

Verfasser: Siegfried Heckl

Freigabe: Mai 2008



VM / Dr. Alexander Risch

Vergleichende
Untersuchung an hellen
Füllstoffen in einem
hydroxylgruppenhaltigen
Polyester

RHEOLOGIE

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Produktgruppen **Sillitin**, **Sillikolloid** und **Aktisil** hinsichtlich ihres rheologischen Verhaltens mit im Farben- und Lacksektor gebräuchlichen Füllstoffen verglichen, unterteilt in Strukturgruppen: isotrope und anisotrope Füllstoffe sowie Neuburger Kieselerde.

Sämtliche Messungen wurden mit einem stufenlos einstellbaren Rotationsviskosimeter durchgeführt. Die Viskosität der Produkte wurde konzentrations- und schergeschwindigkeitsabhängig gemessen und dargestellt. Die Viskositätsanomalien (Strukturviskosität, Dilatanz, Thixotropie, Rheopexie und Fließgrenze) wurden gesondert ausgewertet.

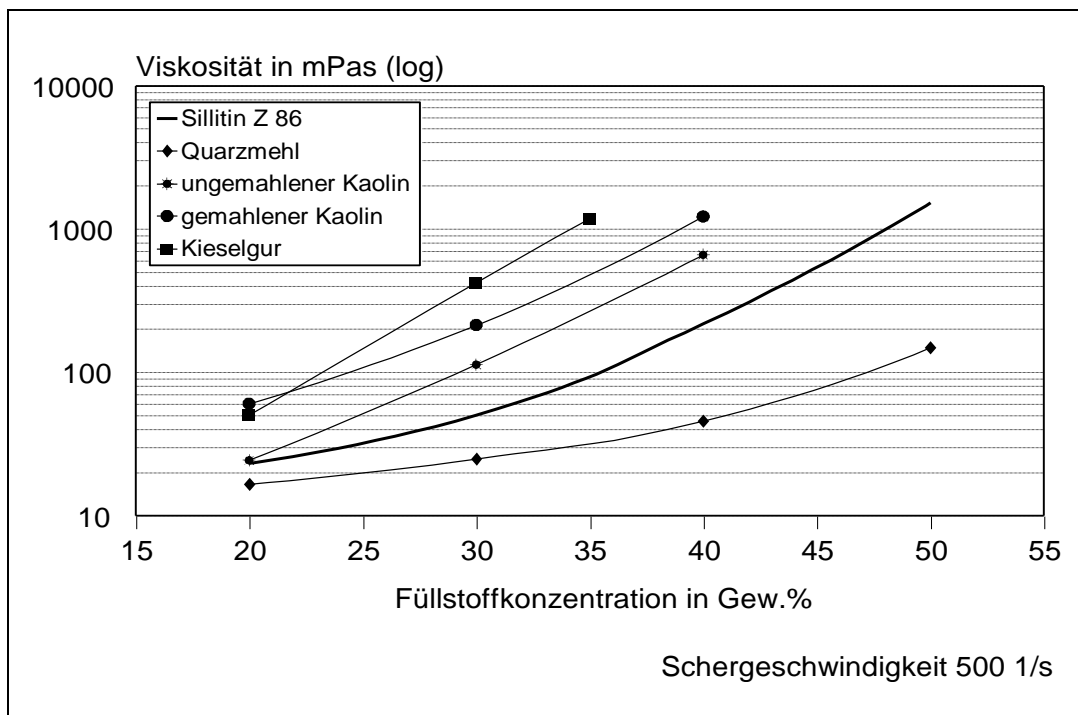


Abb. 1 Viskositätskurven

In Abb. 1 ist zu erkennen, dass die Neuburger Kieselerde hinsichtlich des rheologischen Verhalten zwischen seinen mineralischen Bestandteilen (Kieselsäure und Kaolin) liegt. Interessant ist die Erkenntnis, dass aus der Partikelstruktur der Füllstoffe keine Voraussage auf das rheologische Verhalten gemacht werden kann. Die Korngrößenverteilung und die Oberfläche haben meistens einen größeren Einfluss auf das rheologische Verhalten als die Kristallstruktur des Füllstoffes.

Die oberflächenbehandelten (gecoateten) Typen der Neuburger Kieselerde, die **Aktisil**-Typen, weichen in ihrem Viskositätsverhalten nicht wesentlich vom Basismaterial **Sillitin Z 86** ab. Eine Ausnahme ist **Aktisil MAM**, welches im gesamten Bereich wesentlich niedrigere Viskositäten erreicht. Die Unterschiede sind auf das Ausgangsmaterial **Sillitin V 88** zurückzuführen. Bei den Viskositätsanomalien zeigt **Aktisil MAM** die geringsten Werte aller **Aktisil**-Typen.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen
2	Aufgabenstellung
3	Versuchsdurchführung
3.1	Rohstoffkennwerte
3.2	Dispersionsherstellung
3.3	Gerät und Meßmethode
4	Rheologische Untersuchungen
4.1	Viskositätskurven
4.1.1	Isotrope Füllstoffe
4.1.2	Anisotrope Füllstoffe
4.1.3	Neuburger Kieselerde
4.1.3.1	Sillitin, Sillikolloid
4.1.3.2	Aktisil
4.2	Rheologische Effekte
4.2.1	Isotrope Füllstoffe
4.2.2	Anisotrope Füllstoffe
4.2.3	Neuburger Kieselerde
4.2.3.1	Sillitin, Sillikolloid
4.2.3.2	Aktisil

1 Grundlagen

Dem Hersteller von Anstrich- und Klebstoffen wie auch Dichtmassen bietet sich eine ständig wachsende Palette von Füllstoffen für die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete.

Zu Beginn der Lack-, Kunststoff- und Kautschukentwicklung dienten Füllstoffe vorrangig zum "Füllen" (verbilligen) der teuren Polymere. Dieser rein ökonomische Aspekt hat bis heute nichts von seiner Bedeutung verloren. Mit Zunahme des Ökologie- und Qualitätsbewusstseins hat sich jedoch die Komplexität erweitert. Dies hat eine zunehmende Spezialisierung und Erhöhung der Ansprüche an Anstrichstoffe, Klebstoffe und Dichtmassen zur Folge. Dadurch wandeln und erweitern sich die Anforderungen an die eingesetzten Füllstoffe. Sie dienen nicht mehr nur zur Verbilligung der Rezepturen, sondern sollen auch die physikalischen und/oder optischen Eigenschaften der Rezepturen verbessern. Das zeigt sich auch darin, dass Füllstoffe durch Oberflächenbehandlung mit Silanen oder anderen Substanzen gezielt zur Verbesserung der Eigenschaften modifiziert werden.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Arbeiten wurden vergleichende Untersuchungen an hellen Füllstoffen in einem hydroxylgruppenhaltigen Polyester durchgeführt. Damit will Hoffmann Mineral den Entwicklern ein Hilfsmittel zur Verfügung stellen, welches ihnen erlaubt, eine Vorauswahl der Füllstoffe hinsichtlich des rheologischen Verhaltens zu treffen.

Durch die Auswahl typischer Vertreter der einzelnen Füllstoffklassen wurde ein breites Spektrum möglicher Füllstofftypen abgehandelt. Der Scherbereich wurde den in der Praxis auftretenden Bedingungen bei der Verarbeitung weitgehend angepasst.

Es wurde untersucht, wie sich die Neuburger Kieselerde mit ihrer besonderen Struktur (Kieselsäure-Kaolinit-Gemisch) in die verschiedenen Füllstoffklassen einordnet. Deshalb wurde das gesamte Spektrum der Neuburger Kieselerde, vom **Sillitin V 85** bis zum **Sillikolloid P 87** einschließlich der **puriss**-Typen sowie die oberflächenbehandelten **Aktisil**-Typen untersucht.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Rohstoffkennwerte

In den Tabellen 1 bis 4 sind die für Lackhersteller wichtigsten physikalischen Füllstoffkennwerte zusammengestellt. **Die Angaben dienen lediglich als Richtwerte.**

Zur übersichtlicheren Darstellung erfolgte eine Untergliederung der Füllstoffe in Strukturgruppen.

- Isotrope Füllstoffe (Kreide, Calcit, Schwerspat, calc. Kaolin, Kieselgur, Quarzmehl)

Füllstoffe mit weitgehend gleichmäßiger dreidimensionaler Partikelstruktur.

- Anisotrope Füllstoffe (Talkum, Kaolin, Glimmer, Wollastonit)

Füllstoffe mit faseriger oder plättchenförmiger (lamellarer) Struktur.

- Neuburger Kieselerde (Sillitin, Sillikolloid, Aktisil)

bildet eine eigene Gruppe, kann aber den isotropen Füllstoffen zugeordnet werden, da sich der plättchenförmige Kaolin durch die zwischengelagerten Kieselsäureteilchen nicht ausrichten kann.

Messmethoden der Helligkeit

Die Helligkeit Y und Z wurde einmal nach DIN 53 163 mit einem Spektralphotometer, Lichtart D 65/10°, Beobachtungswinkel d/8° bestimmt (Mini-Scan von Hunterlab). Des weiteren wurde die Helligkeit Y mit einem Dreibereichsmessgerät, Lichtart C, Beobachtungswinkel 45°/0 ermittelt (D 25-9 von Hunterlab).

Isotrope Füllstoffe

Diese Füllstoffe zeichnen sich durch eine weitgehend kubische bis sphärische Struktur aus. Im Verbund mit der Polymermatrix ergeben sich keine verarbeitungsbedingten Vorzugsrichtungen von Gebrauchswerteigenschaften.

Füllstoff	Ölzahl in g/100g	Korn- größe d ₅₀ in µm	Helligkeit			pH-Wert	Preisindex Sillitin Z 86 = 1,0
			Y (45°)	Y (DIN 53 163)	Z (DIN 53 163)		
Kreide	18	2,0	88	85	85	9	0,2
Calcit	18	1,5	94	92	95	9	0,8
Schwerspat	12	1,1	95	93	99	---	1,5
calc. Kaolin	80	4,0	90	94	98	6,5	1,5
Kieselgur	132	6,0	88	94	100	10,0	5,1
Quarzmehl	31	3,0	90	88	93	7	0,9

Tabelle 1

Anisotrope Füllstoffe

Mit anisotropen Mineralien gefüllte Polymere weisen nach Verarbeitungsprozessen, bei denen Scherkräfte auftreten mehr oder weniger große Richtungsabhängigkeiten der physikalischen Eigenschaften auf.

Füllstoff	Ölzahl in g/100g	Korn- größe d ₅₀ in µm	Helligkeit			pH-Wert	Preisindex Sillitin Z 86 = 1,0
			Y (45°)	Y (DIN 53 163)	Z (DIN 53 163)		
Talkum grob	32	10,0	87	86	92	9,3	2,0
Talkum fein	40	2,8	79	80	84	9,5	1,6
Kaolin ungemahlen	55	---	---	77	75	4,5	1,4
Kaolin gemahlen	39	0,6	87	89	90	4,0	2,6
Glimmer	48	8,0	79	80	80	8,4	3,6
Wollastonit	32	3,4	88	91	96	9,8	2,3

Tabelle 2

Neuburger Kieselerde

Sillitin und Sillikolloid

Die Typen der Neuburger Kieselerde werden zum einen nach ihrer Korngröße und zum anderen nach ihrer Helligkeit klassifiziert, wobei der Buchstabe in der Produktbezeichnung (V, N, Z, und P) die Korngröße charakterisiert und der Zahlenwert die Helligkeit Y (45°/0) ausdrückt.

Füllstoff	Ölzahl in g/100g	Korn- größe d ₅₀ in µm	Helligkeit			pH-Wert	Preisindex Sillitin Z 86 = 1,0
			Y (45°)	Y (DIN 53 163)	Z (DIN 53 163)		
Sillitin V 85	45	3,0	85	83	79	8,0	0,8
Sillitin N 82	45	2,3	82	80	71	8,0	0,8
<i>Sillitin N 85</i> *	45	2,3	85	84	79	8,0	0,9
<i>Sillitin Z 86</i> *	50	1,8	86	84	79	8,2	1,0
<i>Sillitin Z 89</i> *	50	1,8	89	89	89	8,5	1,2
Sillikolloid P 82	50	1,6	82	79	70	8,2	1,6
<i>Sillikolloid P 87</i> *	50	1,6	87	85	80	8,2	1,6

Tabelle 3

* auch als **puriss**-Version lieferbar

puriss-Versionen

Die *puriss*-Versionen der Neuburger Kieselerte werden einem nachgeschaltetem Windsichtungsprozess unterworfen, um den ohnehin schon extrem niedrigen Gritanteil (Überkornanteil) gegenüber den Standardtypen um ca. 90 % zu senken.

Dies vermindert die Abrasionswirkung dieser Produktreihe deutlich und schont die Verarbeitungsgeräte (z.B. Airless-Spritzgeräte) der Anwender. Die übrigen anwendungstechnischen Eigenschaften sind identisch mit denen der Basismaterialien. Die *puriss*-Versionen sind besonders bei sehr dünnen Lackschichten zu empfehlen!

Die Ergebnisse wurden in den Grafiken nicht dargestellt, da sie identisch zu den Standard-Typen sind.

Aktisil

Bei den aufgeführten **Aktisil**-Typen handelt es sich um aktiviertes **Sillitin Z 86**, die durch die Modifizierung der Oberfläche mit organofunktionellen Haftvermittlern oder durch Hydrophobierung entstanden sind. Für **Aktisil MAM** wurde **Sillitin V 88** als Basismaterial verwendet.

- **Aktisil EM** mit epoxifunktionellem Silan gecoatet
- **Aktisil MM** mit mercaptofunktionellem Silan gecoatet
- **Aktisil MAM** mit Methacrylsilan gecoatet
- **Aktisil VM 56** mit Vinylsilan gecoatet
- **Aktisil PF 224** mit Fettsäure und Fettamin gecoatet
- **Aktisil PF 231** mit Stearinsäure gecoatet

Füllstoff	Ölzahl in g/100g	Korn- größe d ₅₀ in µm	Helligkeit			pH-Wert	Preisindex Sillitin Z 86 = 1,0
			Y (45°)	Y (DIN 53 163)	Z (DIN 53 163)		
AKTISIL EM	50	1,8	86	84	78	8,5	2,5
AKTISIL MM	50	1,8	86	84	78	7,3	2,3
AKTISIL MAM	40	3,3	88	88	87	7,9	3,8
AKTISIL VM 56	50	1,8	86	83	77	7,8	1,8
AKTISIL PF 224	50	1,8	86	84	75	6,1	2,5
AKTISIL PF 231	50	1,8	86	84	77	6,4	2,9

Tabelle 4

3.2 Dispersionsherstellung

Die Füllstoffdispersionen wurden mit einem Labordissolver mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 10 bis 15 m/s 20 min dispergiert. Die Füllstoffdispersionen wurden 24 h gelagert, damit sich Viskositätsanomalien (Thixotropie und Strukturviskosität) wieder ausbilden können. Nach kurzem Homogenisieren wurden die Fließkurven aufgezeichnet.

3.3 Gerät und Messmethode

Die Messungen erfolgten mit einem Rotationsviskosimeter, das aus folgenden Komponenten besteht:

Rheometer Messeinrichtung Viscolab LM
Rotations-Rheometer Viscolab LC 10
Fließkurven-Programmer Viscolab FP 10
X-Y Recorder PM 8043

Hersteller:
Physica Messtechnik GmbH u. Co. KG, Stuttgart

Je nach Viskositätsniveau der Proben wurden unterschiedliche Messsysteme ausgewählt. Tabelle 5 zeigt die Messbereiche.

Messsysteme	empfohlener Viskositätsbereich in Pas	Schergeschwindigkeitsbereich in 1/s	Schubspannungsbereich in Pa
MS-Z1 DIN (Doppelspaltmesssystem)	0,001 - 1	4,97 - 3979	0,676 - 67
MS-Z2 DIN	0,02 - 15	1,291 - 1033	1,958 - 195
MS-Z3 DIN	0,118 - 100	1,291 - 1033	11,42 - 1140
MS-Z4 DIN	0,672 - 500	1,291 - 1033	65,01 - 6500

Tabelle 5

Der Füllgrad der Dispersionen wurde bis zum Verlust der Fließfähigkeit (Abreißen der Strömung im Messgefäß) gesteigert. Die Abstufung erfolgte in 10 %-Schritten, bei höheren Füllgraden in 5 %-Schritten.

Die Prüftemperatur betrug $(23 \pm 0,1)$ °C. Die Aufnahme der Fließkurven erfolgte ohne Vorscherung (keine Rampenzeiten) mit:

- zunehmender Schergeschwindigkeit bis 500 s^{-1}

und

- abnehmender Schergeschwindigkeit von 500 bis 0 s^{-1}
- mit einer linearen Änderung von $4,17 \text{ s}^{-2}$.

Die Viskositätskurven wurden im Schergeschwindigkeitsintervall von $8,9$ bis 500 s^{-1} ausgewertet. Die Messungen erfolgten als Doppelbestimmung, wobei das Meßsystem jedes Mal neu befüllt wurde. Zur Auswertung der Viskosität wurden nur die Fließkurven mit steigender Schergeschwindigkeit (Aufwärtskurve) herangezogen. Die Abwärtskurve diente zur Bestimmung der Hysterese (Thixotropie bzw. Rheopexie) sowie der Fließgrenze.

4 Rheologische Untersuchungen

4.1 Viskositätskurven

Das **Sillitin Z 86** dient bei allen Grafiken als Vergleichsmaterial.

4.1.1 Isotrope Füllstoffe

Abb. 2 verdeutlicht die besondere Stellung, die der Schwerspat auf Grund seines hohen spezifischen Gewichtes und seines geringen Bindemittelbedarfs einnimmt. Während andere Füllstoffe maximal bis zu 50 Gew.% füllbar sind, verändert sich die Viskosität der Schwerspatdispersion bei dieser Füllhöhe nur unwesentlich. Da viele Farben nicht mehr nach Gewicht, sondern nach Volumen verkauft werden, ist höhere Füllbarkeit der Schwerspatrezepturen nur bedingt von Vorteil.

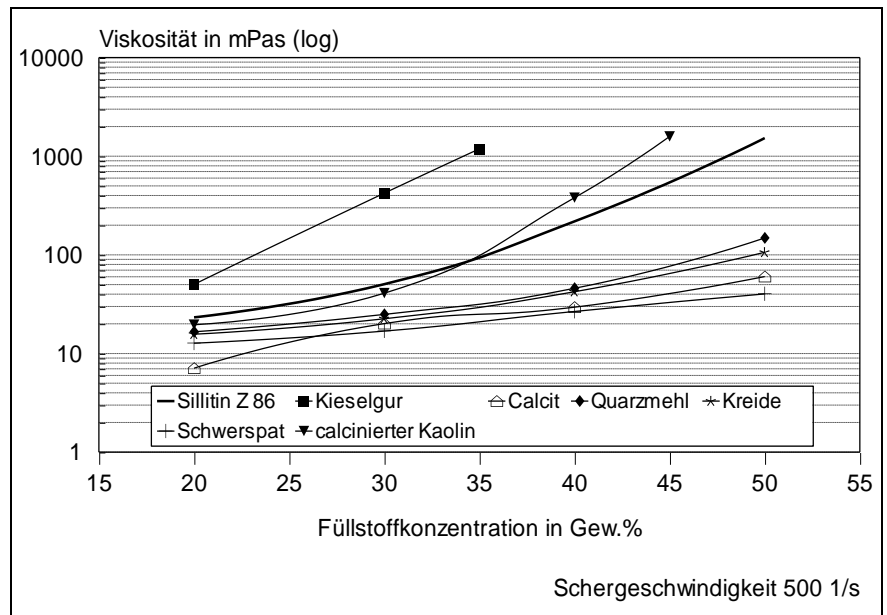


Abb. 2

Die meisten Füllstoffdispersionen zeigen im Schergeschwindigkeitsbereich bis 100 s^{-1} einen deutlich stärkeren Viskositätsabfall als im Bereich von 200 bis 500 s^{-1} (siehe Abbildung 3). Dieser ist beim calc. Kaolin weniger ausgeprägt und beim Calcit kaum vorhanden.

Sillitin Z 86 zeigt eine etwas größere Schergeschwindigkeitsabhängigkeit der Viskosität, die wahrscheinlich auf die besondere Struktur der Neuburger Kieselerde zurückzuführen ist. Kieselgur wurde in dieser Abbildung mit seiner maximalen Füllhöhe von 35 Gew.% berücksichtigt.

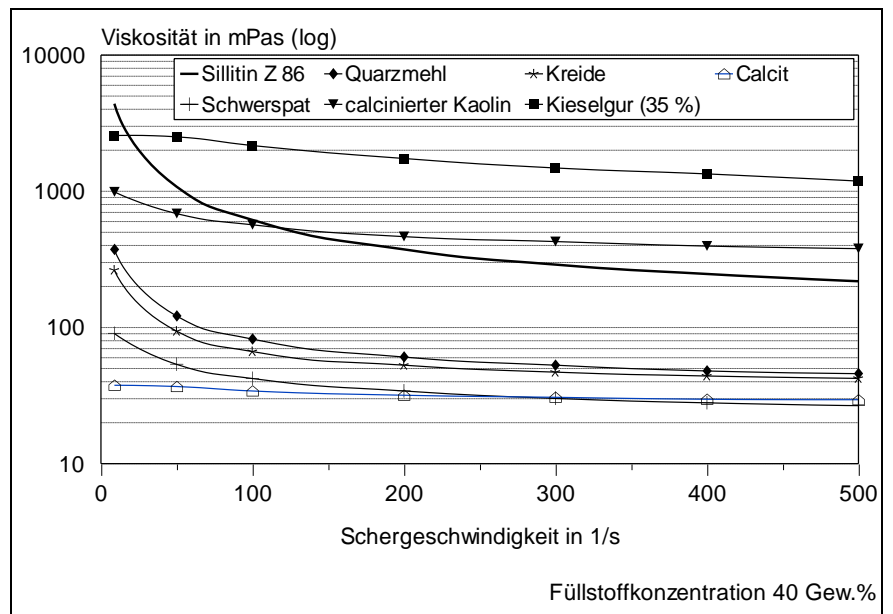


Abb. 3

4.1.2 Anisotrope Füllstoffe

Bei den anisotropen Füllstoffen (Abbildung 4) zeigt sich ein recht uneinheitliches Bild. Glimmer zeigt annähernd die gleiche Verdickungswirkung wie **Sillitin Z 86**. Der Wollastonit besitzt über den gesamten Konzentrationsbereich den geringsten Viskositätsanstieg. Die weiteren anisotropen Füllstoffe, feiner Talkum, sowie ungemahlener und gemahlener Kaolin weisen ein deutlich höheres Viskositätsniveau als die Neuburger Kieselerde auf. Ähnliches wird auch aus Abbildung 5, Betrachtung der Schergeschwindigkeitsabhängigkeit der Viskosität, ersichtlich.

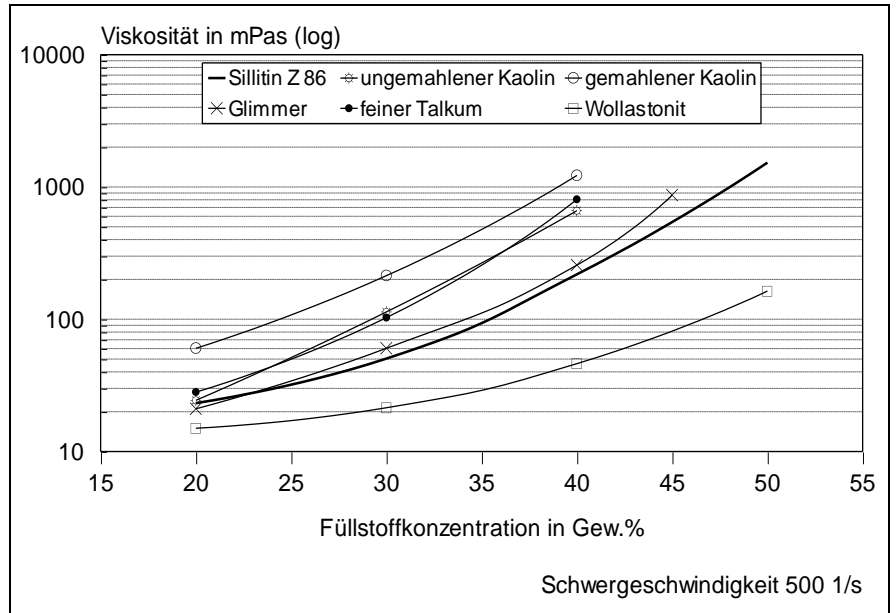


Abb. 4

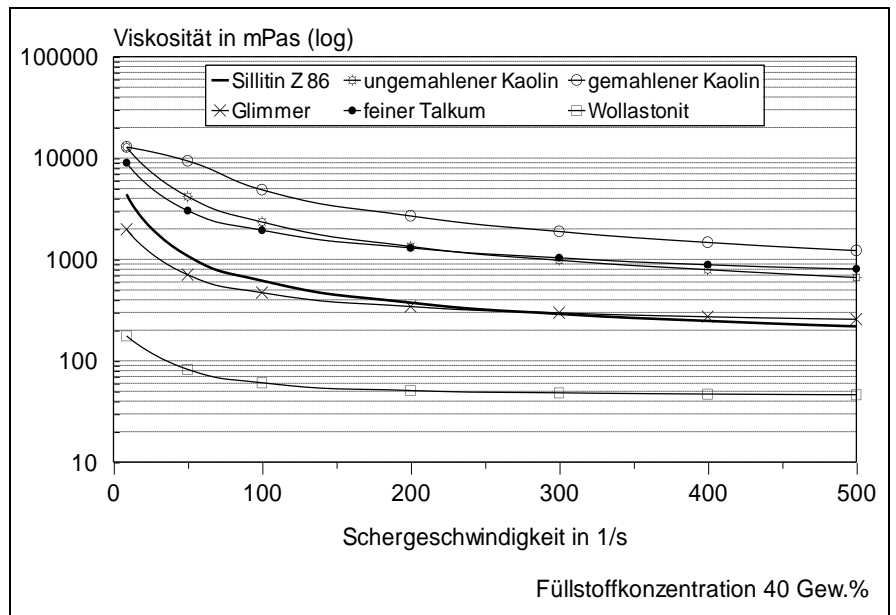


Abb. 5

4.1.3 Neuburger Kieselerde

Die besondere Partikelstruktur der Neuburger Kieselerde prägt entscheidend die anwendungstechnischen Eigenschaften. Sie ist im Gegensatz zu den rein lamellaren Füllstoffen, wie Talkum oder Kaolin, sehr leicht dispergierbar und bildet keine Füllstoffnester.

4.1.3.1 Sillitin und Sillikolloid

In den folgenden Diagrammen (Abb. 6 und 7) sind die Viskositätskurven der einzelnen Typen der Neuburger Kieselerde konzentrationsabhängig dargestellt.

Beim Vergleich der einzelnen Kurvenverläufe stellen sich einige nicht erwartete Effekte heraus. So liefern Produkte des gleichen Kornspektrums mit unterschiedlicher Helligkeit deutlich unterscheidbare Kurvenverläufe, die häufig näher an der benachbarten Korngrößenfraktion liegen. Besonders ausgeprägt ist der Unterschied bei den V- und N-Typen. Deutlich ist die stärkere Verdickungswirkung von **Sillikolloid P 87** erkennbar, welches sich nur bis 40 Gew.% ins Polymer einarbeiten lässt.

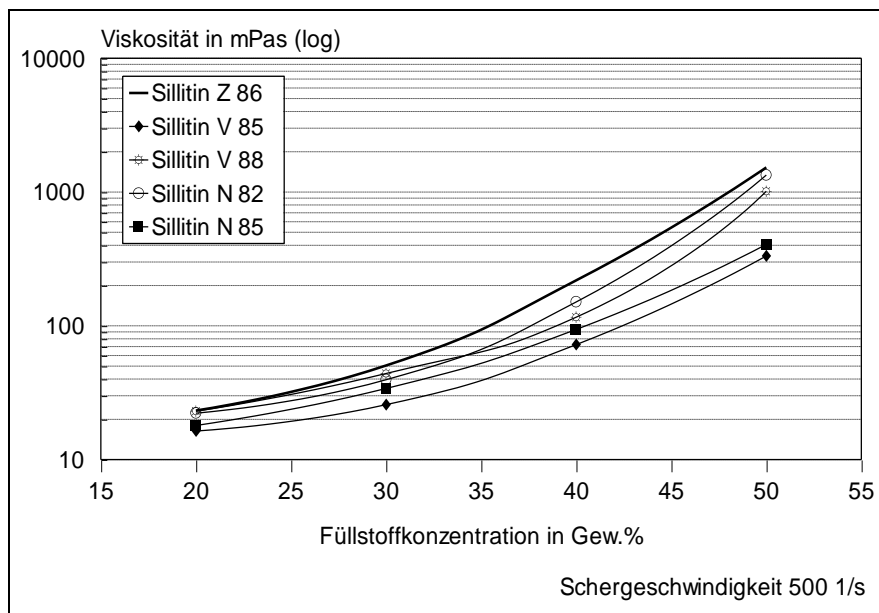


Abb. 6

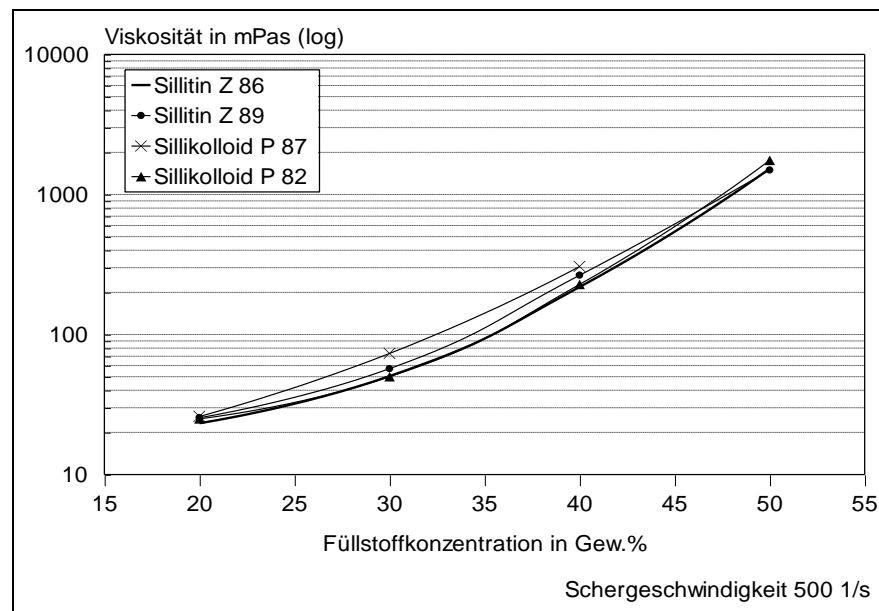


Abb. 7

In Abb. 8 sind die verschiedenen Typen der Neuburger Kieselerde, in Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit, bei einer Füllstoffkonzentration von 40 Gew.%, dargestellt. Alle Materialien weisen einen deutlichen Viskositätsanstieg bei Schergeschwindigkeiten unterhalb 100 s^{-1} auf.

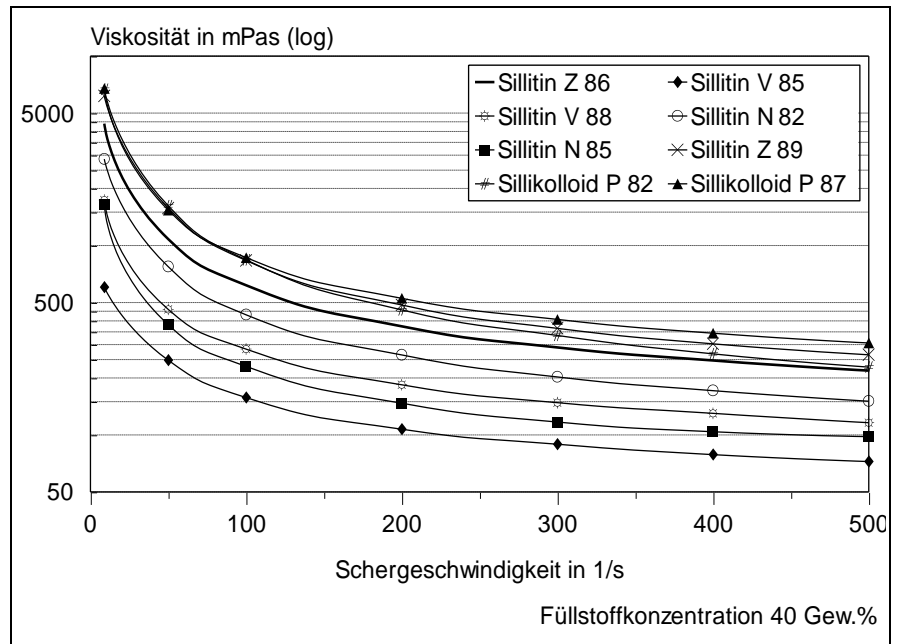


Abb. 8

4.1.3.2 Aktisil

Den mit organofunktionellen Silanen behandelten **Aktisil**-Typen **EM**, **MM**, **MAM** und **VM 56** ist gemeinsam, dass das Silan nahezu vollständig an der Füllstoffoberfläche gebunden ist¹. Während der Härtung des Filmes (Trocknung) reagieren die funktionellen Gruppen des **Aktisils** mit denen des Bindemittels.

Würde die Zugabe des Silans erst während der Formulierung des Anstrichstoffes erfolgen, so bestünde die Gefahr, dass das Silan "frei vagabundierend" im Anstrichstoff verbleibt und dadurch an der Grenzfläche (Beschichtung - Substrat) zu Haftungsproblemen führen könnte. Zudem besteht die Möglichkeit, dass Silananteile zu Oberflächenstörungen (z. B. Fischaugen) im Lackfilm führen.

In Abb. 9 und 10 ist zu erkennen, dass alle **Aktisil**-Typen ein etwas niedrigeres Viskositätsniveau als das Ausgangsmaterial **Sillitin Z 86** aufweisen. **Aktisil MAM**, dessen Basismaterial **Sillitin V 88** ist, verhält sich entsprechend.

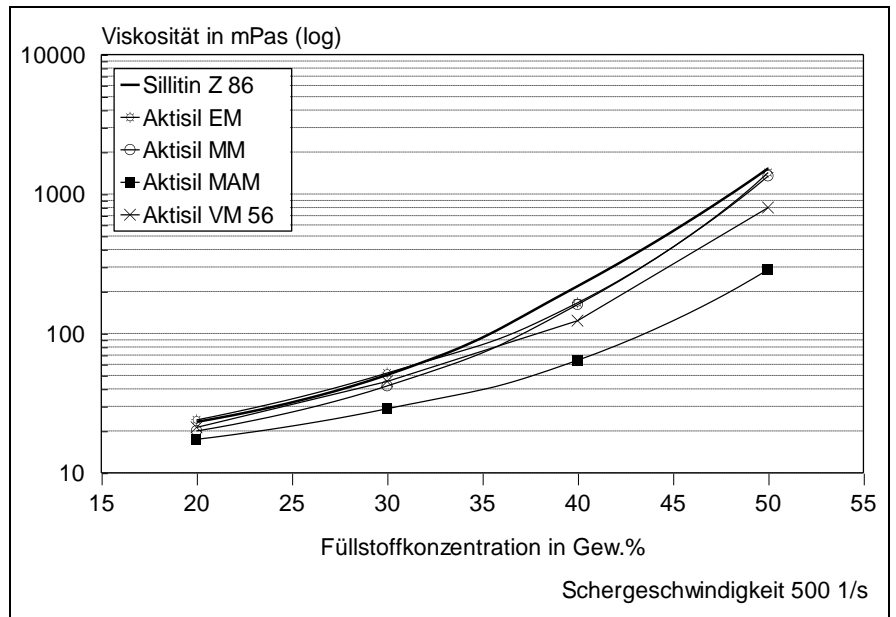


Abb. 9

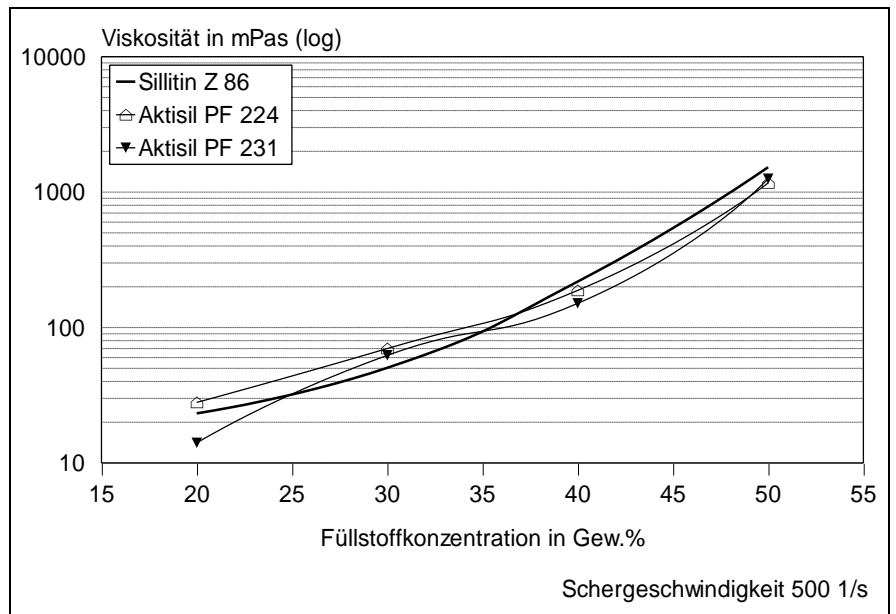


Abb. 10

¹Albers u. Lechner Kunststoffe 81 (1991) H.5 S. 420 ff

In Abb. 11 und 12, in denen die Viskosität in Abhängigkeit der Schergeschwindigkeit dargestellt ist, ist diese Eigenschaft noch deutlicher zu erkennen. Alle **Aktisil**-Typen zeigen jedoch im niedrigen Schergeschwindigkeitsbereich bis 100 s^{-1} einen etwa gleich starken Viskositätsabfall wie das Ausgangsmaterial.

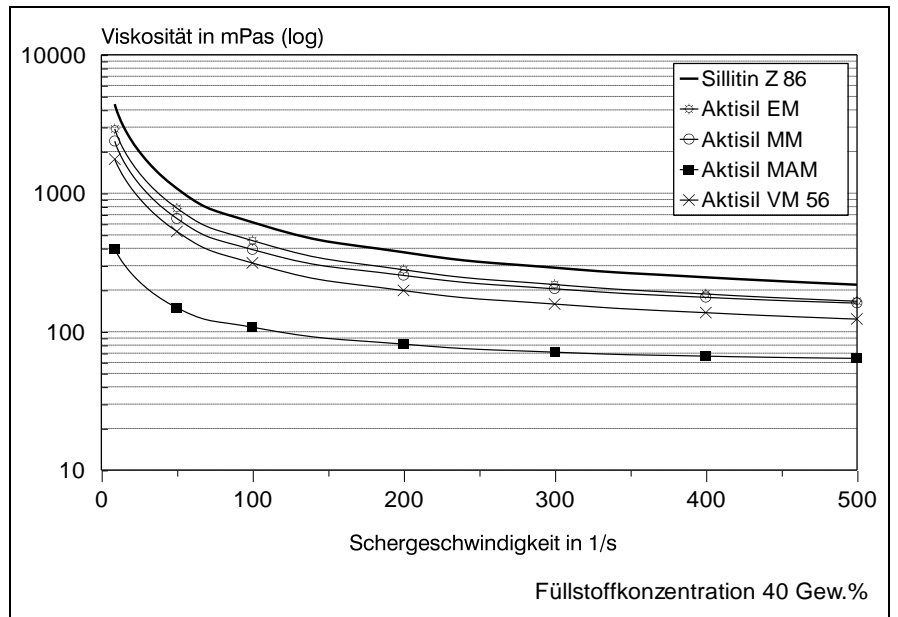


Abb. 11

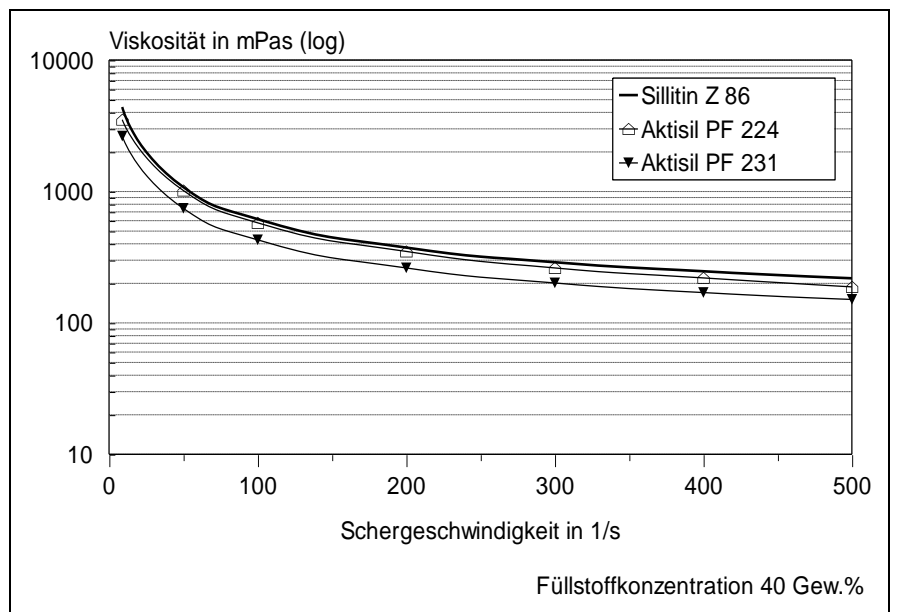


Abb. 12

4.2 Rheologische Effekte

Im folgenden Kapitel wurden Abweichungen des Fließverhaltens der Füllstoffdispersionen vom Newtonschen Fließverhalten quantifiziert. Die Füllstoffe wurden, wie bei den Viskositätskurven, nach der Partikelstruktur eingeteilt.

Mit dem Rotationsversuch ist die (physikalisch) exakte Beschreibung von Thixotropie, Rheopexie und der Fließgrenze nicht möglich. Deshalb wurden Hilfsgrößen definiert, die einen praktischen Vergleich der quantitativen Abweichungen vom Newtonschen Fließverhalten gestatten.

Bei der Auswertung ist zu beachten, dass die Viskositätsanomalien nicht als Absolutwerte angesehen werden dürfen, sondern immer in Relation zur Viskosität des jeweiligen Systems gesetzt werden müssen.

Beschreibung der Methoden für die Viskositätsanomalien:

1. Strukturviskositätsfaktor

Neben dem Newtonschen Fließverhalten, bei dem die Viskosität unabhängig von der Schergeschwindigkeit ist, gibt es Stoffsysteme, deren Fließverhalten abhängig ist vom Schergefälle. Nimmt die Viskosität mit steigendem Schergefälle ab, spricht man von strukturviskosem oder pseudoplastischem Fließverhalten. Nimmt sie mit steigendem Schergefälle zu, spricht man von Dilatanz.

Für die nachfolgende Auswertung wurde die Hilfsgröße Strukturviskositätsfaktor (SVF) folgendermaßen definiert:

SVF = Verhältnis: Viskosität bei 50 s^{-1} / Viskosität bei 500 s^{-1} (Aufwärtskurve)

SVF = 1 Newtonsches Fließverhalten

SVF < 1 Dilatantes Fließverhalten

SVF > 1 Strukturviskoses Fließverhalten

2. Fließgrenze

Stoffe mit einer Fließgrenze sind Substanzen, die erst fließen, wenn die von außen angelegte Kraft größer ist als die im Stoff wirkenden Strukturkräfte. Unterhalb der Fließgrenze verhält sich der Stoff plastisch.

Zur Auswertung der Fließgrenze wurde die Schubspannung bei einer Schergeschwindigkeit von 5 s^{-1} (von der Abwärtskurve) herangezogen.

3. Thixotropie / Rheopexie

Unter Thixotropie versteht man einen Abbau der Struktur, messbar als Verringerung der Viskosität, unter dem zeitlichen Wirken von äußeren Scherkräften. Nach einer gewissen Relaxationszeit stellt sich die ursprüngliche Struktur (Viskosität) wieder ein. Es handelt sich hierbei um einen reversiblen Vorgang.

Bei der Rheopexie kommt es zu einem zeitlichen Strukturaufbau unter dem Einfluss äußerer Scherkräfte (Viskositätsanstieg).

Die Auswertung der Thixotropie erfolgte durch Berechnung des Flächeninhaltes zwischen Aufwärtskurve (zunehmende Schergeschwindigkeit) und Abwärtskurve (abnehmende Schergeschwindigkeit). Die Maßeinheit für die Thixotropiefläche ist Pa / cm³.

$$Thixotropie = \frac{|A_{Aufwärtskurve}| - |A_{Abwärtskurve}|}{V_{Probenvolumen}}$$

4.2.1 Isotrope Füllstoffe

In Abb. 13 ist deutlich zu erkennen, dass **Sillitin Z 86** über den ganzen Konzentrationsbereich wesentlich höhere Strukturviskositätsfaktoren aufweist als die isotropen Füllstoffe. Beim Calcit bleibt der Strukturviskositätsfaktor mit zunehmenden Füllstoffgehalt annähernd konstant. Alle anderen Füllstoffe zeigen einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Anstieg der Faktoren.

Bei der Fließgrenze (Abbildung 14) liegt **Sillitin Z 86** deutlich über den Werten der isotropen Füllstoffe. Calcit verhält sich hier entsprechend den anderen Füllstoffen.

Bei der Gegenüberstellung der Thixotropie von isotropen Füllstoffen und **Sillitin Z 86** in Abb. 15 weist **Z 86** schon bei einer Füllstoffkonzentration von 20 Gew.% höhere Werte auf als die Vergleichsfüllstoffe. Auch bei der höchsten Konzentration von 50 % liegt der Wert des **Sillitin Z 86** erheblich über denen der isotropen Füllstoffe. Die Zahl "0" ist bei logarithmischer Darstellung nicht definiert. Deshalb werden Messpunkte die den Wert 0 annehmen auf der x-Achse dargestellt. Erst bei höheren Füllgraden ist eine ausgeprägte Thixotropie festzustellen. Bei Kieselgur steigt die Thixotropie sehr stark an, was jedoch durch die geringe Füllhöhe begrenzt wird.

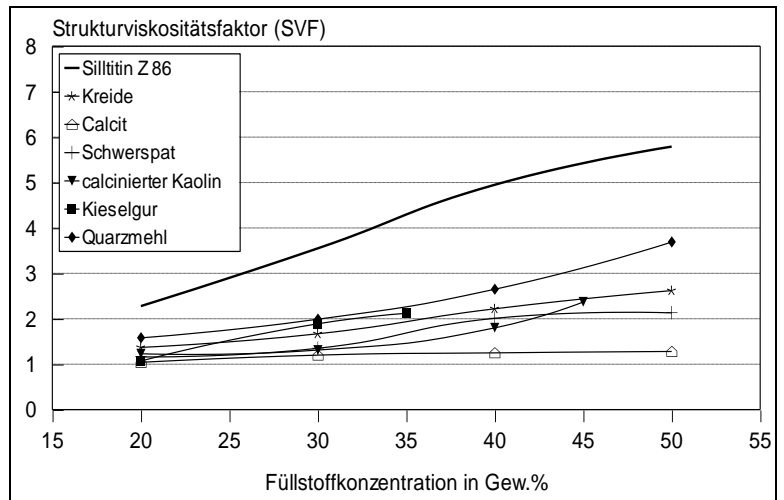


Abb. 13 Strukturviskositätsfaktoren der isotropen Füllstoffe

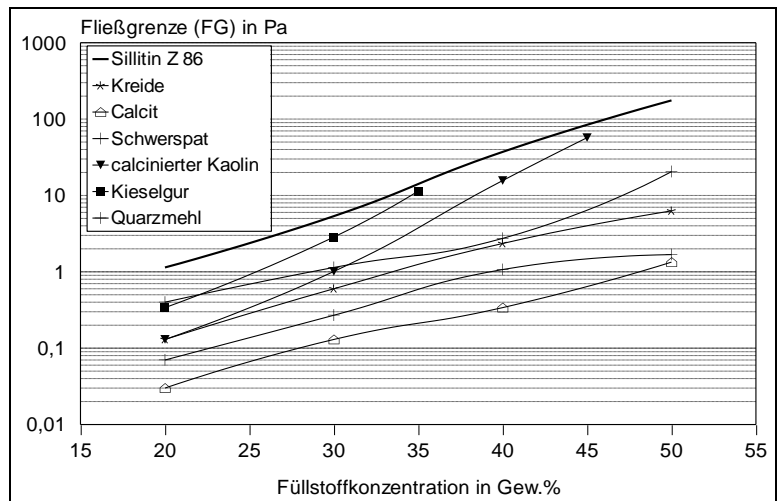


Abb. 14 Fließgrenzen der isotropen Füllstoffe

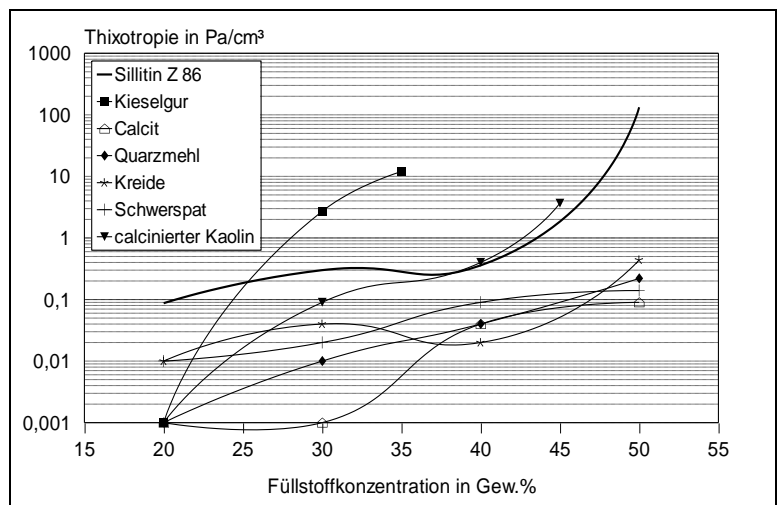


Abb. 15 Thixotropieflächen der isotropen Füllstoffe

4.2.2 Anisotrope Füllstoffe

Alle in Abb. 16 aufgezeigten Füllstoffe zeigen, mit Ausnahme von Wollastonit, mit zunehmender Füllstoffkonzentration einen deutlichen Anstieg der Strukturviskositätsfaktoren. Wollastonit besitzt die niedrigsten Werte und bleibt bei zunehmender Füllhöhe fast unverändert. Der gemahlene Kaolin weist über den gesamten Konzentrationsbereich die höchsten Werte auf.

Bei der Gegenüberstellung der Fließgrenzen dieser Füllstoffgruppe zeigt sich ein ähnliches Bild. Beim gemahlene Kaolin ergeben sich über den gesamten Konzentrationsbereich die höchsten Fließgrenzen. Wollastonit zeigt wiederum deutlich niedrigere Werte als die anderen Füllstoffe dieser Gruppe (Abb. 17).

In Abb. 18 weist **Sillitin Z 86**, schon bei einer Füllstoffkonzentration von 20 Gew.%, einen höheren Wert auf als die Vergleichsfüllstoffe. Auch bei der höchsten Konzentration von 50 Gew.% liegt der Wert von **Sillitin Z 86** deutlich über denen der anisotropen Füllstoffe. Auch hier gilt wieder, Messpunkte die den Wert "0" annehmen sind auf der x-Achse dargestellt. Bei den anisotropen Füllstoffen ist erst bei höheren Füllgraden eine ausgeprägte Thixotropie festzustellen. Feiner Talkum ist in dieser Grafik nicht berücksichtigt, da er über den gesamten Konzentrationsbereich keine Thixotropie aufweist.

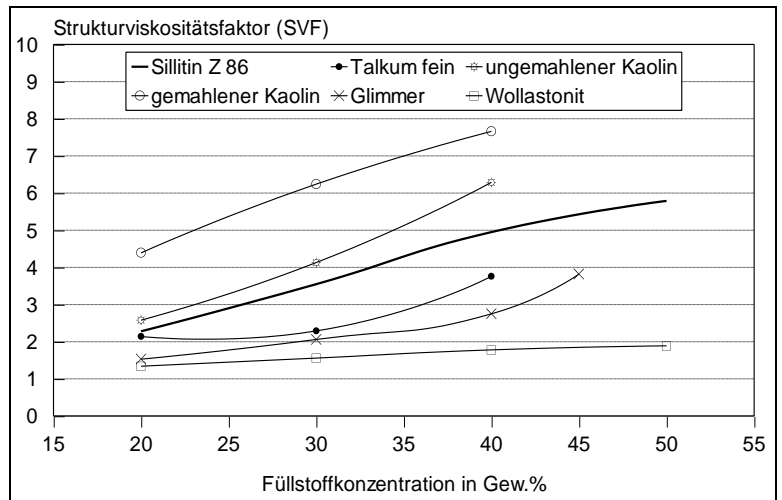


Abb. 16 Strukturviskositätsfaktoren der anisotropen Füllstoffe

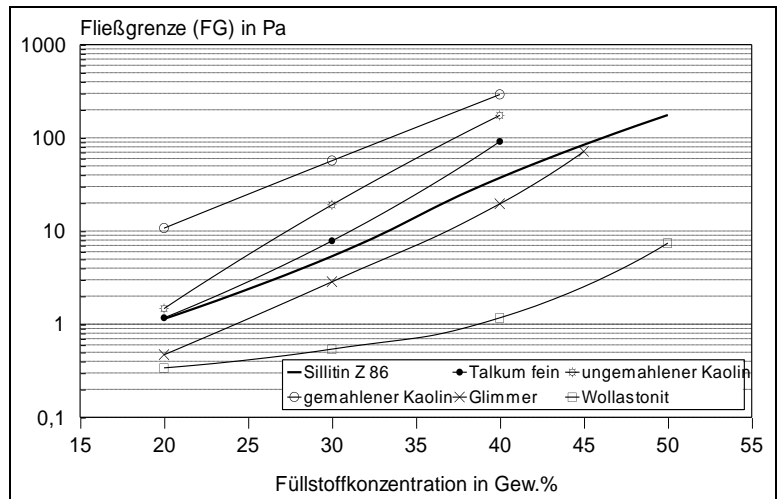


Abb. 17 Fließgrenzen der anisotropen Füllstoffe

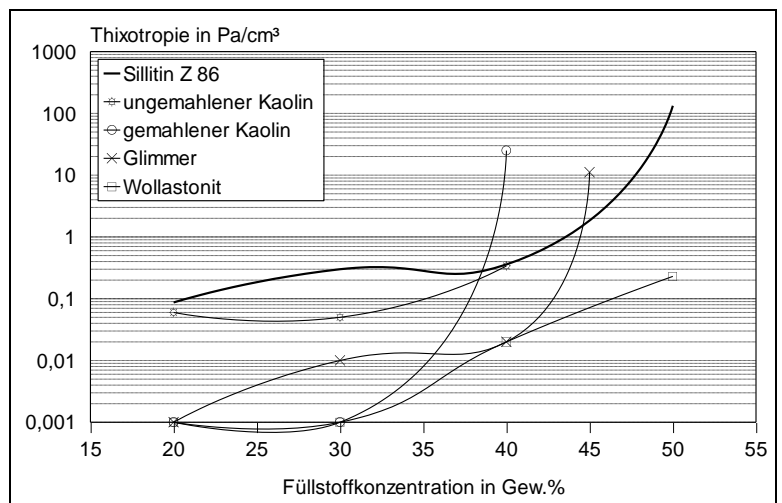


Abb. 18 Thixotropie der anisotropen Füllstoffe

4.2.3 Neuburger Kieseelerde

4.2.3.1 Sillitin und Sillikolloid

Die Abbildungen 19 und 20 zeigen den Anstieg der Strukturviskositätsfaktoren mit zunehmender Füllstoffkonzentration. Tendenziell ist zu beobachten, dass mit sinkender Korngrößenverteilung die Strukturviskositätsfaktoren zunehmen.

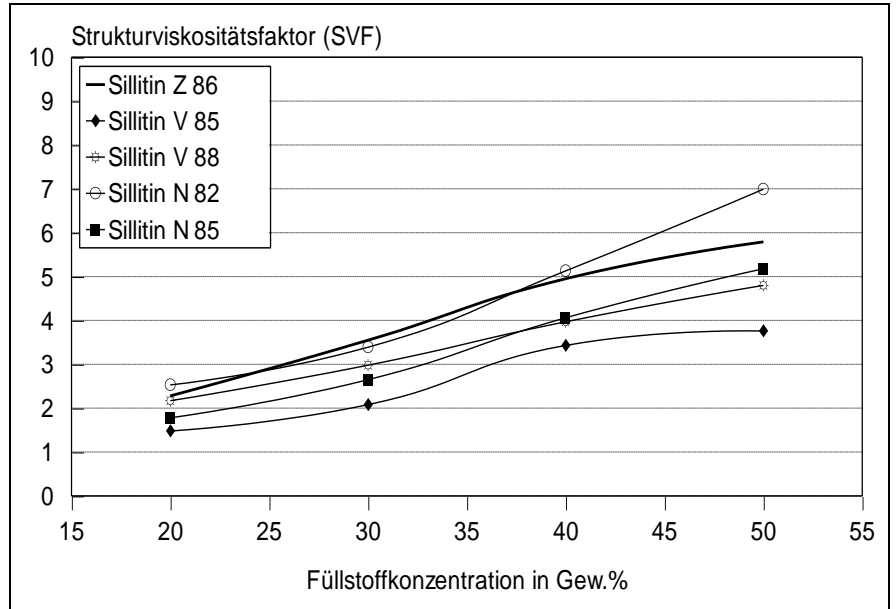


Abb. 19

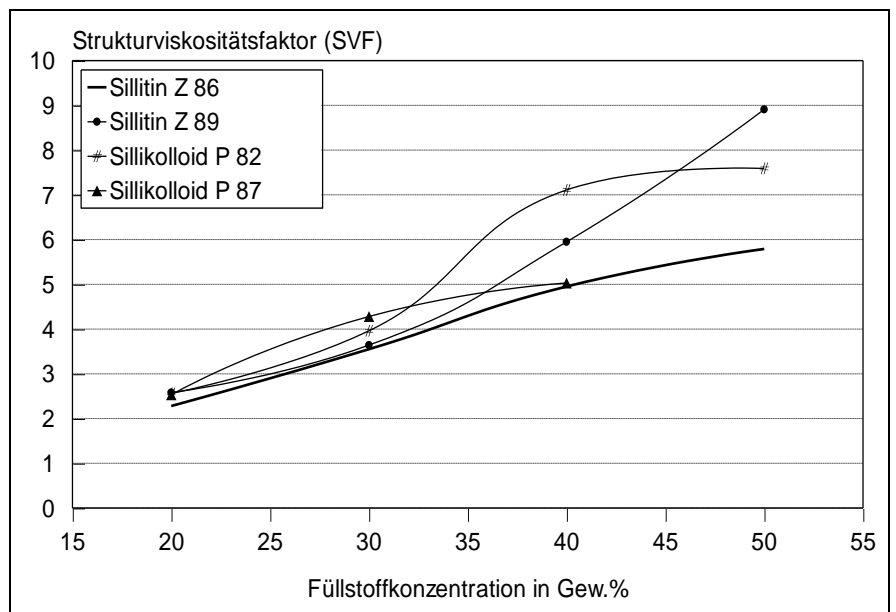


Abb. 20

Auch bei der Fließgrenze lässt sich der Einfluss der Korngröße auf das Fließverhalten erkennen. Die größeren Materialien wie **Sillitin V** und **Sillitin N** weisen niedrigere Fließgrenzen auf als das Vergleichsmaterial **Sillitin Z 86** (Abb. 21). Die feinen Kieselerdeprodukte **Sillikolloid P 82** und **Sillikolloid P 87** besitzen die höchsten Fließgrenzen aller Kieselerdeprodukte. Auch **Sillitin Z 89** zeigt etwas höhere Werte als das Vergleichsmaterial (Abb. 22).

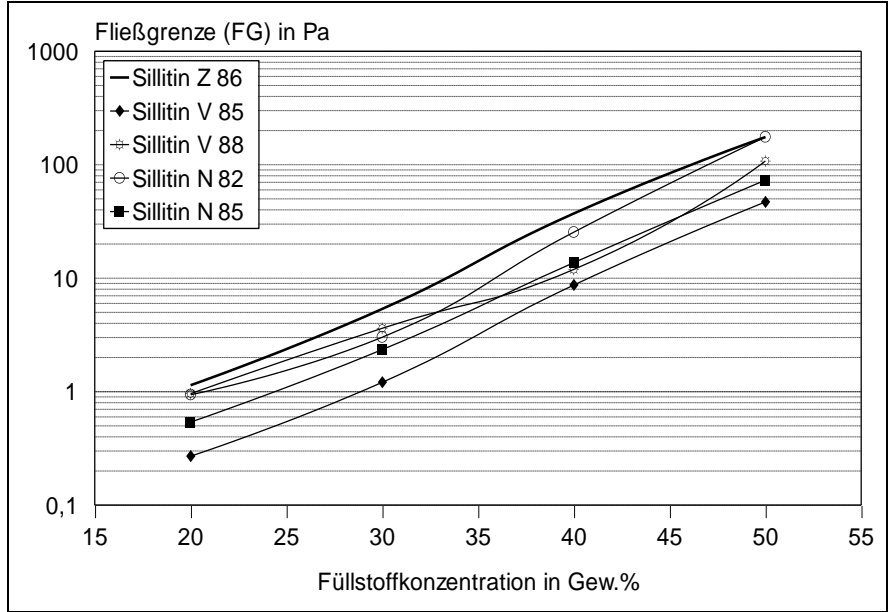


Abb. 21

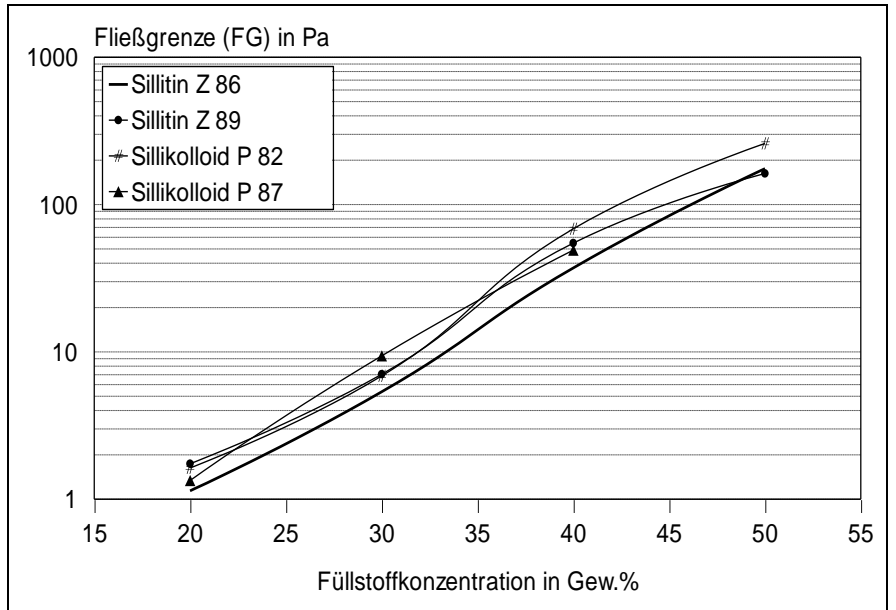


Abb. 22

Beim Vergleich der Thixotropie der einzelnen **Sillitin**-Typen in Abb. 23 und 24 lässt sich dieser Trend nicht feststellen. Eine Abhängigkeit der Thixotropie von der Korngrößenverteilung des Materials ist hier nicht gegeben. **Sillitin V 85** ist in diesen Grafiken nicht dargestellt, da sich über den gesamten Konzentrationsbereich keine Thixotropie zeigte.

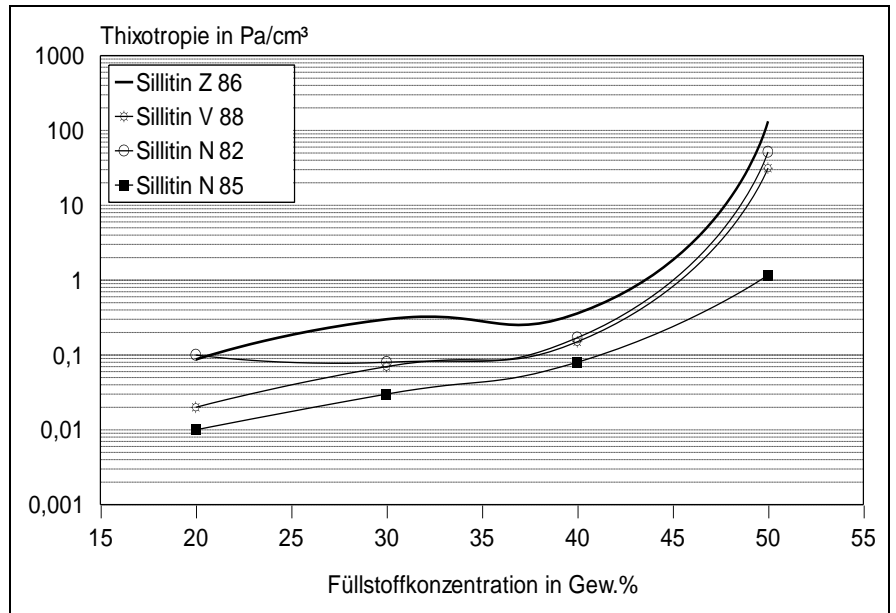


Abb. 23

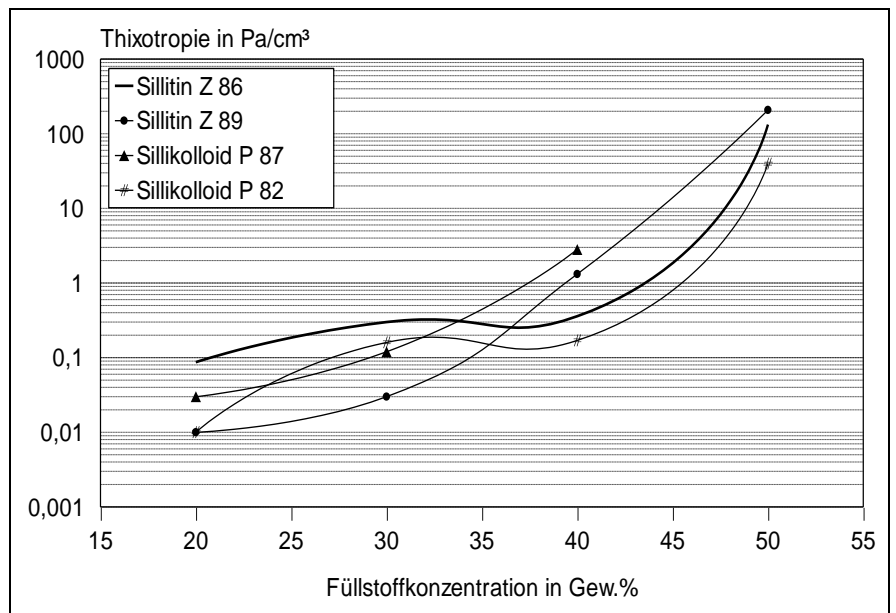


Abb. 24

4.2.3.2 Aktisil

Alle **Aktisil**-Typen, mit Ausnahme von **Aktisil MAM**, zeigen einen ähnlichen Anstieg der Strukturviskositätsfaktoren wie **Sillitin Z 86**. **Aktisil MAM**, mit seinem "gröberen" Basismaterial **Sillitin V 88**, weist hinsichtlich Strukturviskositätsfaktor und Fließgrenze die geringsten Abweichungen vom "Newtonschen Fließverhalten" auf, und unterscheidet sich deutlich von den anderen **Aktisil**-Typen. **Aktisil PF 231** und **PF 224** zeigen bei der höchsten Füllstoffkonzentration ein deutliches Abflachen des Kurvenverlaufs. Die Fließgrenzen der **Aktisil**-Typen liegen unter denen des Basismaterials. Auch hier zeigt **Aktisil MAM** die niedrigsten Werte. Die **Aktisil PF**-Typen besitzen vergleichbare Fließgrenzen wie das Basismaterial.

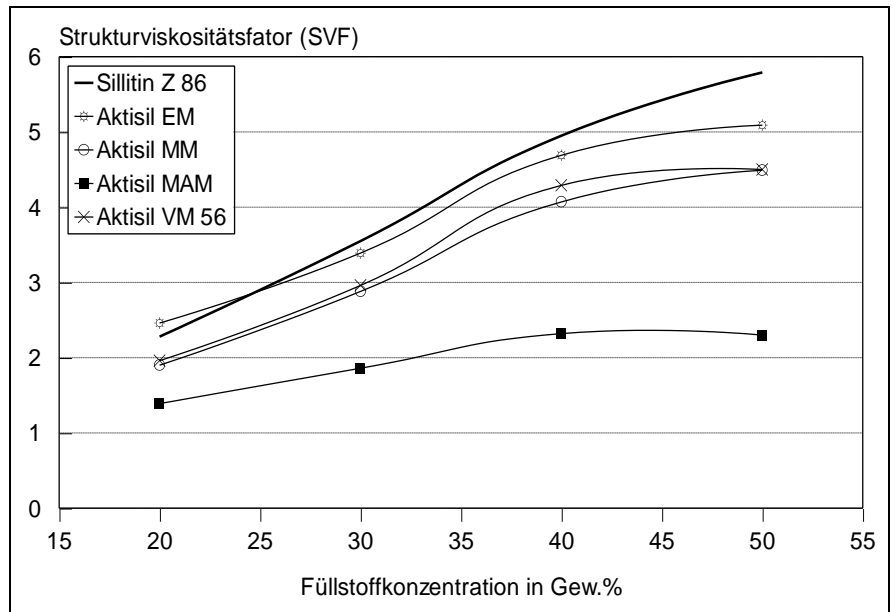


Abb. 25

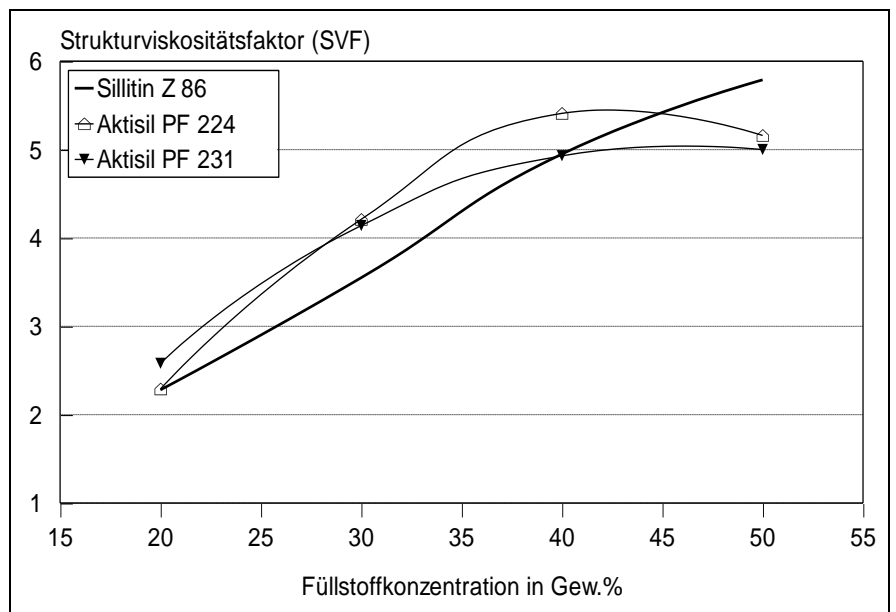


Abb. 26

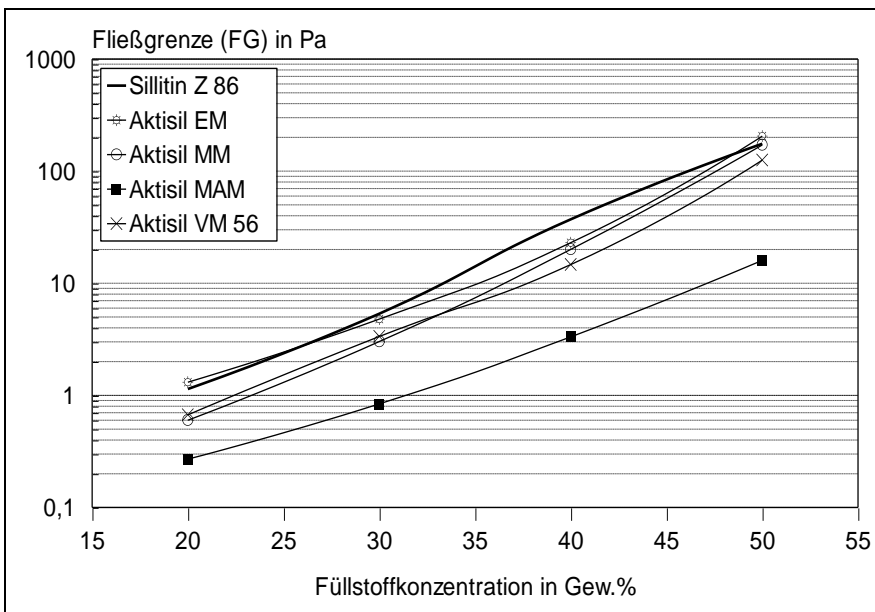


Abb. 27

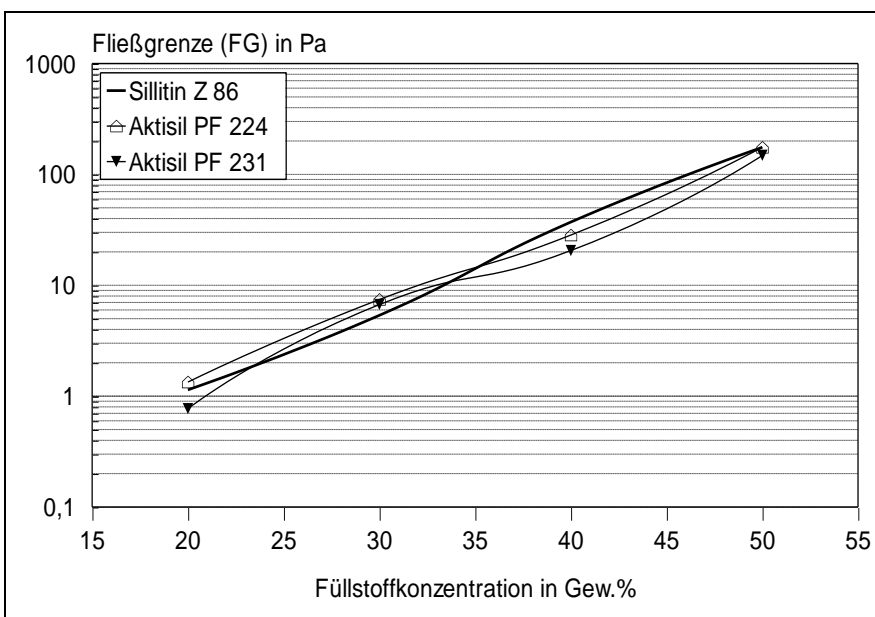


Abb. 28

Auch hinsichtlich der Thixotropieflächen (Abb. 29 und 30) fällt **Aktisil MAM** völlig aus der Reihe. Während sich bei allen anderen **Aktisil**-Typen, wie auch beim Basismaterial **Sillitin Z 86**, mit Zunahme der Füllstoffkonzentration eine Erhöhung der Thixotropieflächen einstellt, zeigt **Aktisil MAM** bei der höchsten Füllstoffkonzentration wieder einen leichten Rückgang der Thixotropiefläche. Dieser Effekt ist auf das Coatingmittel bzw. die Korngröße des Materials zurückzuführen.

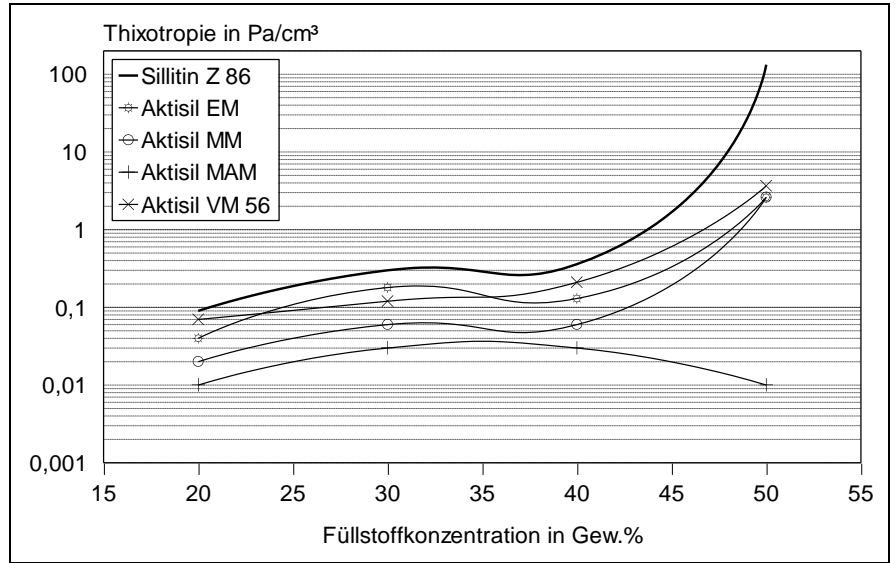


Abb. 29

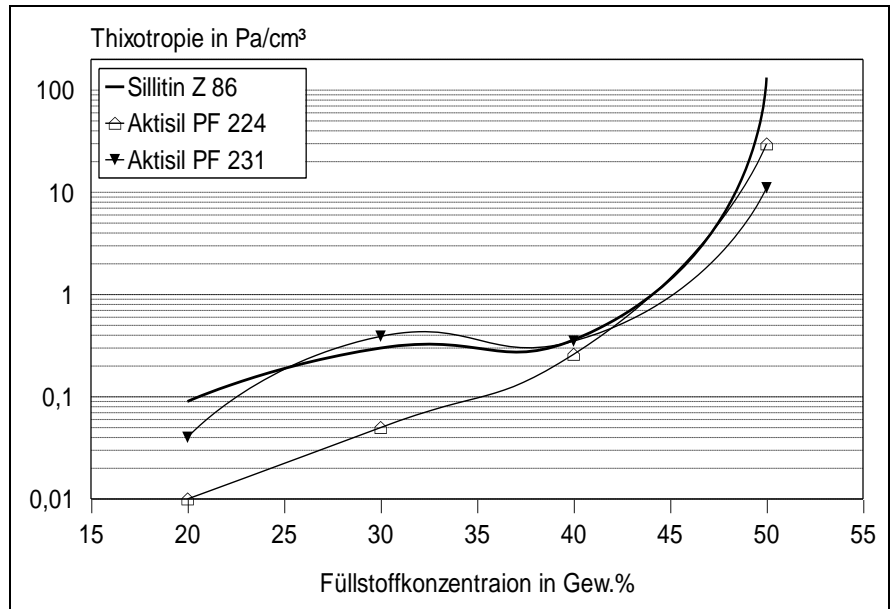


Abb. 30

Unsere anwendungstechnische Beratung und die Informationen in diesem Bericht beruhen auf Erfahrung und erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, gelten jedoch nur als unverbindlicher Hinweis ohne jede Garantie. Außerhalb unseres Einflusses liegende Arbeits- und Einsatzbedingungen schließen einen Anspruch aus der Anwendung unserer Daten und Empfehlungen aus. Außerdem können wir keinerlei Verantwortung für Patentverletzungen übernehmen, die möglicherweise aus der Anwendung unserer Angaben resultieren.