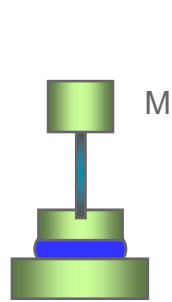
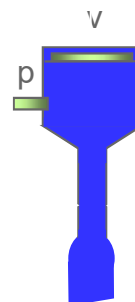


Viskositätsmessungen in der Qualitätssicherung – Worauf muß man achten?

Torsten Remmler, Malvern Panalytical GmbH



Rotation



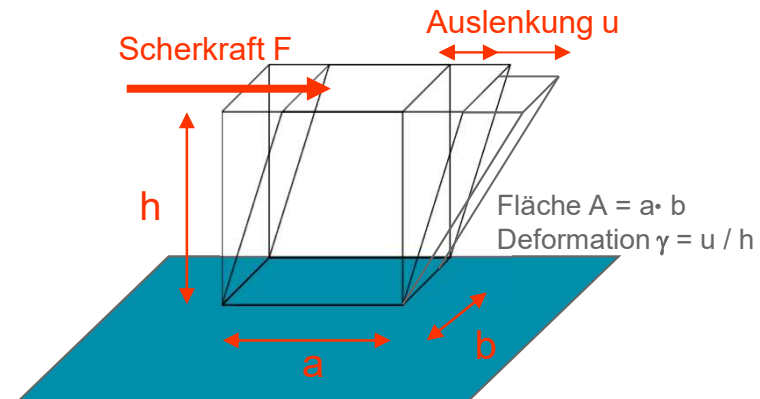
*Hochdruck-
Kapillar*

Überblick

- Wie ist die Scherviskosität definiert?
- Messprinzip Rotationsrheometer / Hochdruck-Kapillarrheometer
- Parametrierung: Stationäre und Instationäre Scherviskositätskurven
- Interpretation von Scherviskositätskurven

Fließeigenschaften in Scherung: Grundbegriffe

- Temperatur
- Druck
- Scherrate (Fließgeschwindigkeit)
- Schubspannung (Scherkraft)
- Zeit



Dynamische Scherviskosität*:

$$\eta (T, p, t, \dot{\gamma}) = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}}$$

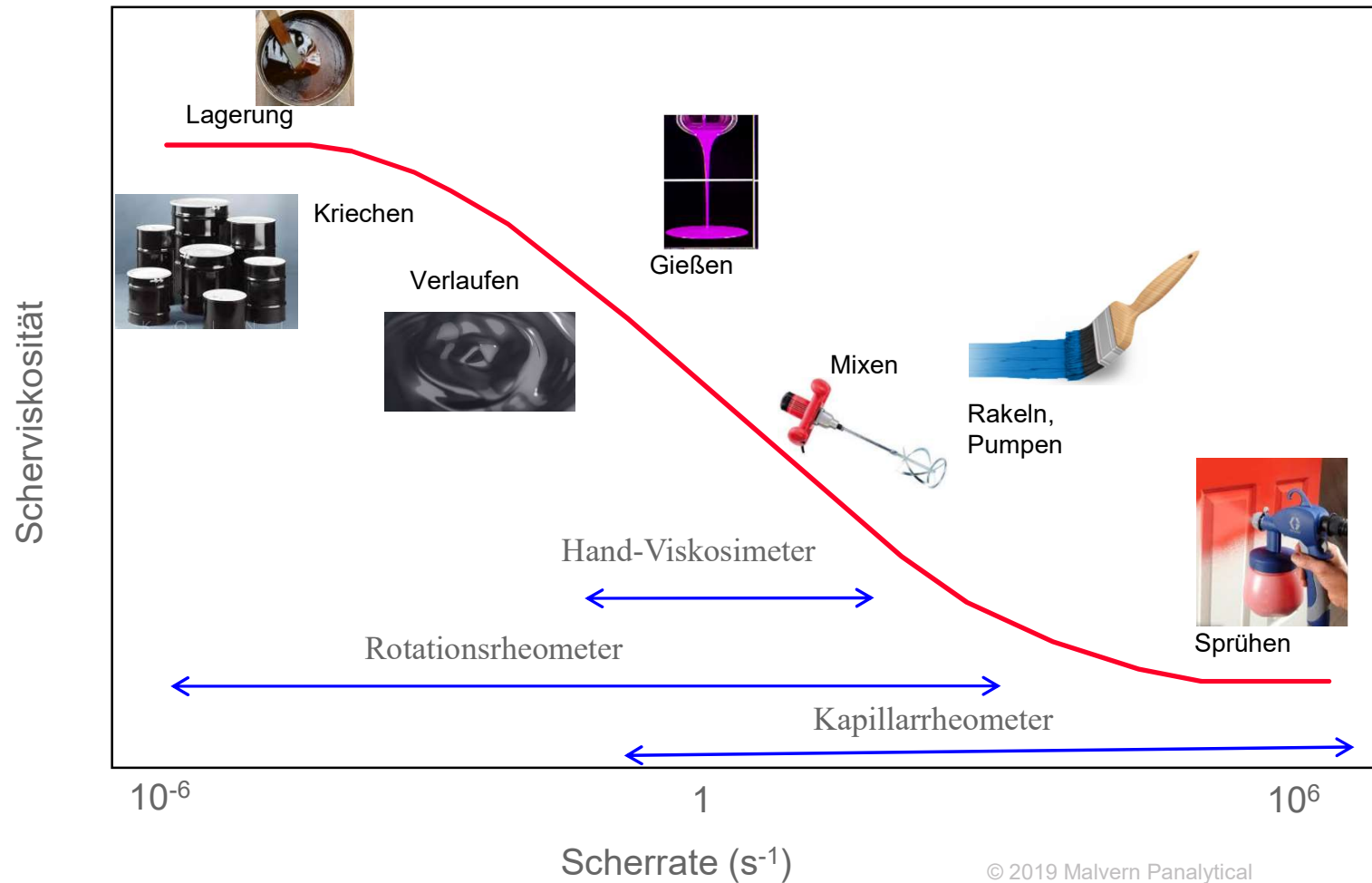
Einheit: $[\eta] = 1 \text{ Pas}$

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} \quad \text{Scherrate [1/s]}$$

$$\sigma = \frac{F_{\text{tan}}}{A} \quad \text{Schubspannung [Pa=N/m}^2\text{]}$$

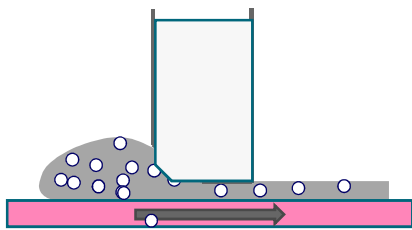
* *Isotherme, isobare, stationäre dynamische Scherviskosität eines inkompressiblen, isotropen Fluids*

Typische Scherbeanspruchungen



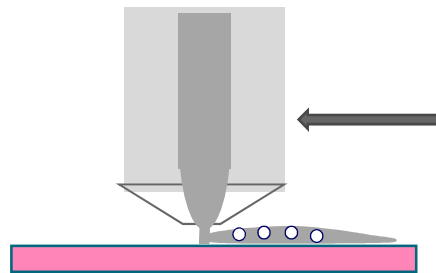
Abschätzung der Scherrate

Rakelauftrag,
Streichen



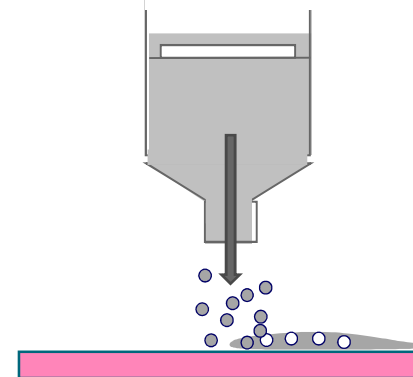
$$\dot{\gamma} = \frac{v}{h}$$

Schlitzdüsen-
Beschichtung



$$\dot{\gamma}_{\text{app}} = \frac{6 \cdot Q}{b h^2}$$

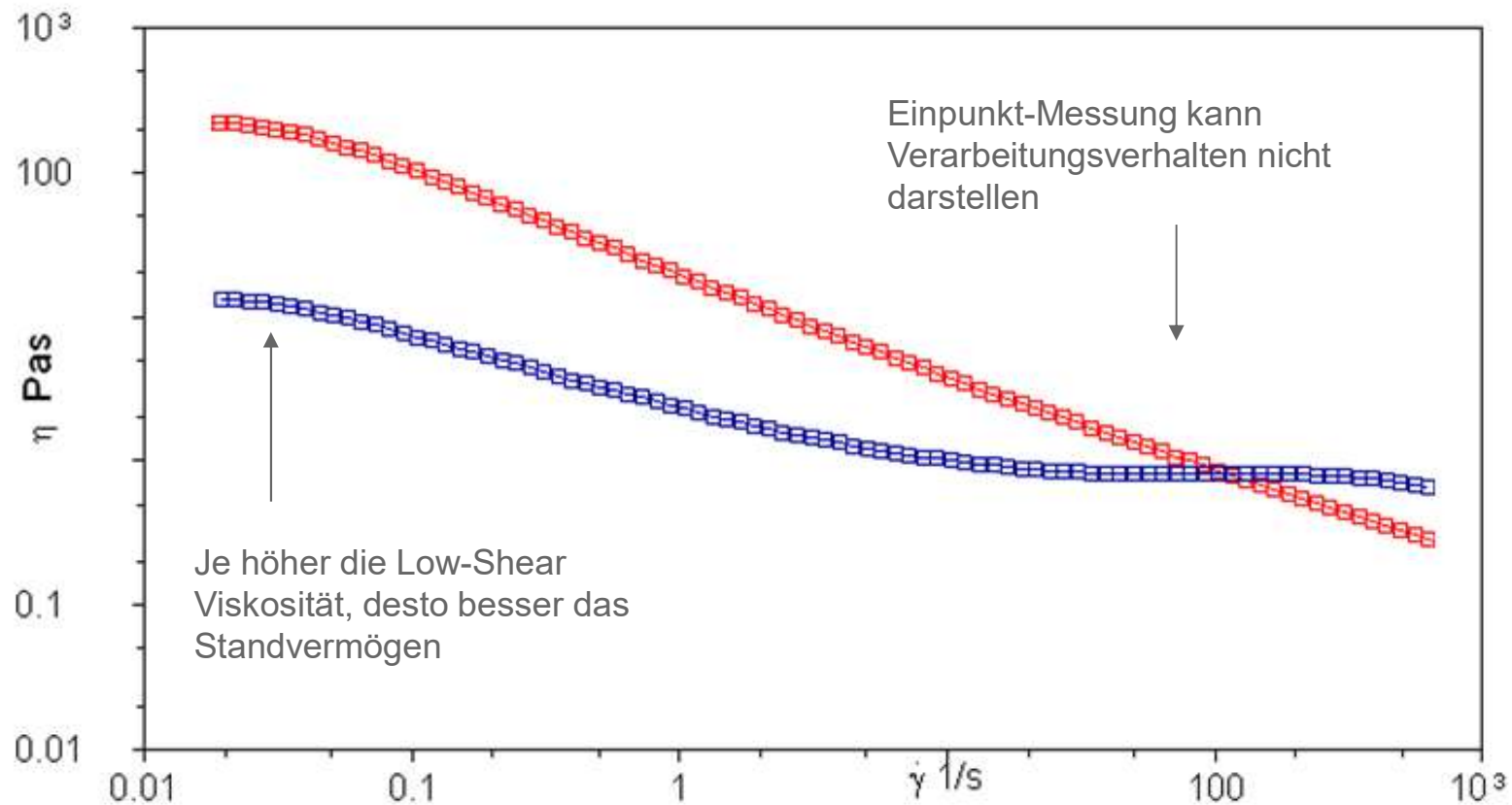
Sprühauftrag



$$\dot{\gamma}_{\text{app}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi R^3}$$

Q = Volumenstrom, R = Düsenradius, L = Düsenlänge, b = Schlitzbreite
 w = Schlitzhöhe, v = Auftragsgeschwindigkeit, h = Nass-Schichtdicke

Messbeispiel: Vergleich von 2 Scherviskositätskurven



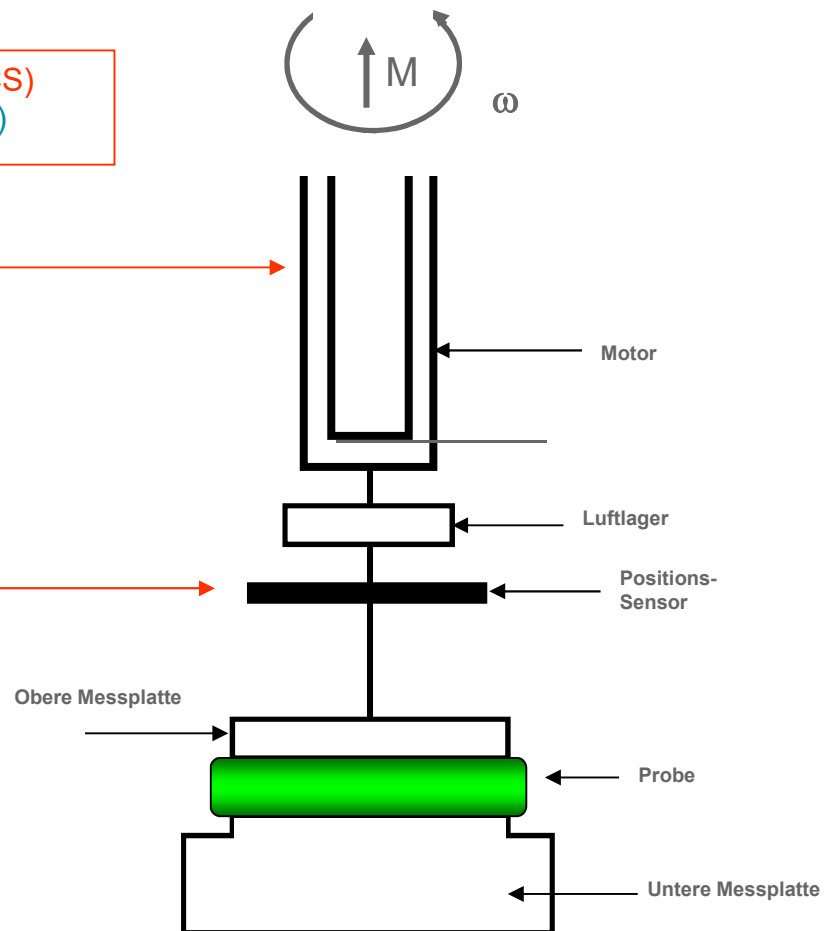
- Scherratenabhängigkeit der Scherviskosität: Relativmessung nicht sinnvoll !
- Für Scherviskositätswerte muß jeweilige Scherrate angegeben werden !

Auswahl des Messgerätes: Rotationsrheometer

Schubspannungsvorgabe (CS)
Deformationsvorgabe (CR)

Anregung /
Detektion

Antwort /
Vorgabe



Anwendungen:

- *Optimal für geringe bis mittlere Scherraten geeignet*
- *Liefert absolute Scherviskosität*

Auswahl des Messgerätes: Hochdruck-Kapillarrheometer

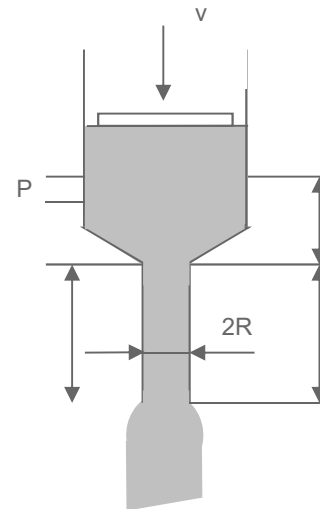
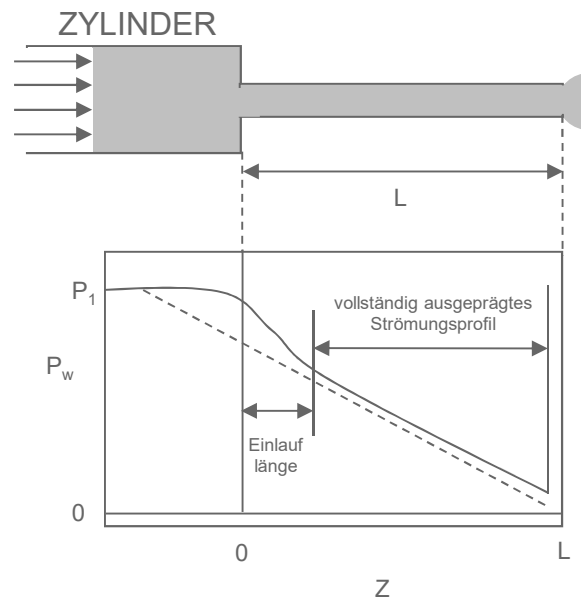
Vorgabe: Stempelgeschwindigkeit \Rightarrow Wandscherrate
Meßgröße: Gesamtdruckabfall \Rightarrow Wandschubspannung



RH2000



RH10-D

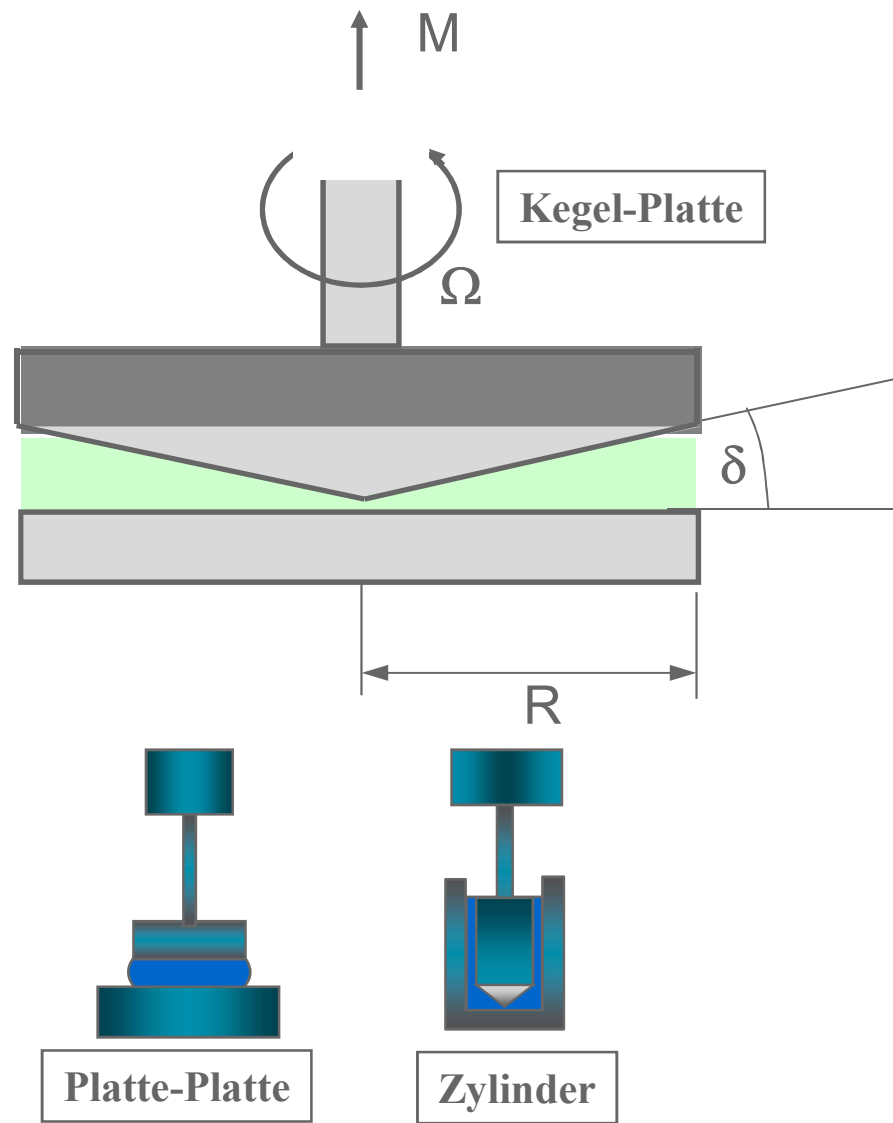


$$\begin{aligned} &\text{Gemessener} \\ &\text{Gesamtdruckverlust} \\ &= \\ &\text{Einlaufdruckverlust} \\ &+ \\ &\text{Scherdruckverlust} \end{aligned}$$

Anwendungen:

- *Optimal für mittlere bis sehr hohe Scherraten geeignet*
- *Liefert absolute Scherviskosität*

Auswahl der Geometrie am Rotationsrheometer



Je höher die benötigte Schubspannung, desto geringer sollte die Fläche sein.

Je höher die benötigte Scherrate, desto kleiner sollte der Spaltabstand sein

Faustregel:

Spaltweite $> 10 \cdot D_{90}$

Auswahl der Messgeometrie am Kapillarrheometer

Wahl des Düsendurchmessers und der Länge

$$\dot{\gamma}_{\text{app}} = \frac{4 \cdot Q}{\pi R^3}$$

$$\sigma_{\text{app}} = \frac{R \cdot \Delta P}{2 \cdot L}$$

**Scherratenbereiche für
ausgewählte Düsendurchmesser:**

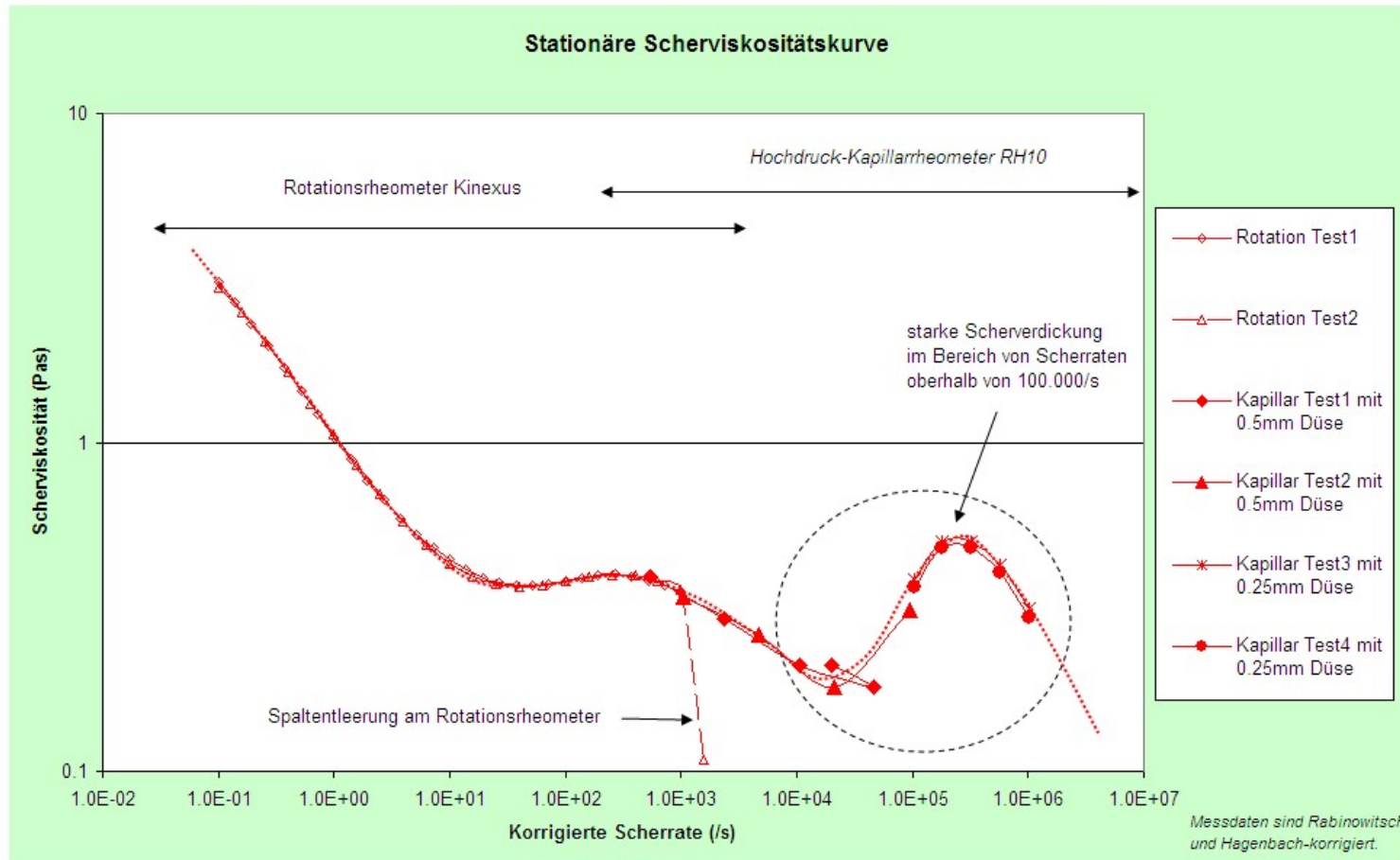
2.0mm = ca. 0.1 bis 100 /s
1.5mm = ca. 1 bis 1000 /s
1.0mm = ca. 10 bis 10000 /s
0.5mm = ca. 100 bis 100.000 /s
0.25mm = ca. 1000 bis 1.000.000 /s



⇒ Pro Düse ca. 2 – 3 Dekaden Scherrate optimaler Messbereich
auf Grund des Druckaufnehmer-Messbereichs

Q = Volumenstrom, R = Düsenradius, L = Düsenlänge, ΔP = Druckabfall

Anwendungsbeispiel

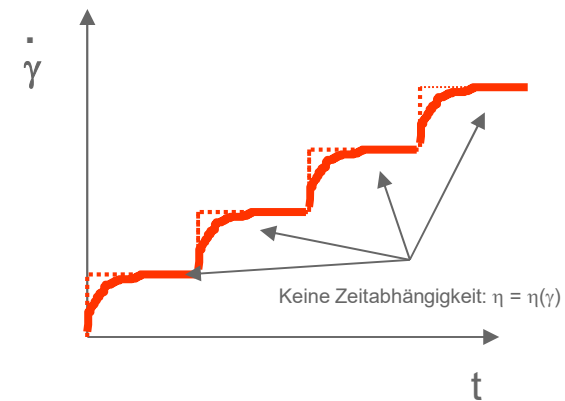
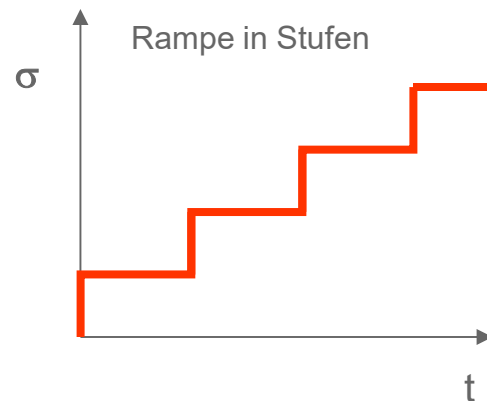


⇒ Komplexes Fließverhalten (Scherverdünnung / Scherverdickung) abhängig vom Scherratenbereich
⇒ Scherverdickung kann zu Düsenverstopfung beim Sprühauftrag führen

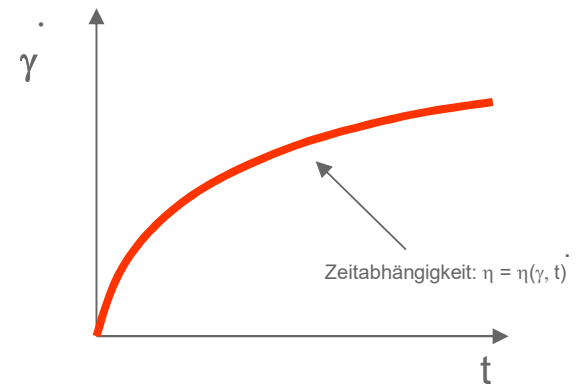
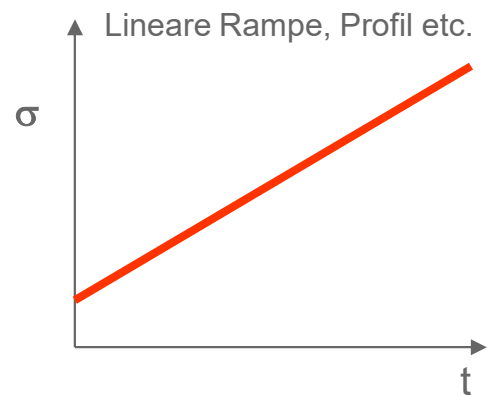
Messtechnische Aufnahme einer Scherviskositätskurve

Schubspannungs- oder Scherraten-Vorgabe: Stationäre und instationäre Messroutine

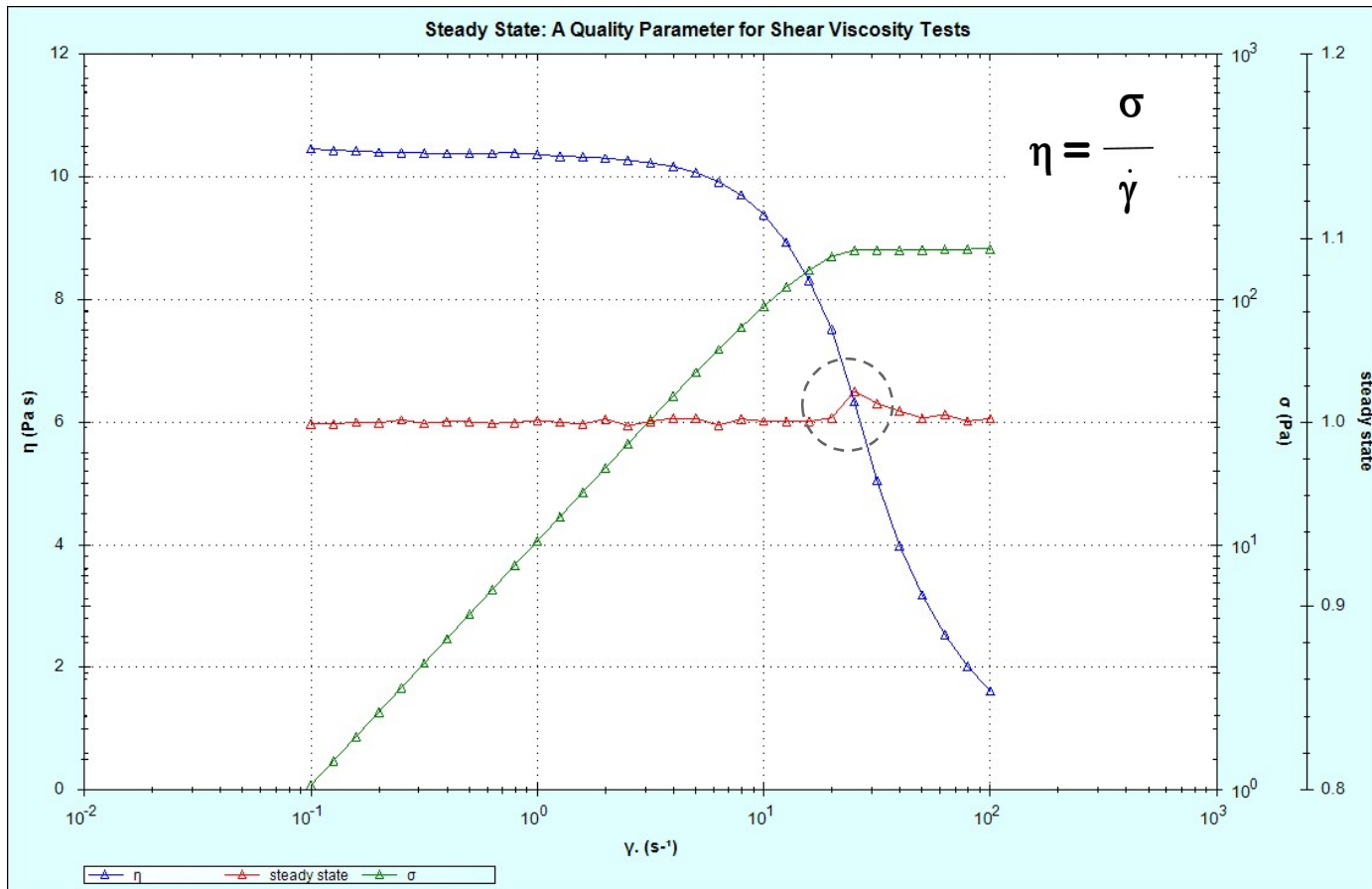
Stationär :



Instationär :



Stationarität als wichtiges QC-Kriterium



⇒ Stationarität weicht vom Idealwert 1 ab -> Messfehler!!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Weitere Informationen zu rheologischen Fragestellungen finden Sie auf

www.malvernpanalytical.de

Email: torsten.remmler@malvernpanalytical.com

© 2019 Malvern Panalytical