viskosität. Die Vorgeschichte einer Messprobe, also Ruhezustand oder Vorscherung, kann folglich bei einer Messung wichtig sein.

Es können noch weitere Komplikationen hinzukommen: Manche Kriställchen sind an ihren kristallographischen Flächen unterschiedlich positiv oder negativ aufladbar. In unpolaren Flüssigkeiten ziehen sie sich dadurch gegenseitig an und können schwache Strukturen aufbauen. Damit wird die Flüssigkeit im Ruhezustand immer fester. Das kann so weit gehen, dass bis zum Umrühren einer so verfestigten Flüssigkeit eine Losreißkraft nötig ist, dass sie also beispielsweise nur durch Neigen des Gefäßes nicht abfließt. Ein Mechanismus der Gelbildung funktioniert so.

Im Folgenden wollen wir uns diese Komplikationen schrittweise ansehen und feststellen, wie weit sie Bedeutung für Druckfarben haben können. Die rheologischen Betrachtungen können auch für Feuchtmittel nützlich sein, wenn z. B. der Transfer der wässrigen Flüssigkeit über die Feuchtwalzen sich durch den Verzicht auf Isopropanol verschlechtert. Sogar bei der Ausbildung einer glänzenden Druckoberfläche können Viskositätsbetrachtungen zum Verständnis beitragen. Wenn die Druckgeschwindigkeiten steigen, ist nicht nur ein sehr tiefes Verständnis der Mechanik von Maschinen gefragt, sondern auch die Rheologie der verarbeiteten Flüssigkeiten wird immer wichtiger. Selbst bei den niedrig viskosen Farben des Tiefdruckes gibt es mit den Geschwindigkeiten der modernen Maschinen große Hindernisse, wenn die Rheologie nicht sehr genau verstanden wird.

Die Viskosität sinkt mit steigender Temperatur. Unser praktisches Gefühl nimmt diesen Zusammenhang leicht an. In Motorölen kennen wir das Problem der Verdünnung mit steigender Temperatur. Und weil auch im Fahrbetrieb eine Mindestviskosität nötig ist, füllen wir im Sommer ein höher viskoses Öl ein als im Winter. Das war so bis vor wenigen Jahren. Jetzt hat die Mineralölindustrie Schmieröle mit speziellen Zusätzen entwickelt, in denen sich bei Erhöhung der Temperatur sperrigere Moleküle formen und so die Viskosität künstlich stützen. So erhalten wir die Mehrbereichsöle. Ähnliche Mechanismen werden in Druckfarben - Bindemitteln verwendet, damit man für kalte Maschinen am Montagmorgen noch eine einigermaßen handhabbare Farbe in die Maschine spachteln oder pumpen kann, nach längerem Maschinenlauf aber noch immer genügend Grundviskosität bekommt.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

## 6. Scherkraftabhängige Muster

Wenn eine Flüssigkeit nicht nur eine feste Viskosität unter allen Scherbedingungen hat, ist sie nicht mehr newtonsch. Ein einfacher solcher Fall wäre ein ideal plastischer Körper. Er hat eine Fließgrenze, braucht also eine charakteristische Mindestkraft zum Zerreißen von Strukturen, die Losreißkraft. Wenn diese erste nichtelastische Deformation stattgefunden hat, verhält sich ein ideal plastischer Körper wie eine newtonsche Flüssigkeit: Die Viskosität bleibt danach eine feste Substanzgröße. Abb. 9 zeigt mit der roten Kurve das Rheogramm eines solchen ideal plastischen Körpers.



Man wird leicht einsehen, dass ideal plastische Körper nicht von dieser Welt sind. Immerhin gibt es eine riesige Anzahl von Körpern, die sich im Fließverhalten daran annähern. Sie haben vergleichbare Kurven - nur mit einem weichen Übergang, simpel gesagt. Wir nennen sie deshalb pseudoplastisch, also scheinbar plastisch.

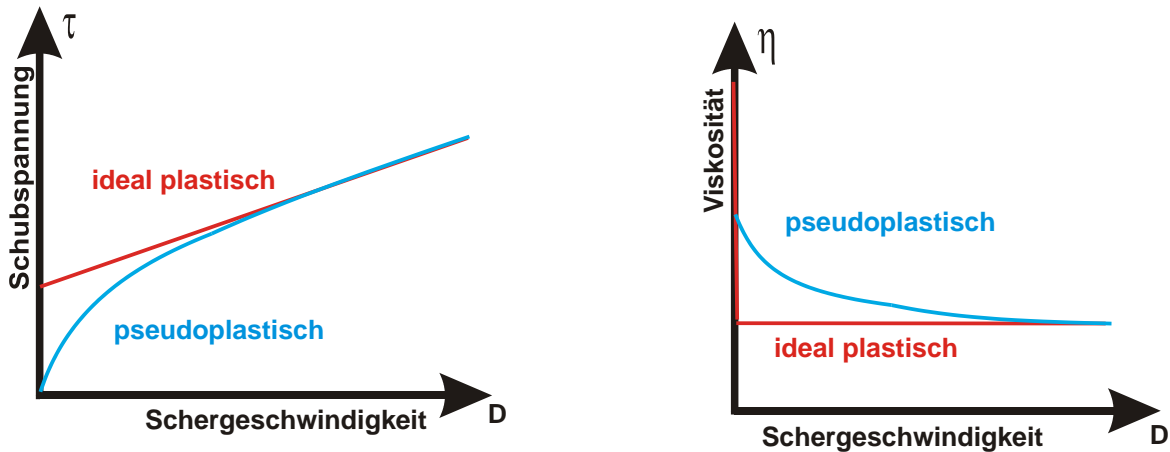


Abb. 9, scherkraftabhängiges Fließverhalten

Die Pseudoplastizität bezeichnet man auch als scherverdünnendes Verhalten oder als Strukturviskosität. Sie ist eine der am häufigsten anzutreffenden Formen. Oft ist sie für einen technischen Prozess so notwendig, dass er ohne diese Eigenschaft gar nicht praktikabel ist.

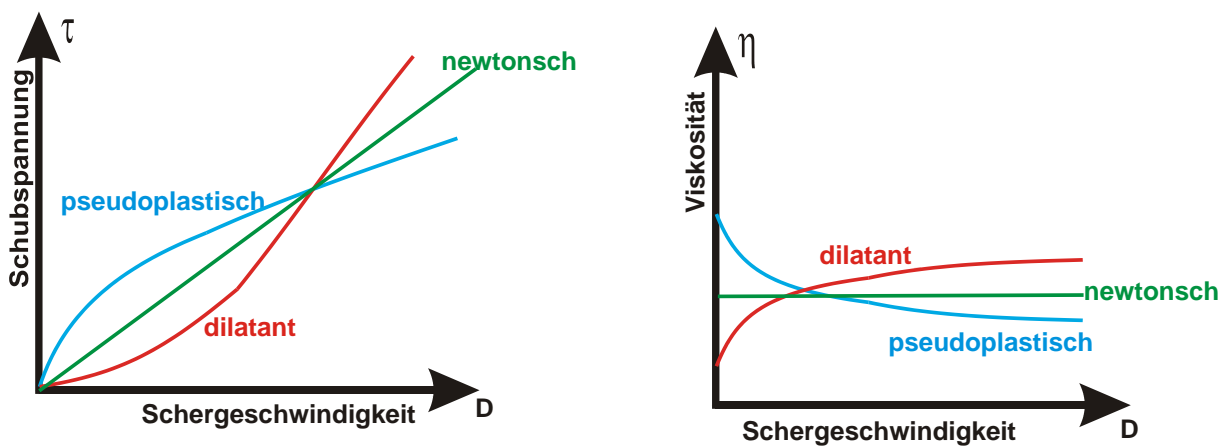


Abb. 10, einfaches und scherkraftabhängiges Fließverhalten

Stelle man sich eine Zahnpasta mit newtonschem Fließverhalten vor. Entweder sie ließe sich nicht aus der Tube pressen - oder sie würde zwischen die Borsten der Bürste fließen, bevor diese im Mund ist. Auch Anstrichfarben für Wände und Möbel sollten pseudoplastisch sein. Dann kann man den Pinsel in die Farbdose tauchen, eine gute Farbmenge damit herausholen, ohne dass sie sofort hinuntertropft. Beim Streichen soll die Viskosität wieder niedrig sein, damit es leicht geht und die Oberfläche schnell glatt verfließt. Sobald die Scherwirkung des Pinsels weg ist, sollte die Farbe möglichst immobil werden, also hochviskos. Sonst verläuft sie in hässlichen Nasen.

Das Gegenteil von pseudoplastisch ist „scherverdickend“. Es wird als dilatant bezeichnet, wörtlich übersetzt „sich ausdehnend“. Dilatanz ist äußerst selten zu finden. So gibt es Zauberkneten für Kinder, die beim Kneten nicht weich werden wie die üblichen, sondern sich nur bei geringer Kraft weich verformen lassen. Sobald man sie schnell verbiegt, brechen sie mit glatter Bruchfläche auseinander. In einer Fernsehsendung wurde auch einmal eine dilatante Stärkelösung in einem Becken vorgeführt. Eine Person konnte darüber laufen, indem sie mit schnellen Trippelschritten immer starke Scherkräfte ausübte. Wenn man ruhig darüber gehen wollte, sank man ein. Abb. 10 zeigt die entsprechenden Rheogramme.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

## 7. Zeitabhängige Muster

Streng genommen sind auch rein pseudoplastische Körper selten. Diese Eigenschaft verlangt nämlich vollständige Reversibilität ohne zeitliche Verzögerungen. Wenn man in einem Rheogramm die Schergeschwindigkeit über einen Bereich steigert, steigt man die blaue Kurve 1 aus Abb. 10 hinauf. Sobald man aber die Scherung wieder verlangsamt, sollte man auch auf genau dem gleichen Kurvenverlauf wieder herunterfahren. Das ist schwer zu finden. Die Kurve kehrt meistens nicht in sich selbst zurück, sondern wie durch Trägheit etwas verschoben. In der Physik nennt man diese verzögerte Rückkehr „Hysterese“, das Zurückbleiben einer Wirkung hinter der sie verursachenden veränderlichen Größe. In Abb. 11 gibt die blaue Kurve den Messverlauf vom Anfang zum Umkehrpunkt wieder. Danach regelt man die Schergeschwindigkeit schrittweise wieder herunter und folgt dem roten Kurventeil. Die gelb markierte Fläche gibt ein Maß für das Nachhängen.

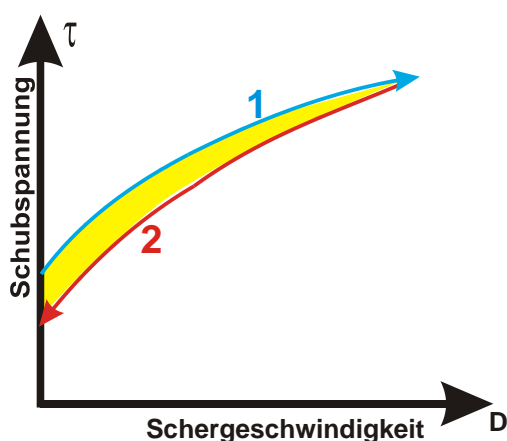


Abb. 11, Hysterese einer Schermessung an einer thixotropen Substanz

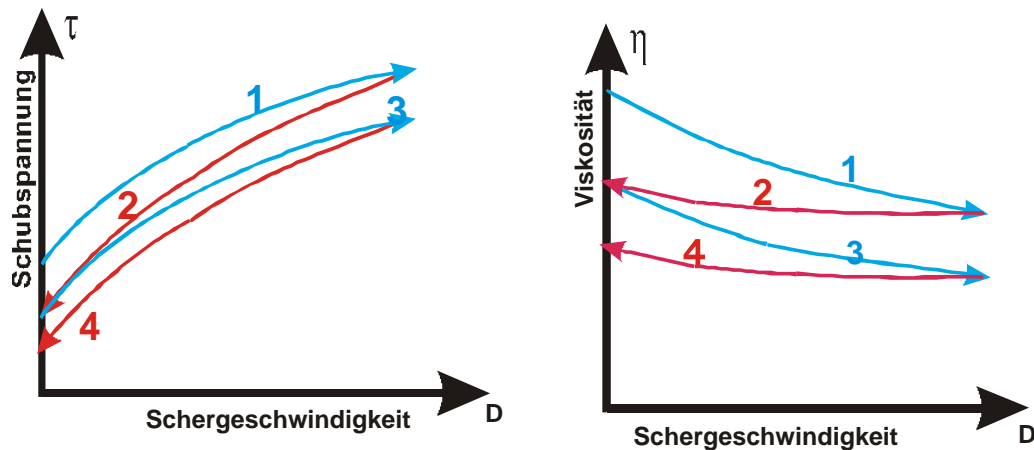


Abb. 12, wiederkehrende Scherversuche an einer thixotropen Substanz

Wiederholungen von Messzyklen führen zu immer weiter verschobenen Kurven. Erst eine Ruhezeit gibt wieder die Anfangsbedingungen. Zur reproduzierbaren Messung einer solchen thixotropen Substanz wird man also ein Programm auflegen, in dem zuerst stark vorgeschert, dann eine definierte Ruhephase eingelegt und erst dann der Messzyklus ausgeführt wird. Die zeitabhängige Viskositätserniedrigung unter Scherung bezeichnen wir als Thixotropie. Das Gegenteil von Thixotropie heißt Rheopexie, ebenfalls sehr rar wie die scherverdickende Dilatanz.

Wenn man genau hinschaut, wird man in diesem Zusammenhang immer kombinierte scher- und zeit-gesteuerte Prozesse finden. Deshalb wundert es wenig, wenn in der Messpraxis beide Einflüsse, die zeitlichen und die scherkraftabhängigen, meistens zusammen betrachtet werden. Man unterscheidet oft nicht zwischen Dilatanz und Rheopexie. Lediglich zwischen Pseudoplastizität und Thixotropie machen einige Fachleute einen Unterschied. Danach bezeichnen sie solche Medien als pseudoplastisch, die keine Fließgrenze besitzen (aber dennoch meist eine Hysterese), die also auch bei niedrigen Scherkräften noch fließen. Medien dagegen, die nach einer längeren Ruhepause z. B. gelartig eindicken, werden dann als thixotrop bezeichnet. Fachlich ist die Benennung durchaus nicht so beliebig, wie sie oft angewendet wird. Aber, wie in anderen Fällen (beispielsweise Trocknung und Härtung) macht es sich die technische Praxis gerne einfach.

Thixotropie ist für viele technische Prozesse ganz vorteilhaft - wie bei der Pseudoplastizität beschrieben. Sie kann aber auch nachteilig sein, z. B. bei einigen Bogenoffsetfarben, wenn diese eine deutliche Fähigkeit zum Eindicken haben. Dann füllt der Drucker seinen Farbkasten randvoll und denkt, er kann sich während des Druckes anderen Dingen widmen. Die Farbe dickt aber immer weiter ein, bis sie auf der schrägen Ebene des Farbwerkes stehen bleibt und nicht mehr nachfließt. Dann fehlt plötzlich Gelb auf den Bögen, obwohl doch genug Farbe eingefüllt ist. Eine Kontrolle der Thixotropie bei der Farbherstellung hätte die Panne verhindert.

Interessanterweise gibt es einige Sonderfarben, bei denen die Pigmente ein so thixotropes Verhalten bewirken, dass ohne Herabsetzung der Pigmentkonzentration das Stehenbleiben im Kasten nicht vermieden werden kann, z. B. bei einigen Gelbs.

Ein beliebtes Missverständnis in der Praxis kommt aus dem Absinken der Viskosität mit steigender Temperatur. So erwartet man, dass auch die Tendenz zum Stehenbleiben im Kasten im Sommer geringer sei als im Winter, weil ja alles besser fließt. Das Gegenteil ist der Fall: Gerade bei hohen Temperaturen im Drucksaal kann die Thixotropie sich bei bisher unauffälligen Ansätzen plötzlich zeigen. Das Eindicken geschieht nämlich meist über die Bildung von Strukturen mit schwachen bindungsähnlichen Verhältnissen. So eine Strukturbildung geht - wie jeder chemische Prozess - immer schneller, je höher die Temperatur liegt. Dann muss der Drucker die Farbe im Kasten hin und wieder „anschieben“, also zur Dukturwalze hin durchspachteln. Frisch gespachtelt ist sie in der Wärme sehr gut fließend, nach einer Viertelstunde möglicherweise aber bereits wieder eingedickt.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

## 8. Zügigkeit und ihre Messung

Nach der Viskosität ist für Druckfarben und Druckprozesse die Zügigkeit die nächste wichtige rheologische Eigenschaft. Sie soll den inneren Zusammenhalt einer Farbe beschreiben, die Kohäsion. Im Englischen wird sie als „tack“ bezeichnet. Dieser Ausdruck ist wie viele andere ins technische Neudeutsch eingezogen.

Wenn wir uns den Moment vorstellen, in dem der soeben bedruckte Bogen sich vom Gummituch trennt, kann man leicht einsehen, dass Farben mit hohem Tack dem Bogen größere Probleme bereiten als solche mit niedrigem. Wenn die Farbschicht sehr gut zusammenhält, sich also der Trennung in zwei Schichten widersetzt, werden große Rupfkräfte auf den Bogen ausgeübt. Wir können damit auch erwarten, dass das matschige Emulgat des Offset auf einem weichen Bedruckstoff weniger Rupfprobleme bringt als der frühere Buchdruck. Die einemulgierten Wassertröpfchen stellen vorbereitete Trennstellen dar, weil Wasser viel weniger in sich zusammenhält als Farbe. Es hat eine niedrigere Zügigkeit oder Kohäsion, physikalisch ausgedrückt.

Die zweite Komponente innerhalb des Begriffes „Klebrigkeit“, die Adhäsion, soll hier aus der Betrachtung herausgelassen werden, weil sie eher den Benetzungsvorgängen zugeordnet werden muss als der Rheologie.

Eine zügige Farbe wird auch „lang“ genannt, weil sie bei der Spaltung einen langen Faden bildet. Butterige Farben heißen konsequenterweise dann „kurz“.

Die Zügigkeit hat nicht nur dort Bedeutung, wo Rupf- oder Zugkräfte auftreten. Sie ist wichtig für alle Spaltvorgänge in der Druckmaschine, also maßgeblich auch für den Farbtransport. Wenn man eine normalzügige Farbe in einem Offsetfarbwerk gegen eine zügigere einwechselt, wird bei sonst unveränderter Maschineneinstellung eine höhere optische Dichte gedruckt werden. Die zügigere Farbe spaltet besser als die weniger zügige, wird also besser auf den Bedruckstoff übertragen. Und wenn der Farbübertrag vom Gummituch zum Papier z. B. 48% der Farbschicht im Nip beträgt und nicht nur 40%, dann wird sich der Farbstrom vom Farbwerk her schneller bewegen, obwohl die Öffnung des Farbkasten unverändert ist. In der Praxis wird eine solche Farbe dann oft als farbstärker, also höher pigmentiert, gewertet. Das ist natürlich ein Missverständnis.

Schon schwerer zu verstehen, aber dennoch wichtig, ist der Einfluss der Zügigkeit auf die Emulsionsbildung und den -zerfall.

Die Zügigkeit wird oft mit der Viskosität in einen Topf geworfen. Das kann man nachvollziehen, weil ganz oft eine weichere, besser fließende Farbe auch niedriger zügig ist. Der Gleichgang beider Größen gilt jedoch nur in homologen Systemen. Wenn man also eine sehr zügige Farbe nimmt und sie schrittweise mit Mineralöl verdünnt, dann werden beide Größen sinken, sowohl die Viskosität, als auch die Zügigkeit. Wenn man aber zwei Farben mit ganz unterschiedlich zusammengesetzten Bindemitteln bereitet, kann man leicht eine fließende Farbe mit hoher Zügigkeit herstellen - und eine sehr viskose und kurze. Die Viskosität wird eben von der inneren Reibung gelenkt und die Zügigkeit vom molekularen Zusammenhalt.

Wer bringt denn nun die Zügigkeit in die Farbe? Hauptverursacher ist das Bindemittel. Wenn das Bindemittel aus kurzen Molekülen besteht, z. B. Hartharz und viel Mineralöl, dann werden die großen suspendierten Partikel (Pigmentkristalle, Harzpartikel usw.) bestenfalls eine hohe Viskosität bewirken. Aber es gibt wenig Anlass für einen guten, zähen Zusammenhalt. Wenn wir jedoch viele mittelviskose Pflanzenöle und Alkydharze nehmen, die aus langem, sich verwindenden und verknäuelnden Kettenmolekülen bestehen, und wenn diese Molekülketten mit ihren polaren Teilen auch noch gut an den suspendierten Partikeln haften, dann kann eine Farbe bei gleicher Viskosität wie eine andere jedoch einen viel stärkeren Zusammenhalt haben. Der Feinbau des Bindemittels regelt also das Verhältnis der beiden rheologischen Größen.

Welche Auswirkung hat nun die Zügigkeit auf den Offsetdruckprozess - außer der Rupfneigung? Wenn es nur ums Rupfen ginge, sollte sie möglichst niedrig sein. Dann hätte man doch keine Probleme.

Eine niedrigzügige Farbe hat jedoch auch Nachteile: sie spaltet nicht so gut durch die Maschine und bildet ungünstig verteilte Emulsionströpfchen mit dem Wasser. Das Druckverhalten wird empfindlich und kompliziert von der Zügigkeit beeinflusst. Es ist im Lithoverhalten nun gerade vorteilhaft, eine möglichst zügige Farbe zu haben. Dies geht von der Emulsionsbildung bis mitten in die Konkurrenz zwischen druckenden und bildfreien Stellen auf der Platte: Je zügiger die Farbe, desto spitzer drückt der Punkt. Man wird also gerne die höchste tolerierbare Zügigkeit wählen.

In einer konventionellen Offsetdruckmaschine kann der ganze Skalenfarbsatz (Schwarz + Cyan + Magenta + Gelb) mit gleicher Zügigkeit eingestellt werden. Das wird ermöglicht, weil beim Nass - in - Nass - Zusammendruck der Zügigkeitssprung vom Emulgat zur reinen Farbe eine gute Farbanahme garantiert. Dadurch kann man einmal unter besonderen Umständen die Farbenreihenfolge in der Maschine von der standardisierten Version TCMY abändern - und erhält immer noch einen vernünftigen, wenn auch etwas abgeänderten Zusammendruck. Jedoch ohne Wasser und Emulgat geht dies nicht. Im wasserlosen Offset sollte man also streng bei der vorgeschriebenen Farbenreihenfolge bleiben, oder man muss sich speziell in der Zügigkeit abgestimmte Farben besorgen. In einer Vierfarbenmaschine muss immer im ersten Werk die zügigste Farbe gedruckt

werden, dann die nächstzügige usw. Deshalb muss ein Skalensatz für den wasserlosen Offset konsequent abgestufte Zügigkeiten aufweisen, wie damals beim Buchdruck.

Die Zügigkeit ist eine Größe, die praktisch nur in Druckanwendungen bewusst berücksichtigt wird. Deshalb gibt es nur wenige verschiedene Messgeräte.

Im einfachsten Fall nimmt der erfahrene Drucker etwas Farbe zwischen Daumen und Zeigefinger und drückt sie mehrmals aneinander und zieht sie auseinander. Dabei gibt eine zügigere Farbe ein lauterer Schmatzgeräusch als eine niedrigzügige. Schon die Verfahrensbeschreibung sagt uns, dass diese Methode nur bei ständiger Routine brauchbar ist und eine Kalibrationschwäche besitzen muss. In den anderen Fällen verwendet man eine Art Walzenstuhl aus drei Walzen, auf denen eine bestimmte Farbmenge verteilt wird, s. Abb. 13. Die oberste Walze ist mit Kraftaufnehmern verbunden, die ihre Auslenkung in Umlaufrichtung wie Federn bestimmen. Je zügiger eine Farbe ist, desto weniger will sie sich spalten nach dem Nip, hält also zusammen. Dieser Widerstand bewirkt ein Mitschleppen der obersten Walze, also eine Auslenkung gegen den Federzug.

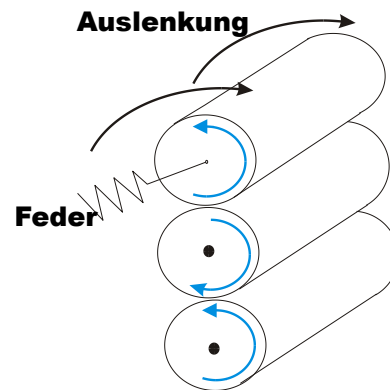
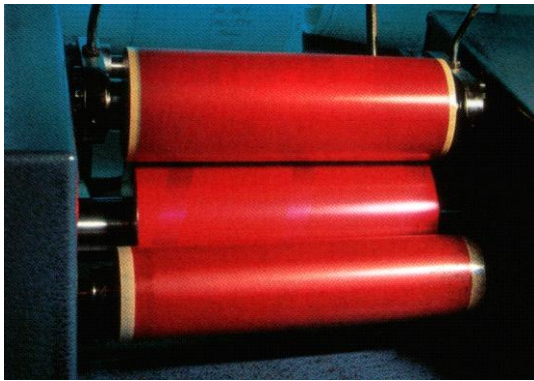


Abb. 13, Messung der Zügigkeit mit dem Tack - o - Scope

Diese Auslenkkraft wird vom Messgerät in Skalenteilen angegeben. Es ist in der Praxis noch nicht einmal üblich, diese Werte in physikalische Messgrößen umzurechnen. Man gibt einfach so genannte IK - Werte an mit Zahlen von 3 bis 12 im Falle des Inkomat von Fa. Prüfbau. Dort hat ein typisches Heatset - Cyan 6 IK. Ein Cyan für Bogenoffset habe dann 10 IK - Einheiten. Die in der Maschine auftretenden Emulsionen weisen Werte deutlich unter 1 IK auf, liegen also dramatisch tiefer. Deshalb die gute Farbannahme nass - in - nass im Offsetdruck.

Es gibt in der Praxis noch häufig das Tack - o - Scope aus USA. Es liefert Messzahlen von 50 bis 200, also nicht verwechselbar mit denen des Inkomaten.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)

## 9. Elastizität in Druckfarben

Beim Material der Walzen und Gummitücher ist die Elastizität klar ein wichtiges Maß. Warum sie jedoch in der Rheologie eine Rolle spielen soll, kann man weniger leicht einsehen. Am leichtesten mag es sein, wenn wir uns Götterspeise, ein Gel, vorstellen. Hier merkt man schon auf dem Teller,

dass elastische Eigenschaften vorhanden sind. Wenn wir eine Götterspeise durchrühren und somit in eine echte Flüssigkeit verwandeln, bleiben noch immer viele lokal begrenzte Bereiche fühlbar elastisch. Wir müssen uns also vorstellen, dass bei der mechanischen Einwirkung auf eine Flüssigkeit ein Teil der Energie auch in elastische Verformung umgesetzt werden kann, der bei Nachlassen der mechanischen Einwirkung eine lokale Rückstellung bewirkt. Nicht immer muss das deutlich sichtbar sein. Es gibt viele Fälle bei Bindemitteln, bei denen eine gute und empfindliche Messapparatur diese elastischen Anteile erfassen und ein Computerprogramm sie herausarbeiten kann. Solche Messungen haben wichtige Fortschritte gebracht für die Verdruckbarkeit von Offsetfarben, z. B. für die Verringerung ihrer Neigung zu nebeln: Die Farbfäden sollten während der Farbspaltung gleich nach dem Nip zwischen zwei Walzen in der Mitte reißen und jede Hälfte in ihre Schicht zurückfallen. Wenn ein Faden an mehreren Stellen reißt, entstehen winzige Tröpfchen, die von der Zentrifugalkraft weggeschleudert werden.

Das elastische Verhalten und die komplexe Viskosität sind in modernen Rheometern erfassbar. Man verwendet für Offsetfarben meist so genannte Kegel - Platte - Messgeräte, s-. Abb. 14. Wenn die Messprobe nicht zu flüssig ist, funktioniert die Messung gut ohne Eindrehen von Luft oder Herausfließen. Eine Spatelspitze der Farbe wird auf den Teller (Platte) gegeben und der Kegelhalter so weit hinuntergefahren, bis seine Kegelspitze gerade die Platte berührt.

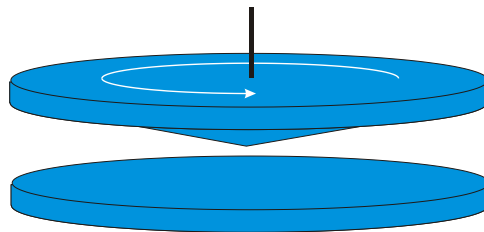


Abb. 14, Messprinzip eines Kegel - Platte - Rheometers

Wenn jetzt die überstehende Farbe abgestreift ist und der Kegel zu rotieren beginnt, kann ein hochempfindliches Messgerät den Drehwiderstand (--> Schubspannung) messen. Der Drehmotor des Kegels kann je nach Messprogramm langsam oder schneller drehen, anhalten und sogar seine Drehrichtung rhythmisch ändern, also den Kegel oszillieren lassen. Aus solchen Messungen kann man sehr genau und über die unterschiedlichsten Behandlungen schon recht komplexe rheologische Eigenschaften bestimmen. Man kann auch Haltezeiten einlegen und damit definiert Gelegenheit z. B. zur Gelstrukturbildung geben. Solche Rheometer verbinden komplexe Messmöglichkeiten mit einfachster Bedienung. Der qualifizierte Spezialist kann sich maßgeschneidert die Bereiche herausuchen, die für einen wichtigen Aspekt der Farbe in Frage kommen und in Messungen praxisnahe Zeit- und Temperaturbedingungen anwenden. Dann kann er ein Messprogramm so weit automatisieren, dass angelerntes Personal hochgenaue Routinemessungen ausführen kann. Der Kegelwinkel in Abb. 14 ist zur Verdeutlichung weit übertrieben. In Wirklichkeit sind es minimale Winkel, z. B. 0,5 oder 2 Winkelgrad.

[↑ zum Inhaltsverzeichnis](#)