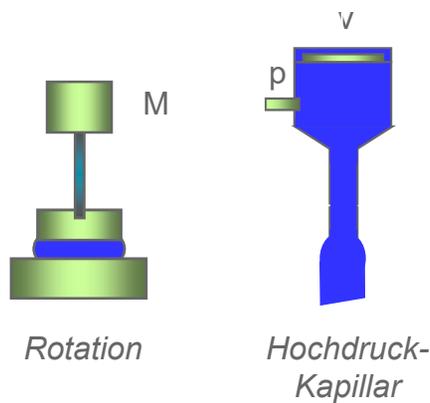


## Viskositätsmessungen in der Qualitätssicherung – Worauf muß man achten?

*Torsten Remmler, Malvern Panalytical GmbH*

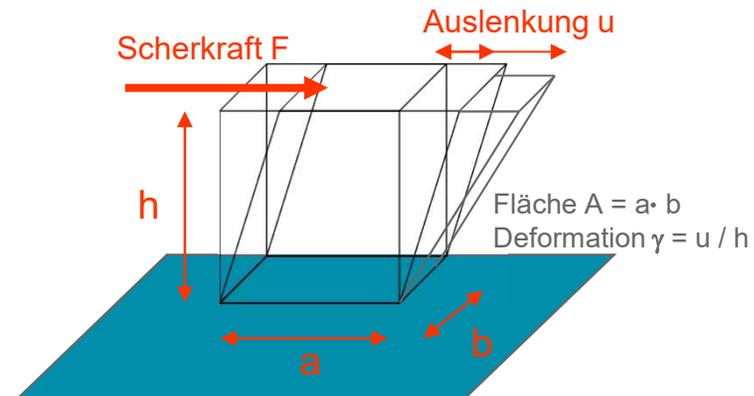


# Überblick

- 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\*:

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

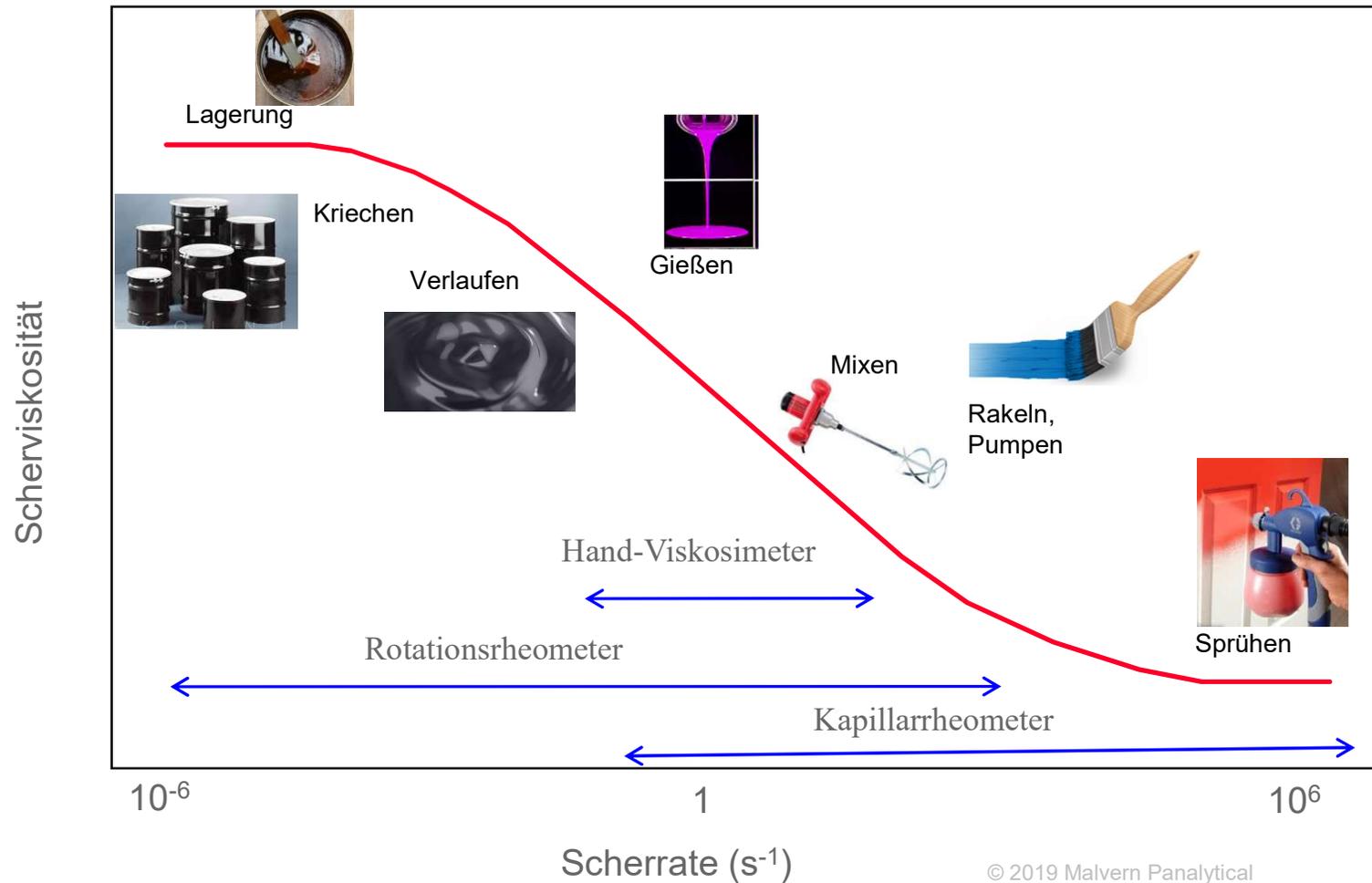
Einheit:  $[\eta] = 1 \text{ Pas}$

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

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

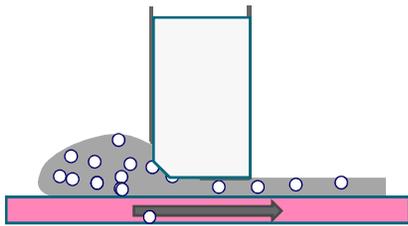
\* *Isotherme, isobare, stationäre dynamische Scherviskosität eines inkompressiblen, isotropen Fluids*

# Typische Scherbeanspruchungen



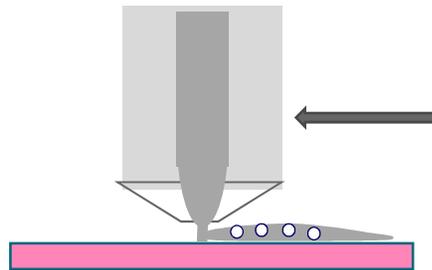
# Abschätzung der Scherrate

Rakelauftrag,  
Streichen



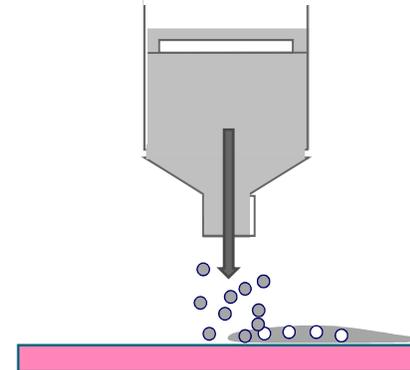
$$\dot{\gamma} = \frac{v}{h}$$

Schlitzdüsen-  
Beschichtung



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

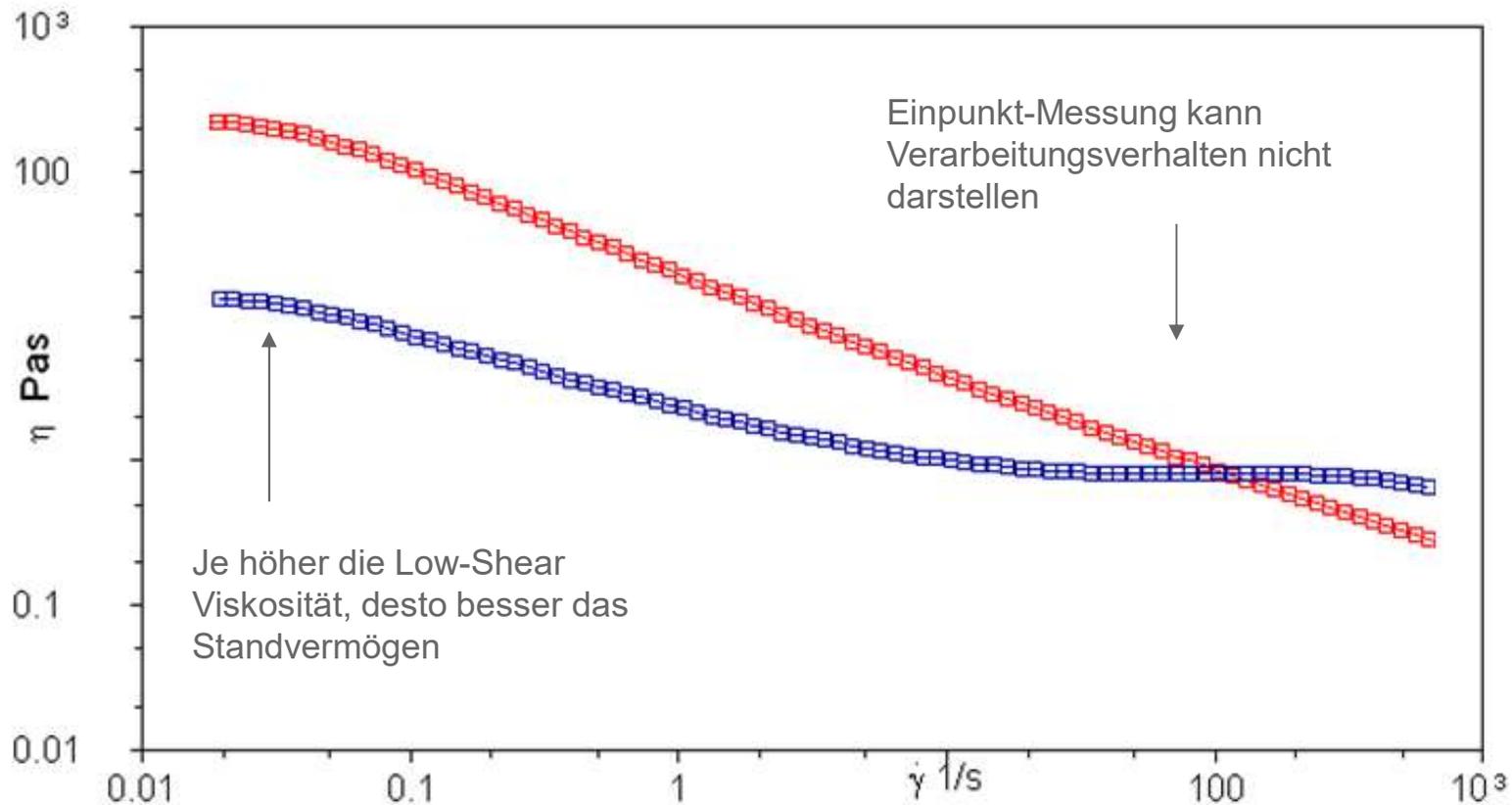
Sprühauftrag



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

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

# Messbeispiel: Vergleich von 2 Scherviskositätskurven



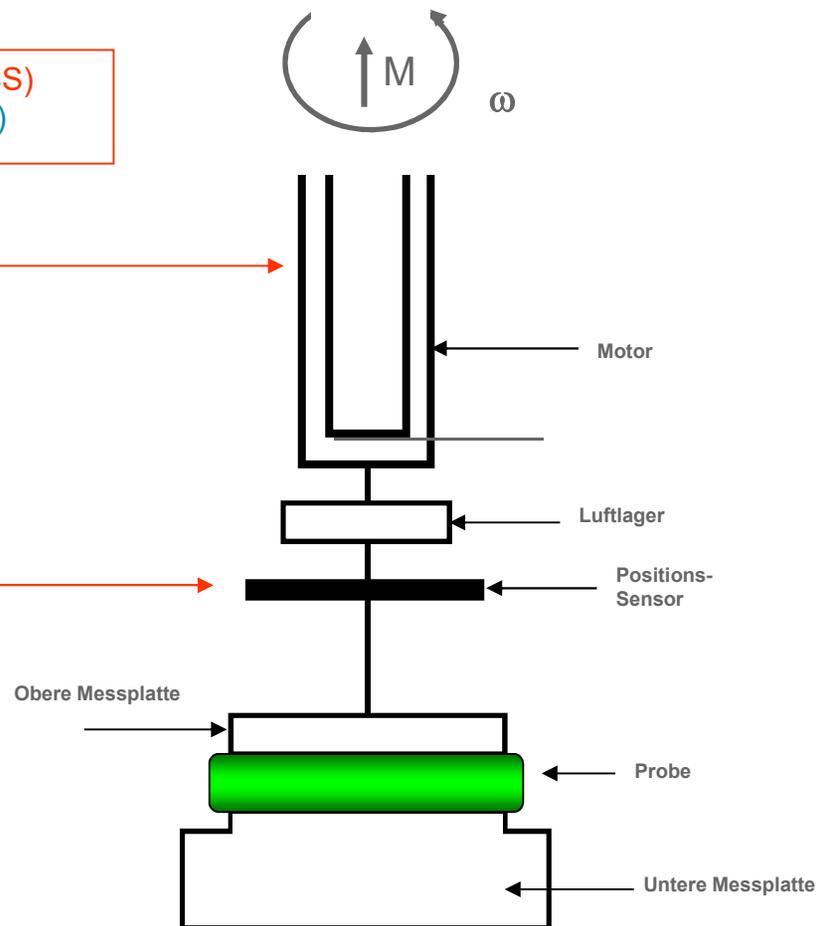
- Scherratenabhängigkeit der Scherviskosität: Relativmessung nicht sinnvoll !
- Für Scherviskositätswerte muß jeweilige Scherrate angegeben werden !

# 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

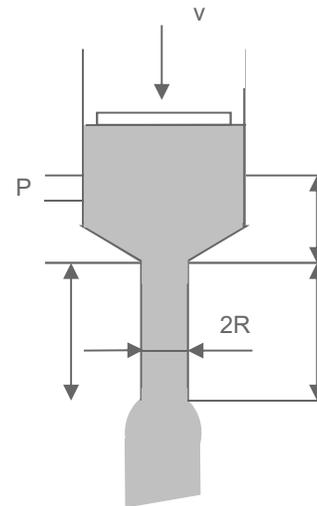
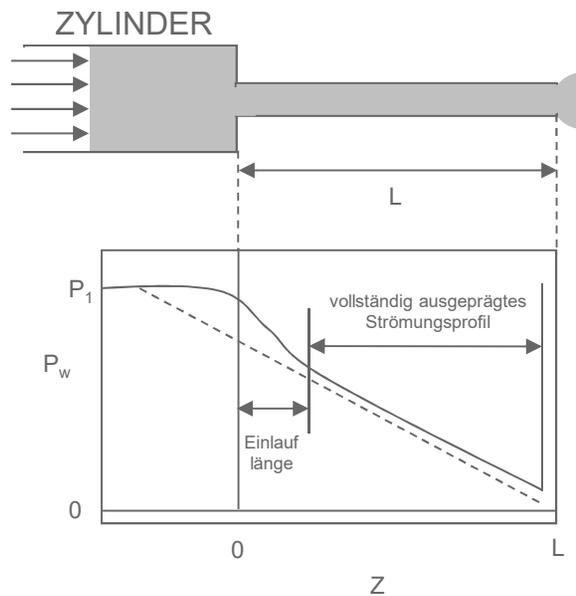
Vorgabe: Stempelgeschwindigkeit  $\Rightarrow$  Wandscherrate  
 Meßgröße: Gesamtdruckabfall  $\Rightarrow$  Wandschubspannung



RH2000



RH10-D

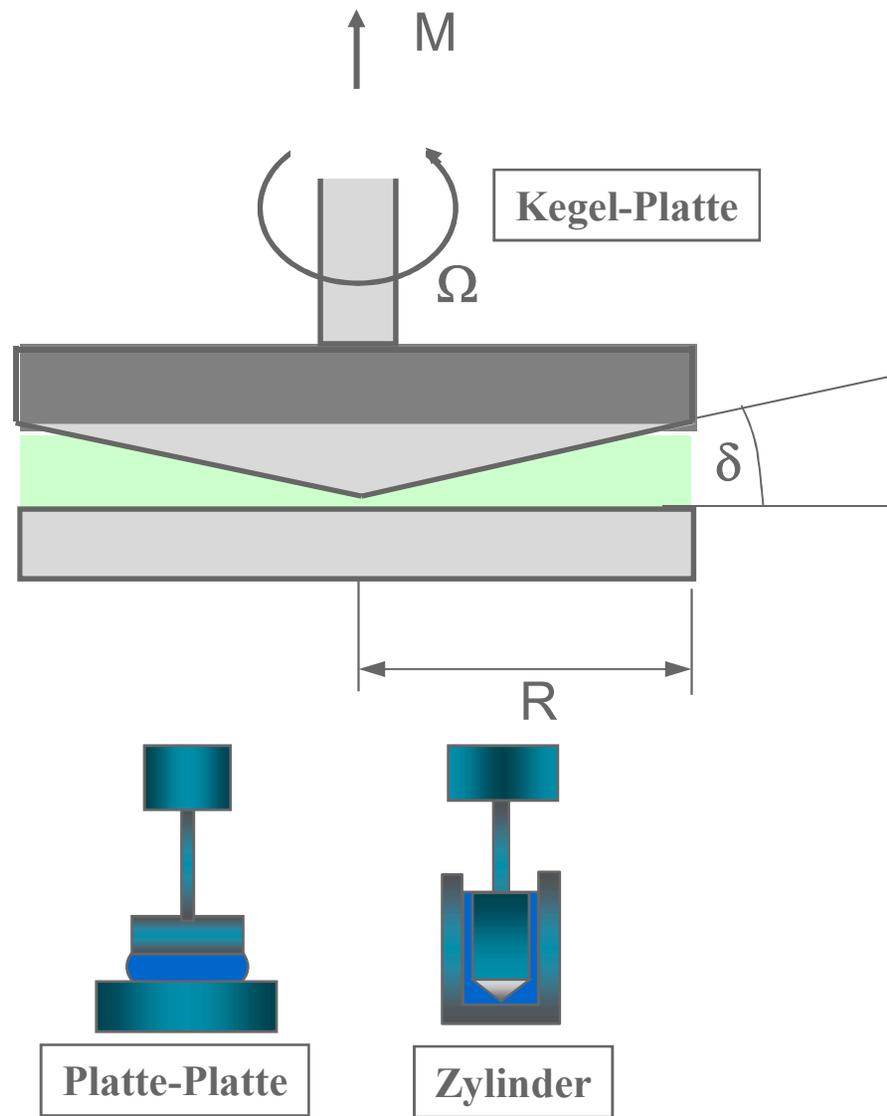


$$\begin{aligned} &\text{Gemessener} \\ &\text{Gesamtdruckverlust} \\ &= \\ &\text{Einlaufdruckverlust} \\ &+ \\ &\text{Scherdruckverlust} \end{aligned}$$

**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  $> 10 * D_{90}$

# 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:**

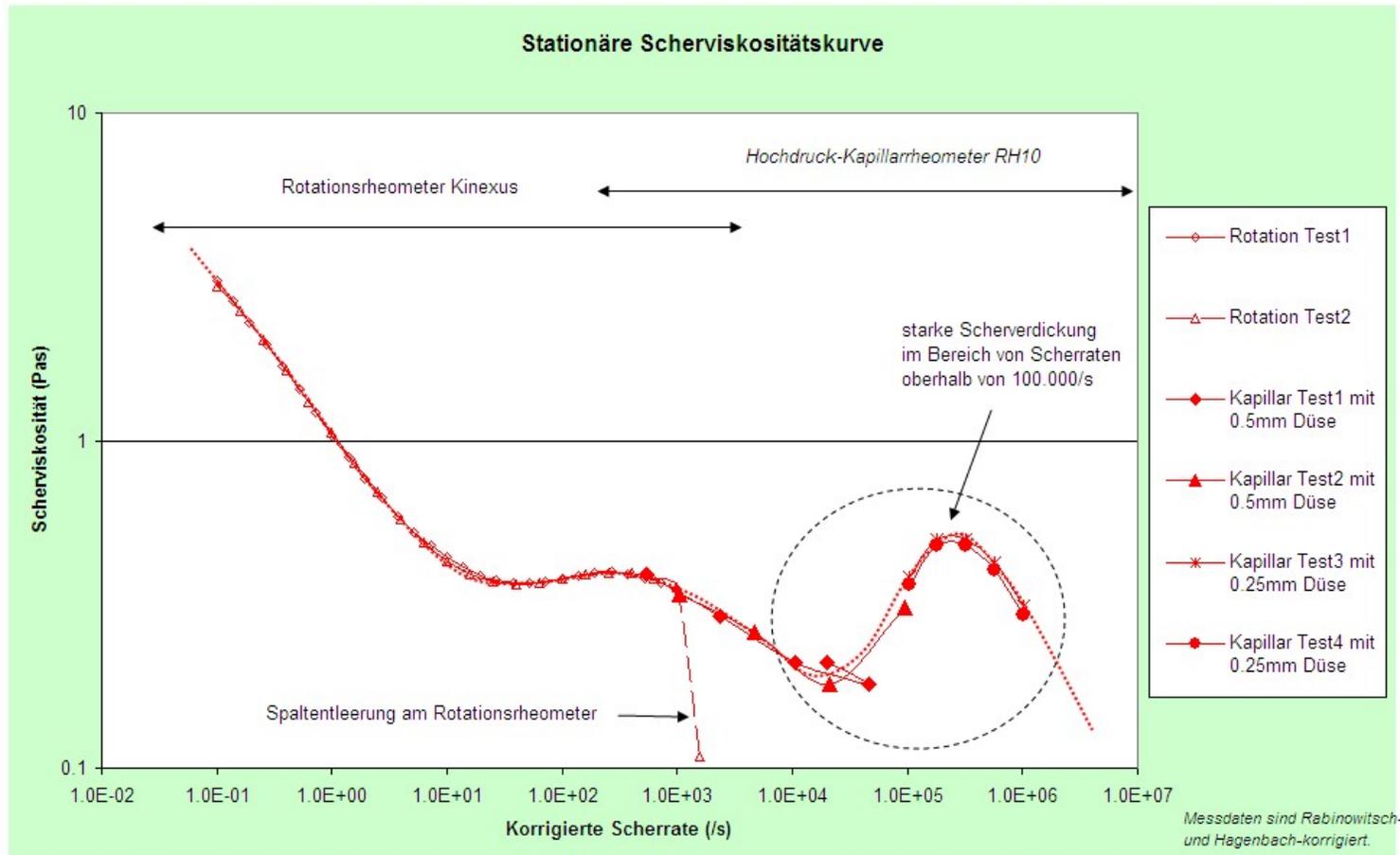
**2.0mm = ca. 0.1 bis 100 /s**  
**1.5mm = ca. 1 bis 1000 /s**  
**1.0mm = ca. 10 bis 10000 /s**  
**0.5mm = ca. 100 bis 100.000 /s**  
**0.25mm = ca. 1000 bis 1.000.000 /s**



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

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

# Anwendungsbeispiel

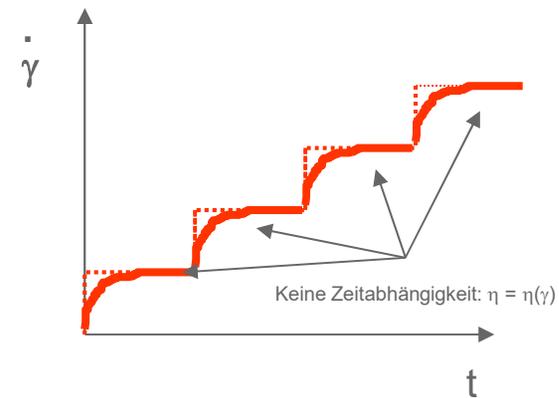
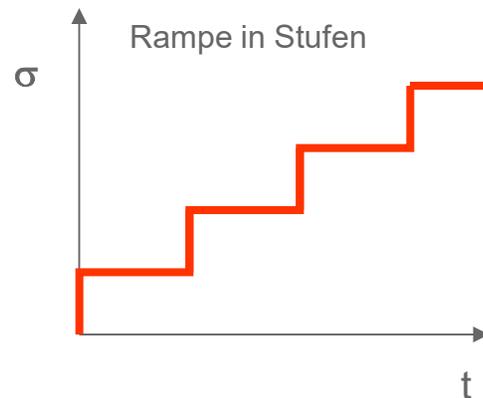


⇒ Komplexes Fließverhalten (Scherverdünnung / Scherverdickung) abhängig vom Scherratenbereich  
⇒ Scherverdickung kann zu Düsenverstopfung beim Sprühauftrag führen

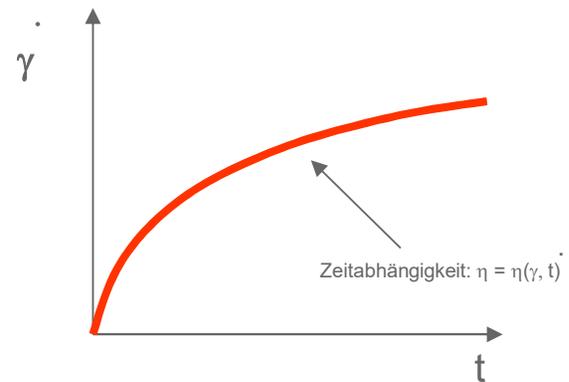
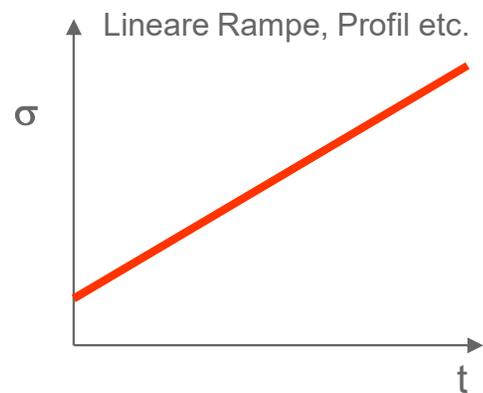
# Messtechnische Aufnahme einer Scherviskositätskurve

*Schubspannungs- oder Scherraten-Vorgabe: Stationäre und instationäre Messroutine*

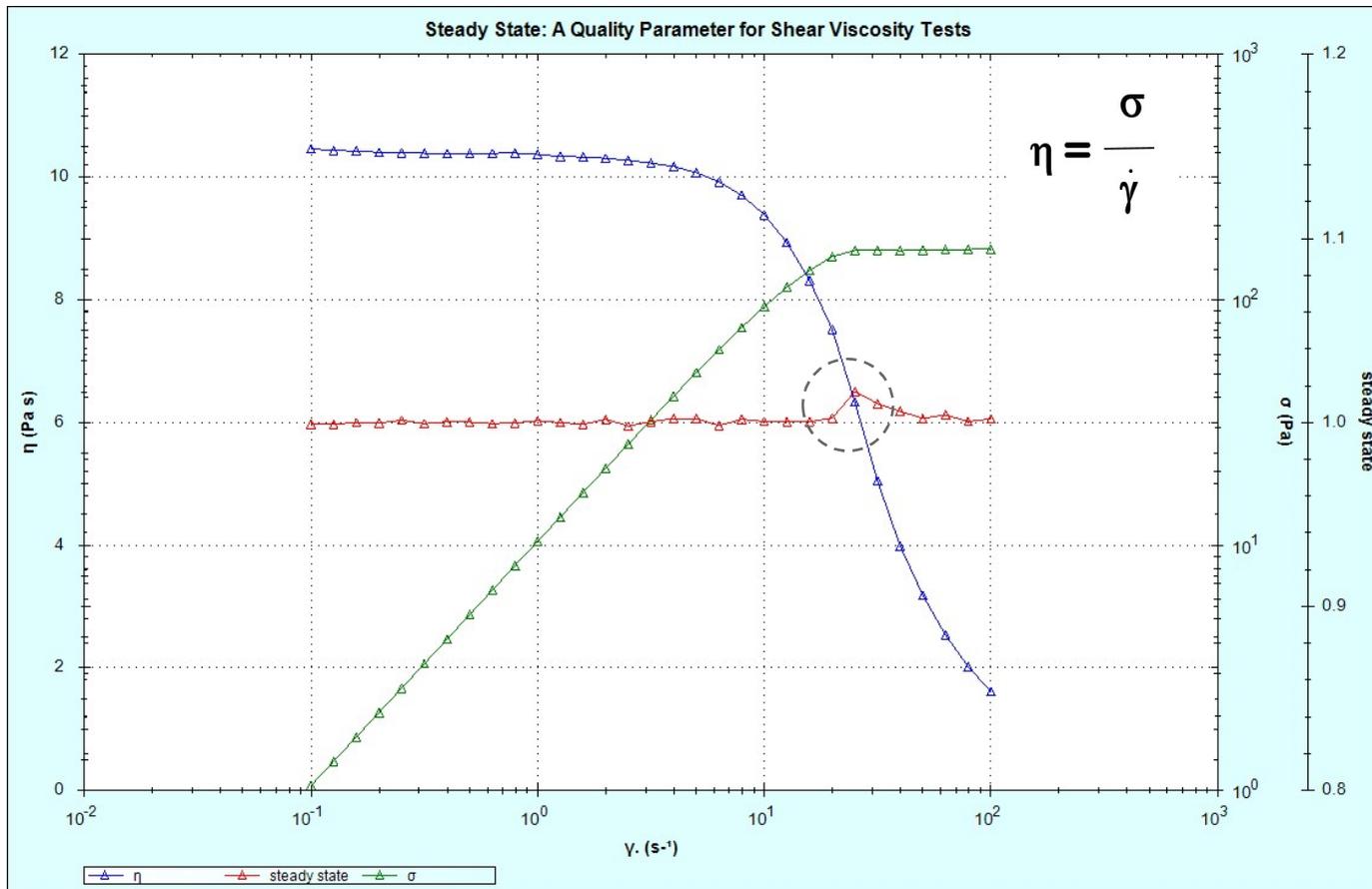
Stationär :



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](http://www.malvernpanalytical.de)

*Email: [torsten.remmler@malvernpanalytical.com](mailto:torsten.remmler@malvernpanalytical.com)*

© 2019 Malvern Panalytical