

**GESTEIGERTE EFFIZIENZ UND FESTIGKEIT:  
DAS STREAMFINISH-VERFAHREN ERMÖGLICHT EINZIGARTIGE  
VERBESSERUNG DER PRODUKTEIGENSCHAFTEN**



# AGENDA

1 OTEC und die Streamfinish-Technologie

2 Streamfinish verbessert die Bauteilfestigkeit am Beispiel von Zahnrädern

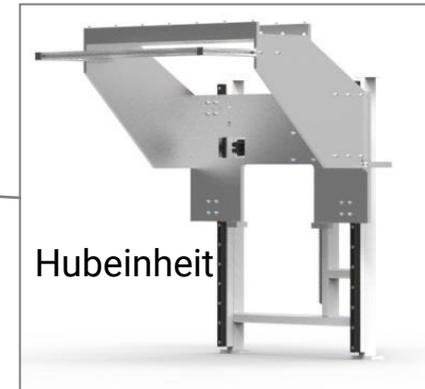
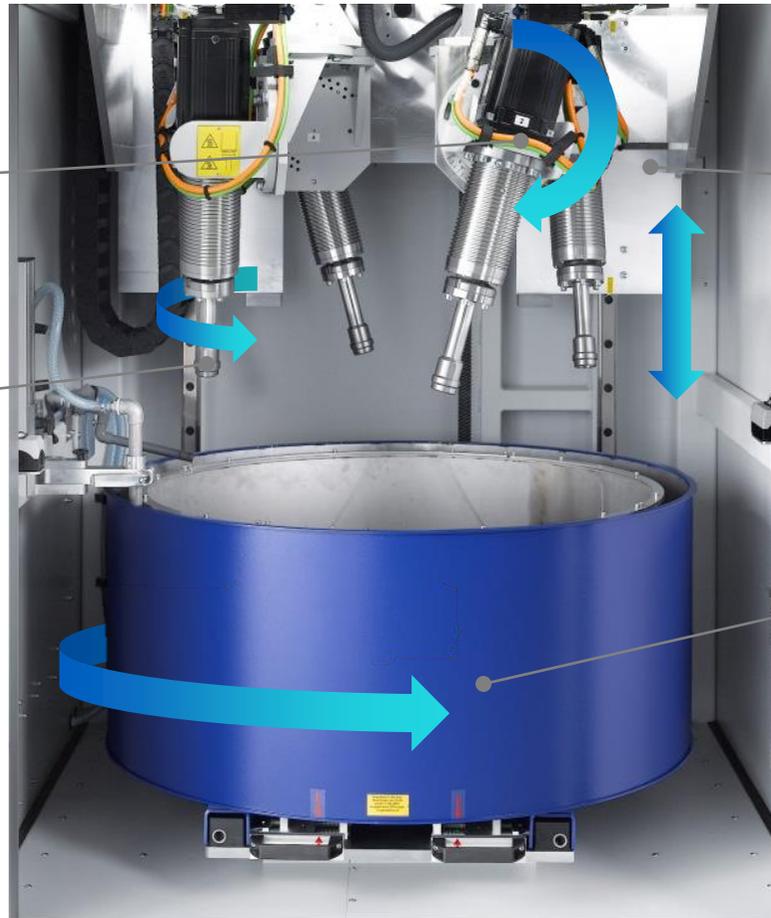
3 Reibkonditionierung und Effizienzsteigerung ermöglicht durch Streamfinish

# STREAMFINISH-MASCHINE

## Prinzip

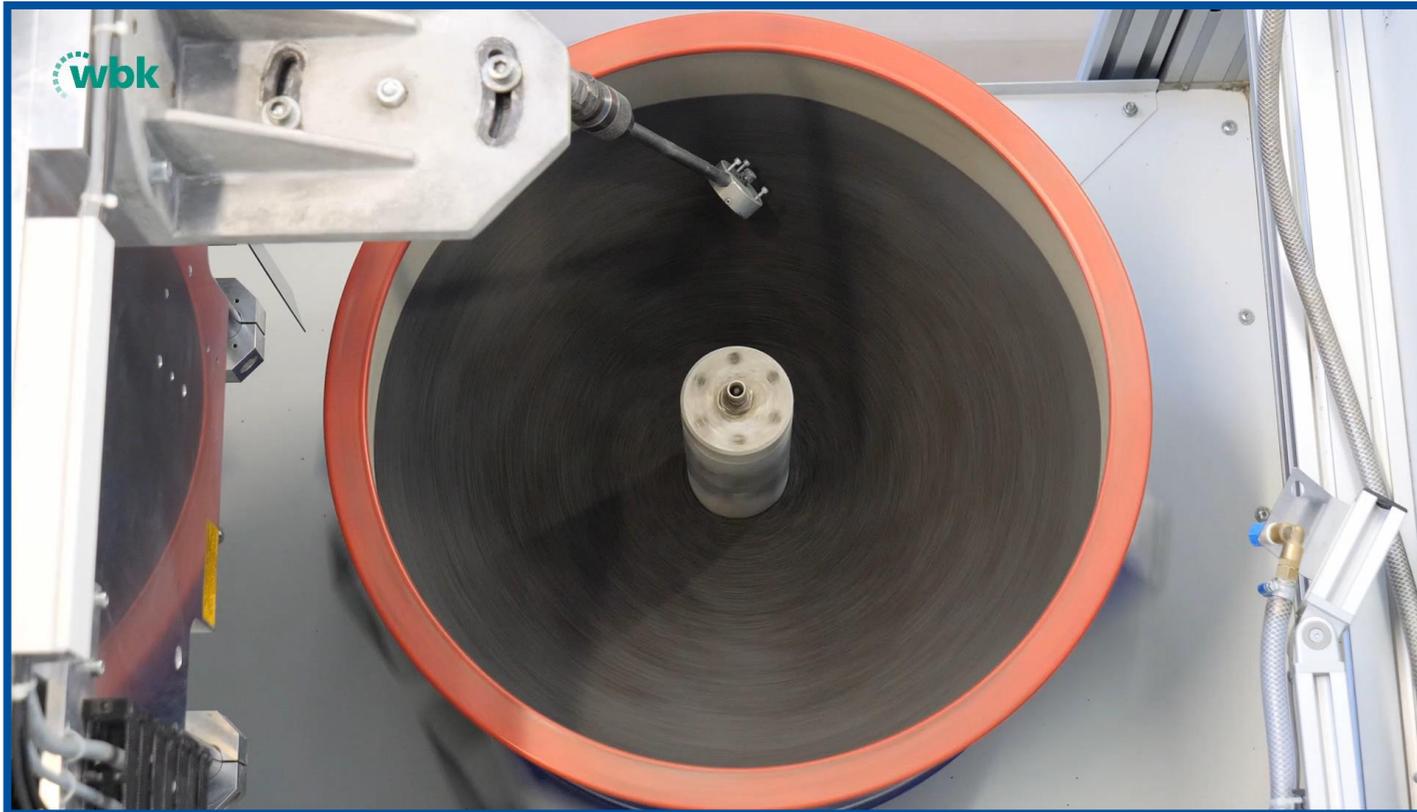
Winkeleinstellung für  
Werkstückhalter (Eintauchwinkel)

Rotierender Werkstückhalter



# STREAMFINISH-PROZESS

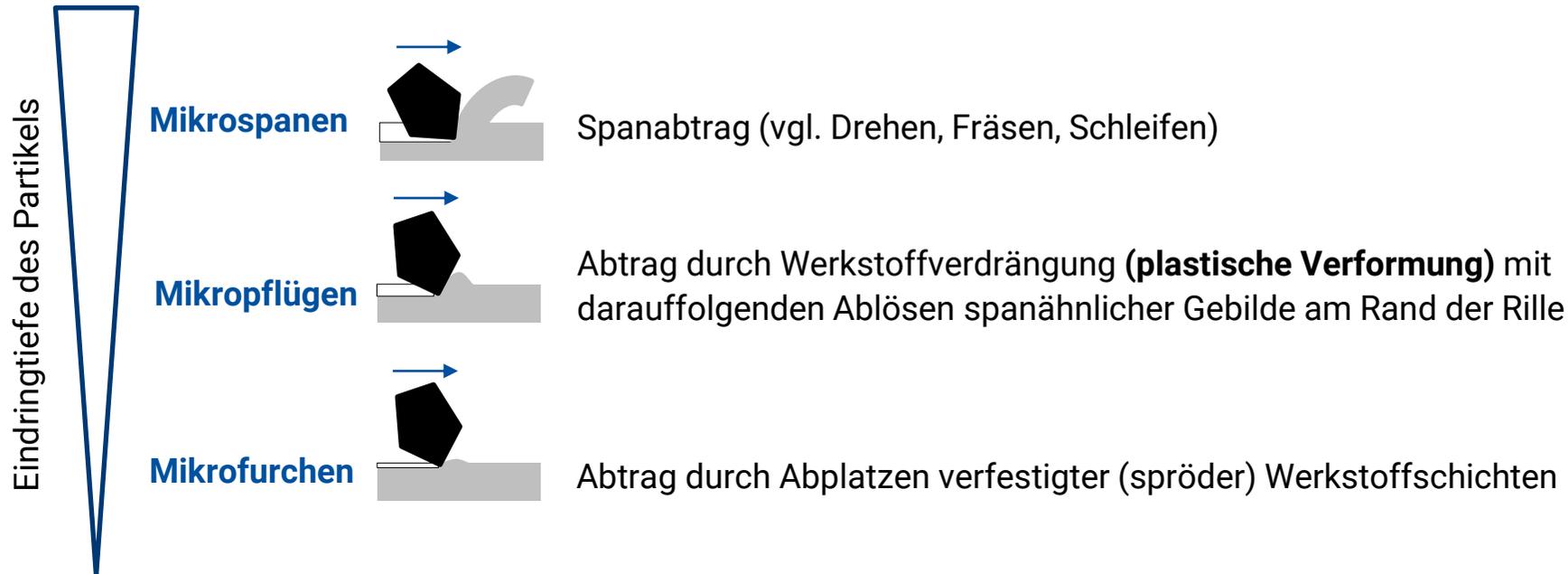
Diskrete Elemente Methode Simulation



## OBERFLÄCHENEINFLUSS DES FINISH

### Abtragsmechanismus des Gleitschleifen (Gleitspanen)

- Gegliedert entsprechend der Eindringtiefe des Schleifmittelpartikels



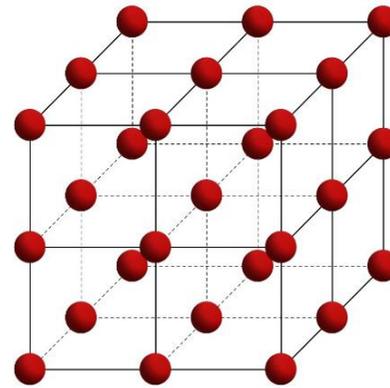
- Hohe Anteile an Pflüge- und Furchungseffekten beim Gleitschleifen

Quelle: Hinz et al. 1988

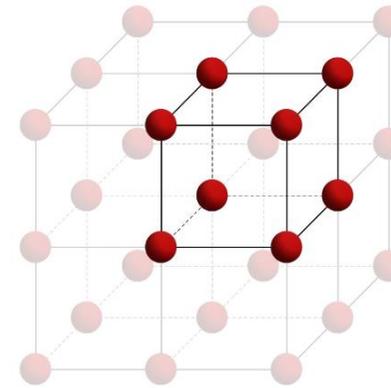
# OBERFLÄCHENEINFLUSS DES FINISH

## Gefüge und Kristallstruktur Metalle

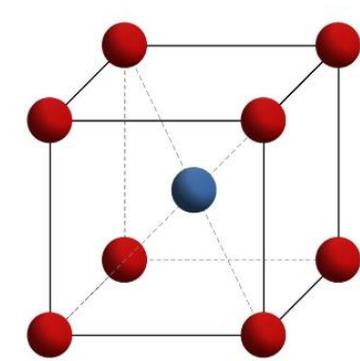
- Metalle haben regelmäßige Kristallstrukturen
- Kristall-“Körner” unterschiedlicher Orientierung sind durch Korn-Grenzen getrennt
- Hoher Festigkeits- und Verformbarkeitseinfluss



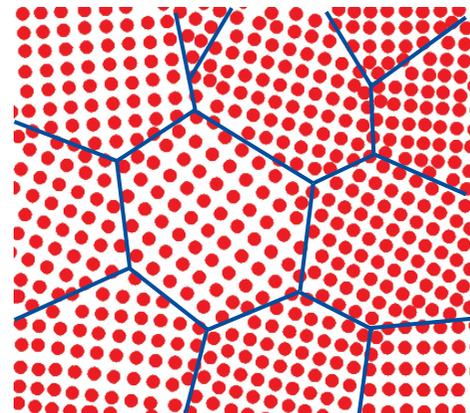
Gitterstruktur



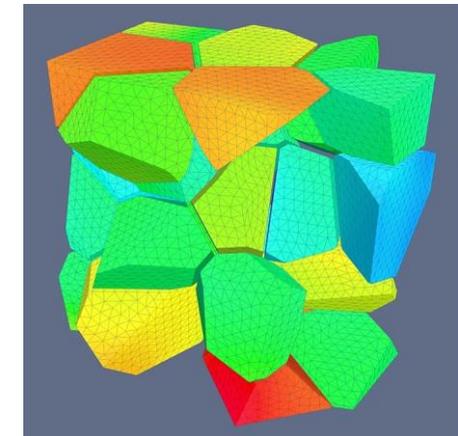
Elementarzelle



krz



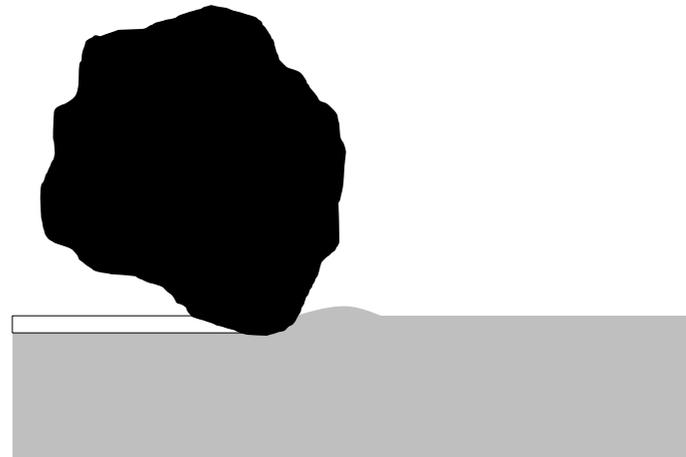
3D  
→



## OBERFLÄCHENEINFLUSS DES FINISH

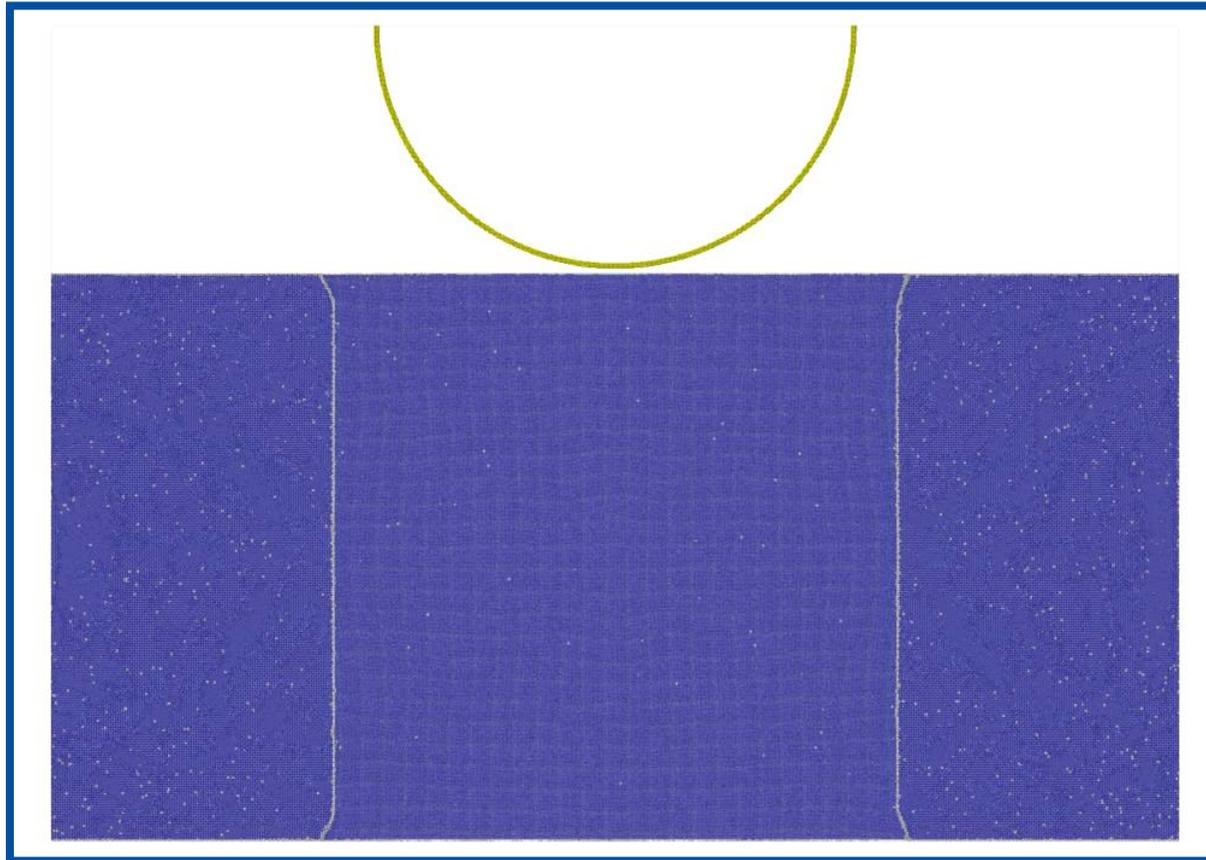
Streamfinish ist eine Reibbeanspruchung...

- Gewollte Abrasion → **Rauheitsreduktion**
- Furchung und Plastifizierung
- Scherbeanspruchung → **Gefügeveränderung**



## OBERFLÄCHENEINFLUSS: MOLEKULARDYNAMIK SIMULATION

Kornfeinung durch steife Körpereindringung und Gleiten



Copyright

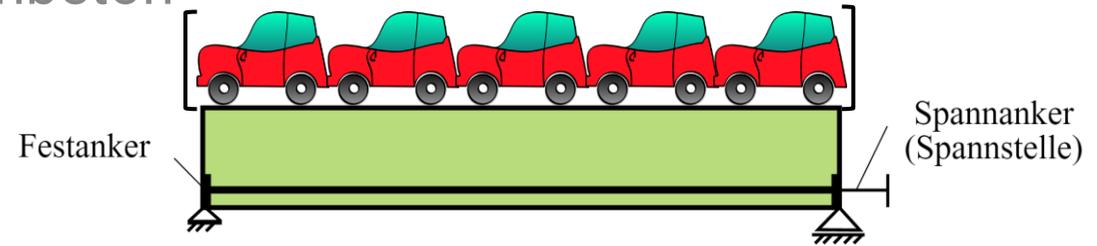
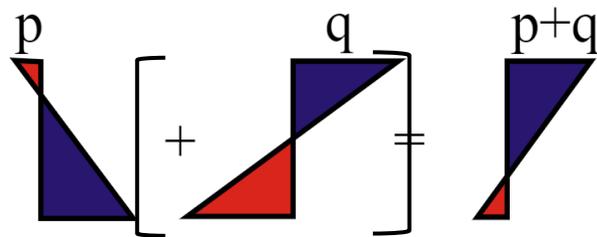
 **Fraunhofer**  
IWM

Kontaktperson:  
Prof. M. Moseler

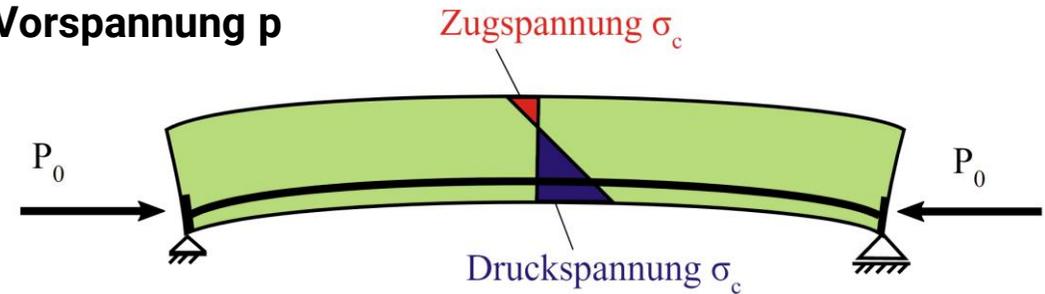
# OBERFLÄCHENEINFLUSS : DRUCKEIGENSINNUNGEN

## Druckeigenspannung: Analogie zum Spannbecon

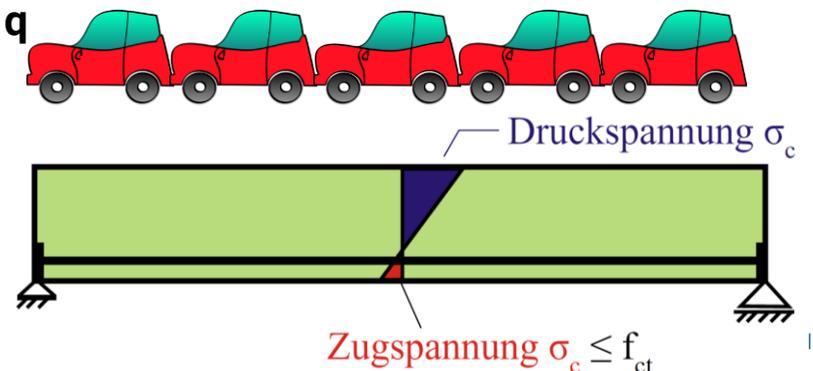
- Zugspannung lässt Risse wachsen
- Druckspannung behindert Risswachstum
- (Ermüdungs-) Festigkeit wird gesteigert



Vorspannung p



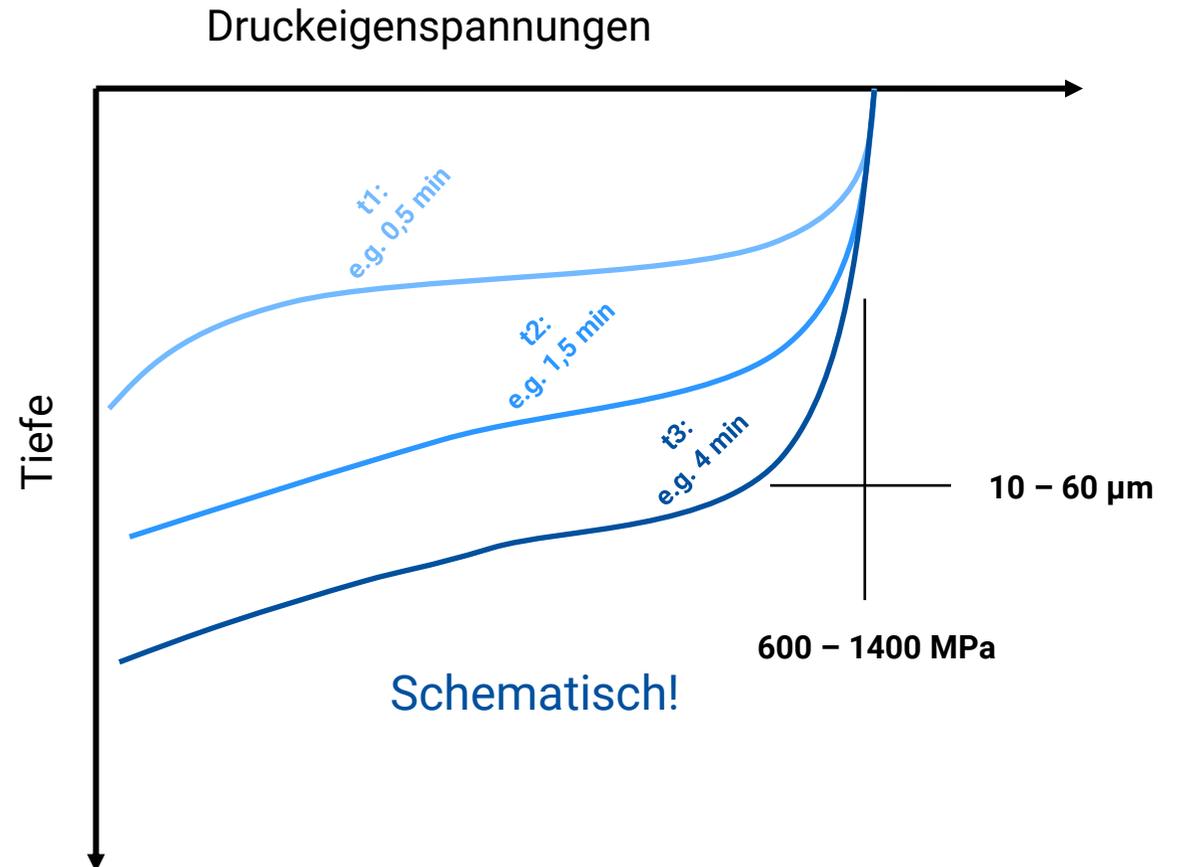
Belastung q



# OBERFLÄCHENEINFLUSS : DRUCKEIGENSINNUNGEN

## Druckeigenspannung – Schematische Entwicklung

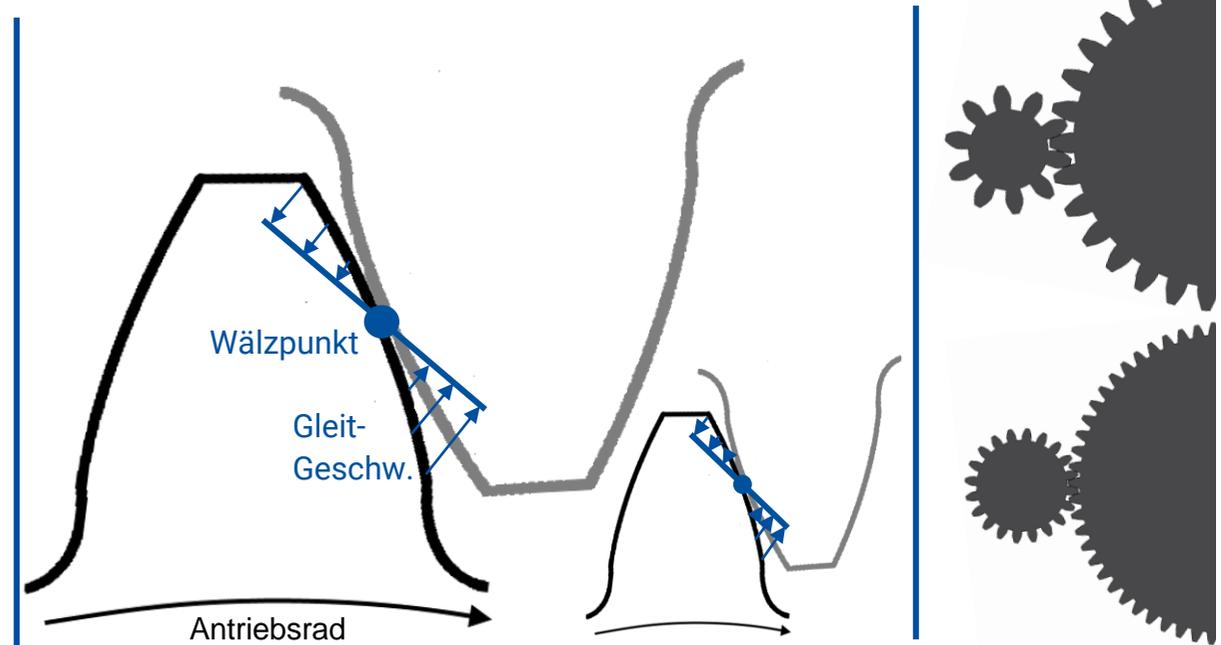
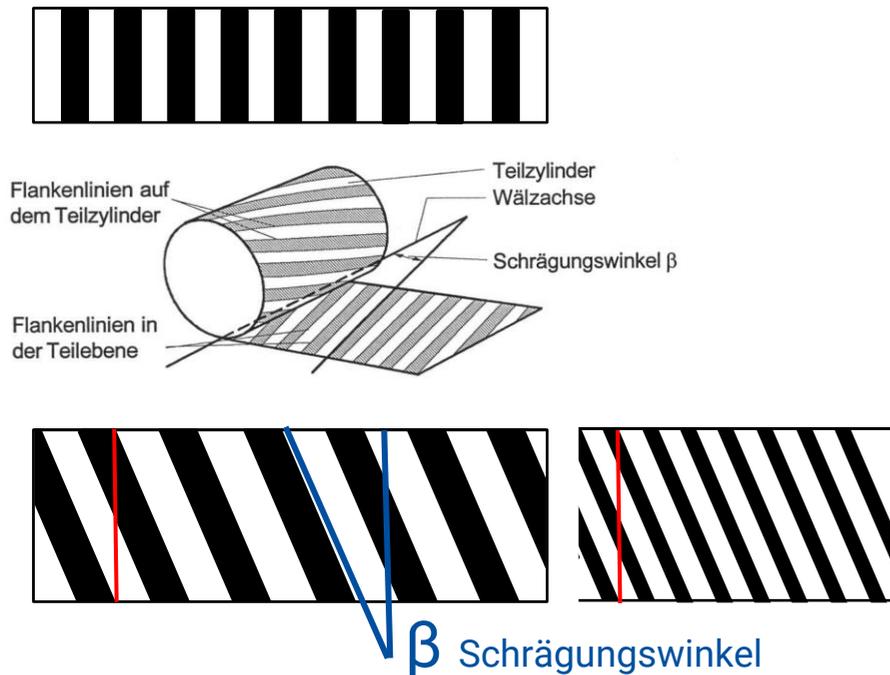
- Scherbeanspruchung bewirkt Druckeigenspannungen
- Spannung nimmt in Tiefe über Zeit bis zum Tiefenlimit zu
- Spannung an der Oberfläche anfänglich bereits am Spannungs-Limit
- **Limits sind abhängig von Material und Prozess** (z.B. Parameter, Media)



# PROBLEMSTELLUNG AM ZAHNRAD

Es ist ein Festigkeitsproblem

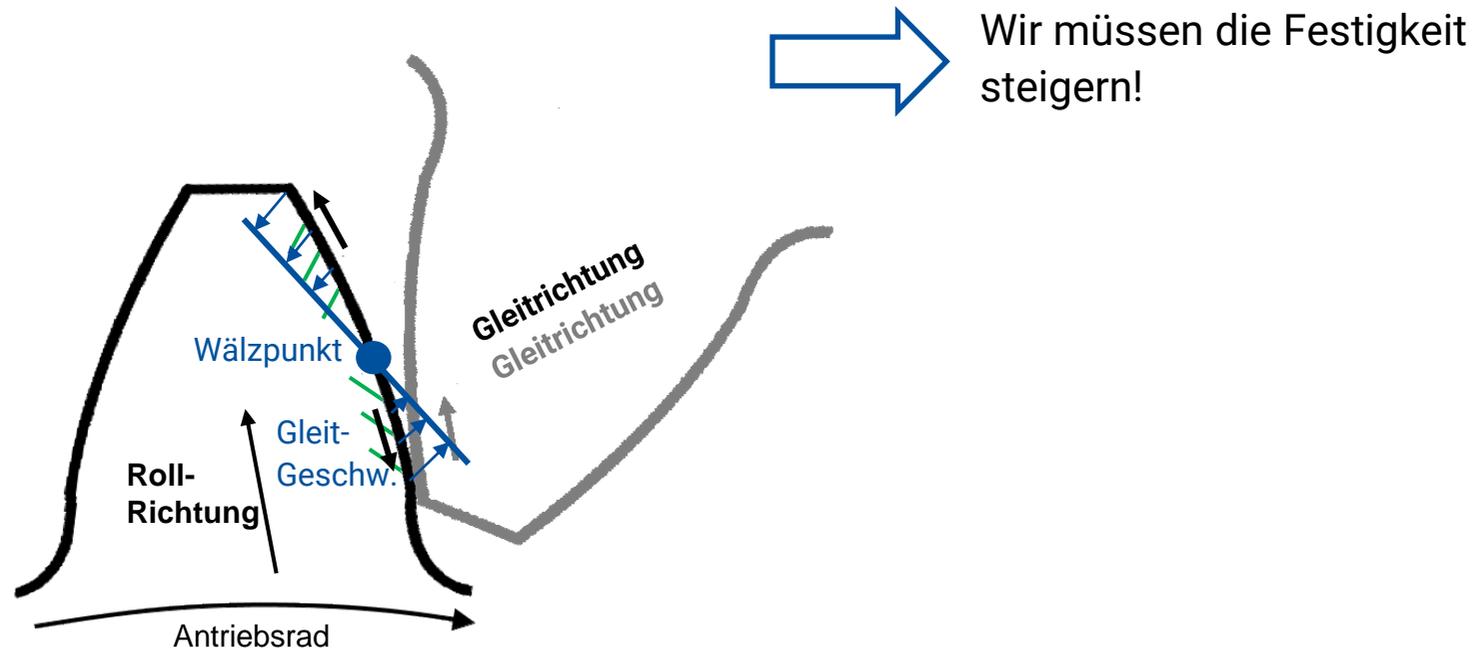
- NVH → Geringerer Modul → Festigkeitsproblem
- Efficiency → kleiner Modul, wenige Stufen, Kosten → Festigkeitsproblem
- Gewichtsoptimierung, Bauraum, Kosten → kleiner Modul → Festigkeitsproblem



## PROBLEMSTELLUNG AM ZAHNRAD

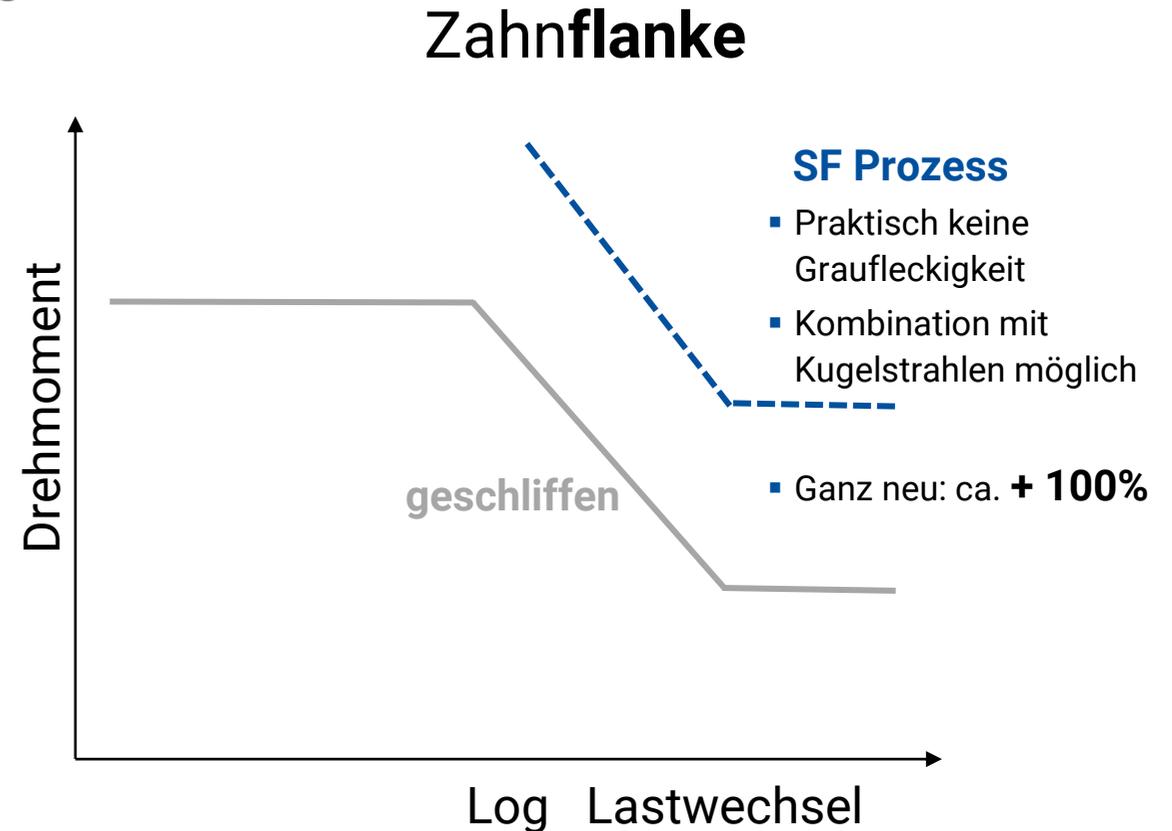
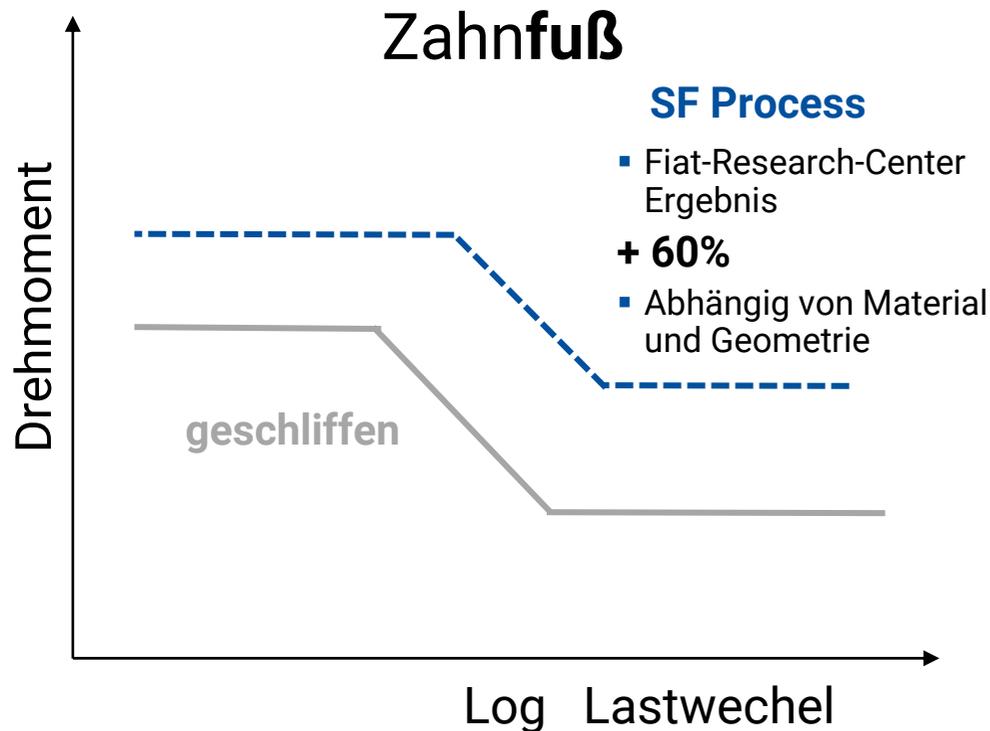
Es ist ein Festigkeitsproblem

- NVH → Geringerer Modul → Festigkeitsproblem
- Efficiency → kleiner Modul, wenige Stufen, Kosten → Festigkeitsproblem
- Gewichtsoptimierung, Bauraum, Kosten → kleiner Modul → Festigkeitsproblem



## DAS FESTIGKEITSPROBLEM HERAUSFORDERN...

Verbesserte Verzahnungs-Tragfähigkeit



# KEINE GRAUFLECKIGKEIT IM VERGLEICH ZUM GESCHLIFFENEN FZG RAD

## Effizienz im E-Antriebsstrang

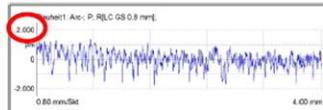
Entwicklung Getriebe (EG)

7



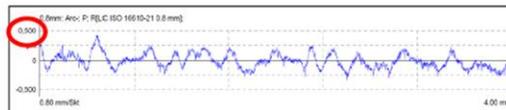
### Ra,max vs. Ra,min Versuch

#### Ra,max



Ra	0,4116 µm
Rz	2,6422 µm
Rmax	2,9613 µm
Rt	3,1955 µm
Rp	0,9941 µm
Rp(ASME)	1,4163 µm

#### Ra,min



Rauheitskennwerte - 0,8mm: Arc-; P; R[LC ISO 16610-21 0,8 mm]:	
Ra	0,096 µm 0,000
Rz	0,537 µm 0,000
Rt	0,769 µm 0,000
Rpm	0,270 µm 0,000
R SK	0,102 0,000
Rdq	0,023 0,000
Kernrauhheitskennwerte - 0,8mm: Arc-; P; R[LC ISO 13565 0,8 mm]:	
Rk	0,365 µm 0,000
Rpk	0,116 µm 0,000
Rvk	0,076 µm 0,000



@ 18,5 Mio LW

Beginnende Graufleckigkeit



@ 75 Mio LW

@ 22 Mio LW

Bearbeitungsspuren vom Gleitschleifen

Keine Graufleckigkeit sichtbar

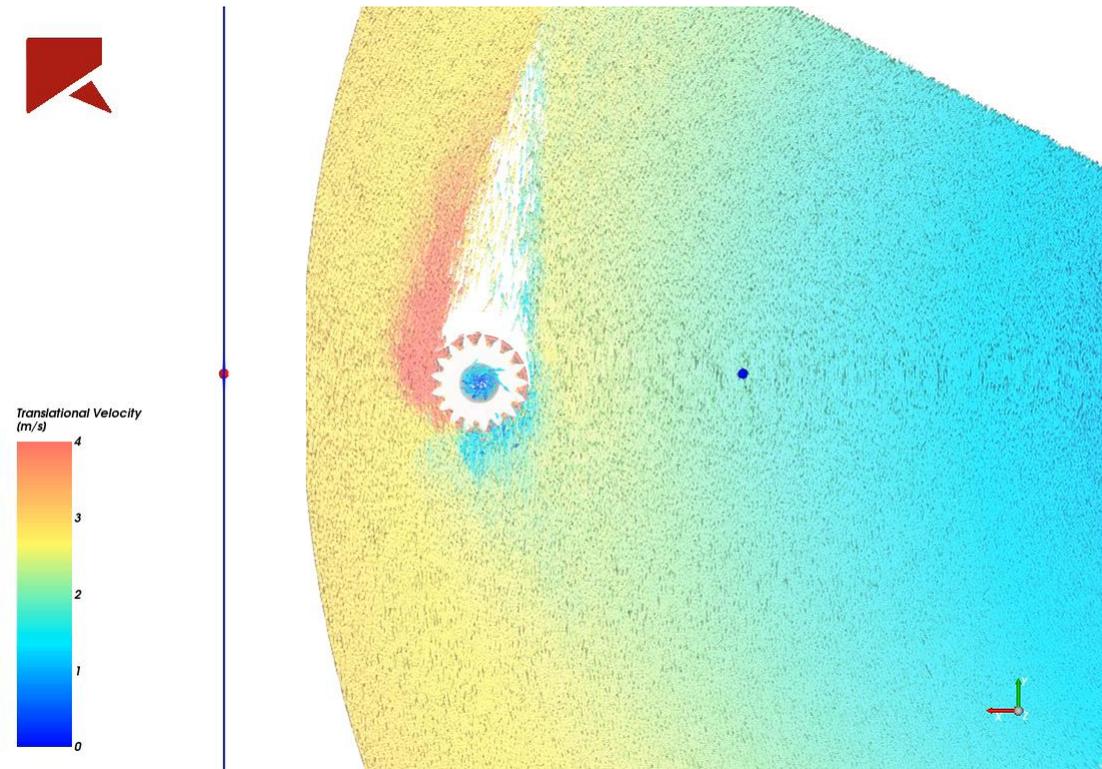
@ 100 Mio LW

Daten:

- FZG Typ C
- 1,7 GPa
- ISO VG 100

## DAS FESTIGKEITSPROBLEM HERAUSFORDERN...

DEM Simulation – Ritzelwelle Pumpeffekt im SF-Prozess

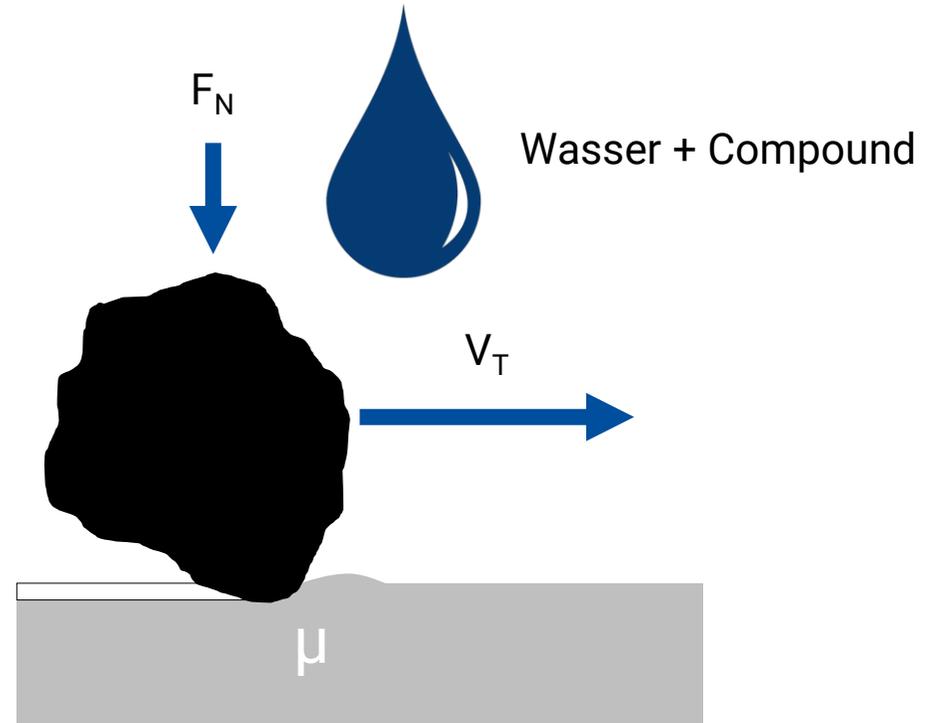


## OBERFLÄCHENEINFLUSS DES FINISH

Streamfinish ist eine Reibbeanspruchung...

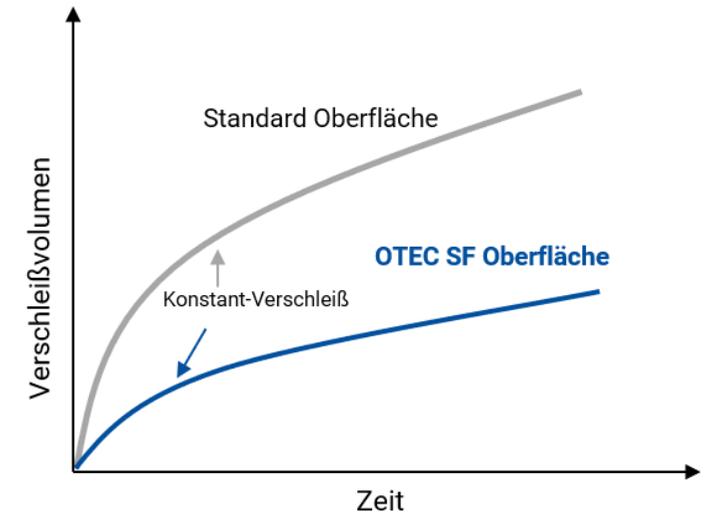
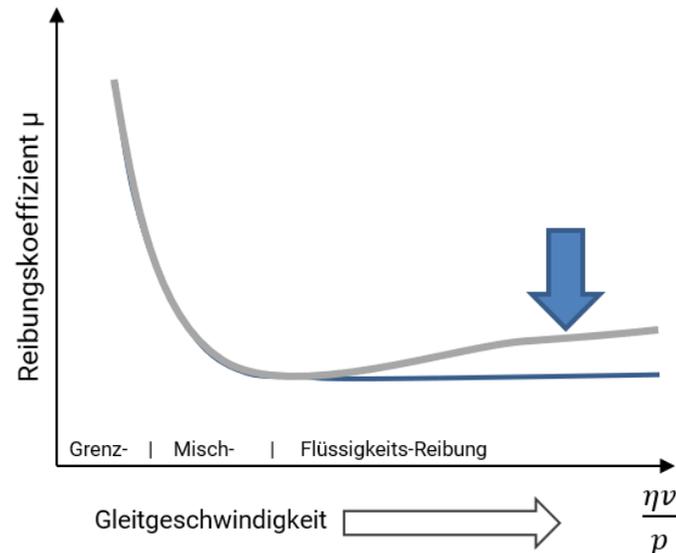
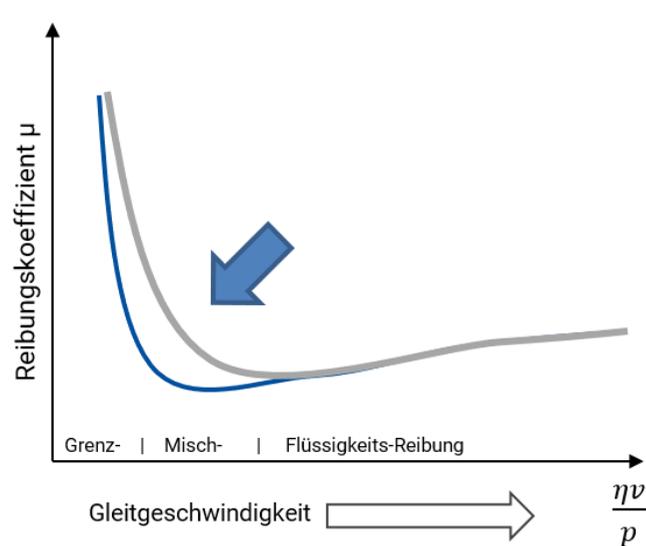
- Gewollte Abrasion → Rauheitsreduktion
- Furchung und Plastifizierung
- Scherbeanspruchung → **Gefügeveränderung**
- Reibenergie → **Reibkonditionierung**

$$P_F = F_N \times V_T \times \mu$$



## REIBKONDITIONIERUNG: VORTEILE DES FINISH

Reibung und Verschleiß verringert



- Reduzierte Rauheitsspitzen
- Verbesserte Schmierfilmstabilität
- **Deutlich verringerte Anteile im Grenz- und Mischreibungsbetrieb**

- Verbesserte Schmierfilmstabilität
- **niedrigviskoses Öl zu ähnlichen Kontaktbedingungen**

- Endbearbeitungs-Einlauf
- **Dritter Körper reduziert Reibung und Verschleiß**
- Stabiler Verschleißkorridor
- Kein zusätzlicher Einlauf notwendig

## REIBKONDITIONIERUNG

### Dritter Körper – die bessere Reiboberfläche

Hoher Reibenergie-Eintrag unseres Prozesses führt zu:

#### Leicht scherbare Schicht:

- Verunreinigung der Grenzschicht (→AES Graph)
- Nur einige nm dick
- Einfach zu verformende Schicht

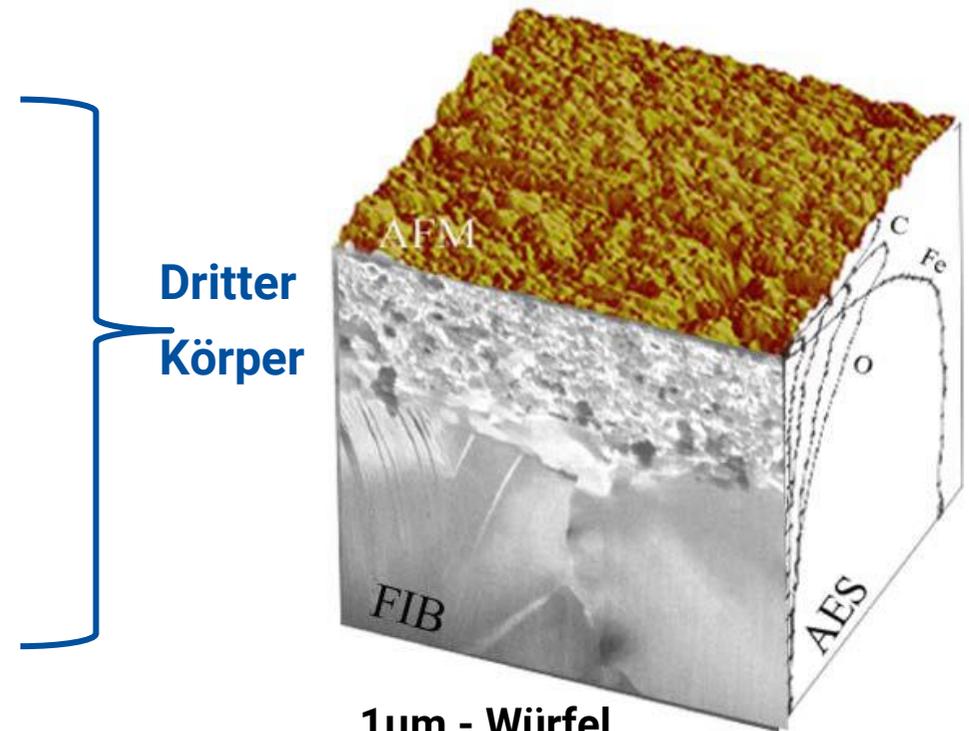
→ **Reduziert die Reibungszahl**

#### Verschleißschutzschicht:

- Scherspannung induziert nanokristalline Schicht (→FIB Bild)
- Erhöhte Festigkeit, Hall-Patch-Effekt

→ **Reduziert Verschleiß**

*Dritter Körper* "wächst" in die Oberfläche – bei fortgesetztem Reibenergieeintrag - geht nicht durch Verschleiß verloren



**1 µm - Würfel**

Quelle: µTC Karlsruhe

## OBERFLÄCHENEINFLUSS DES FINISH

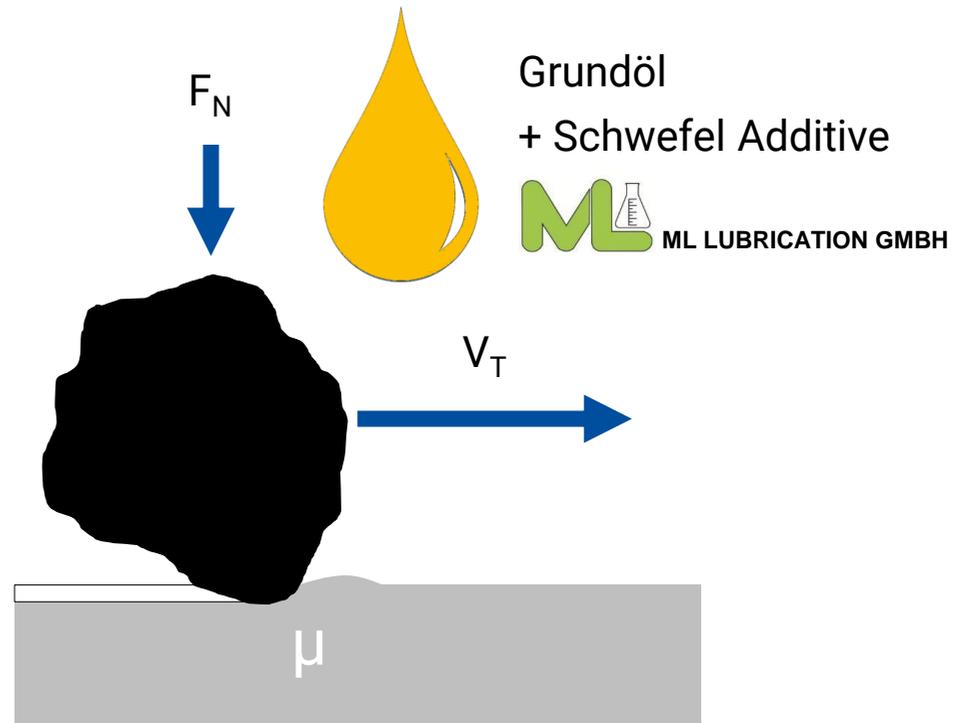
Streamfinish ist eine Reibbeanspruchung...

- Gewollte Abrasion → Rauheitsreduktion
- Furchung und Plastifizierung
- Scherbeanspruchung → Gefügeveränderung
- Reibenergie → Reibkonditionierung
- Reibenergie → **Aktivierungsenergie**

→ XPS



$$P_F = F_N \times \mu \times V_T$$

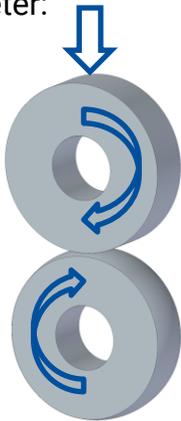


# REIBUNGSTEST ERGEBNISSE

## Amsler 2-Scheiben Test - Ergebnisse

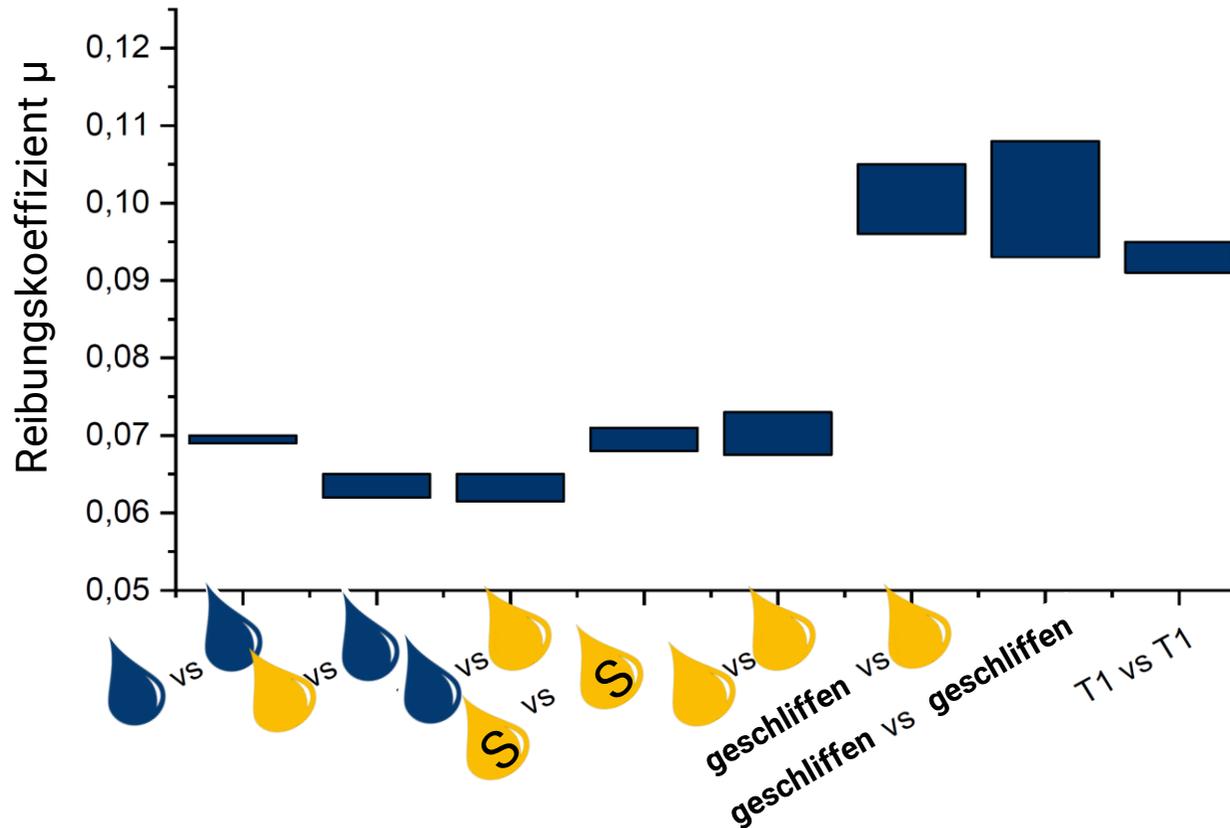
Versuchsparameter:

- 2 GPa
- 1,26 m/s
- 10% slip
- Ca. 70 h



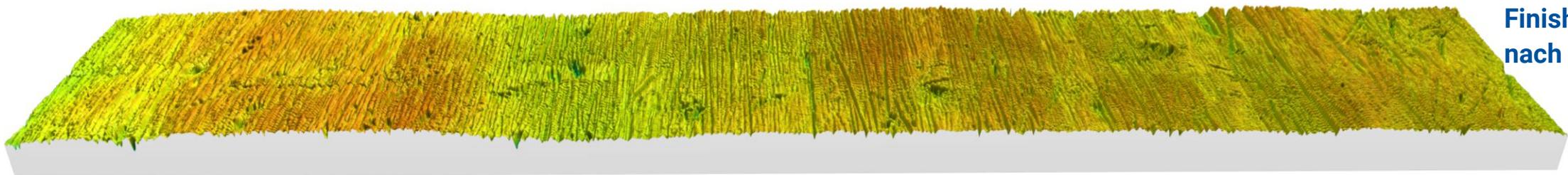
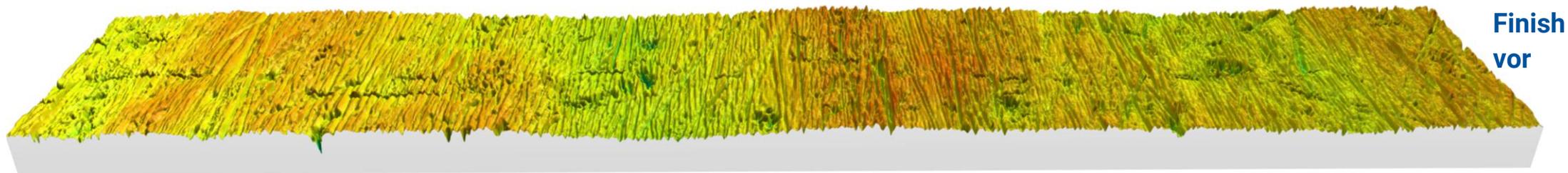
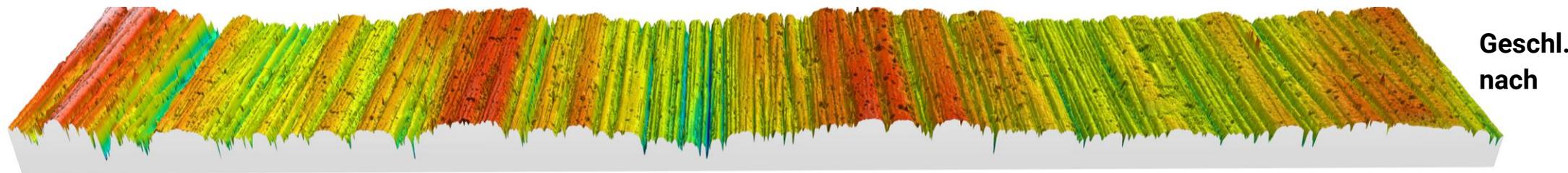
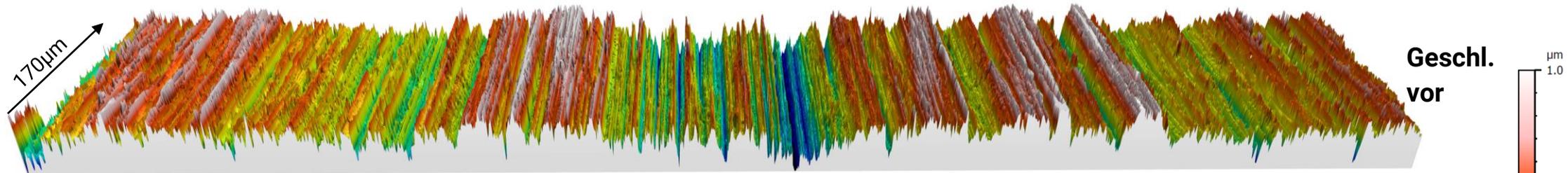
Scheibenparameter:

- 16 MnCr5
- 60 + 4 HRC



### Ölparameter

Viskositäts Klasse	ISO VG 32
Öltyp	Mineral
Additive	voll-formuliertes Getriebeöl
Öltemp.	50° C



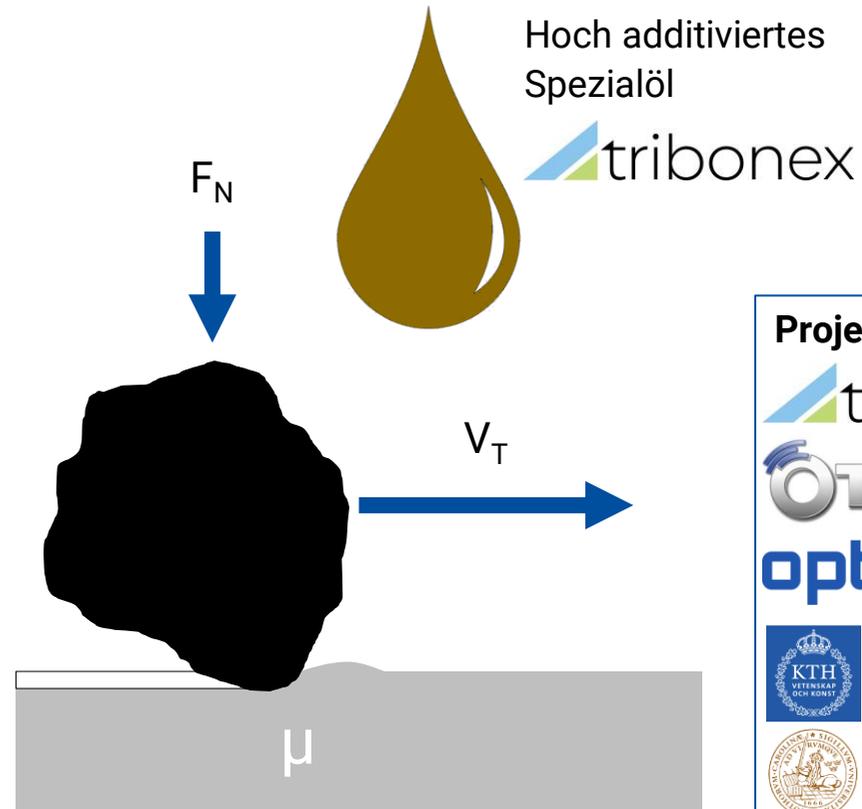
1000 µm

## OBERFLÄCHENEINFLUSS DES FINISH

Streamfinish ist eine Reibbeanspruchung...

- Gewollte Abrasion → Rauheitsreduktion
- Furchung und Plastifizierung
- Scherbeanspruchung → Gefügeveränderung
- Reibenergie → Reibkonditionierung
- Reibenergie → **Aktivierungsenergie**

$$P_F = F_N \times \mu \times V_T$$



Projekt „Effigears“:

 tribonex

 OTEC

opto · surf



KTH Universität

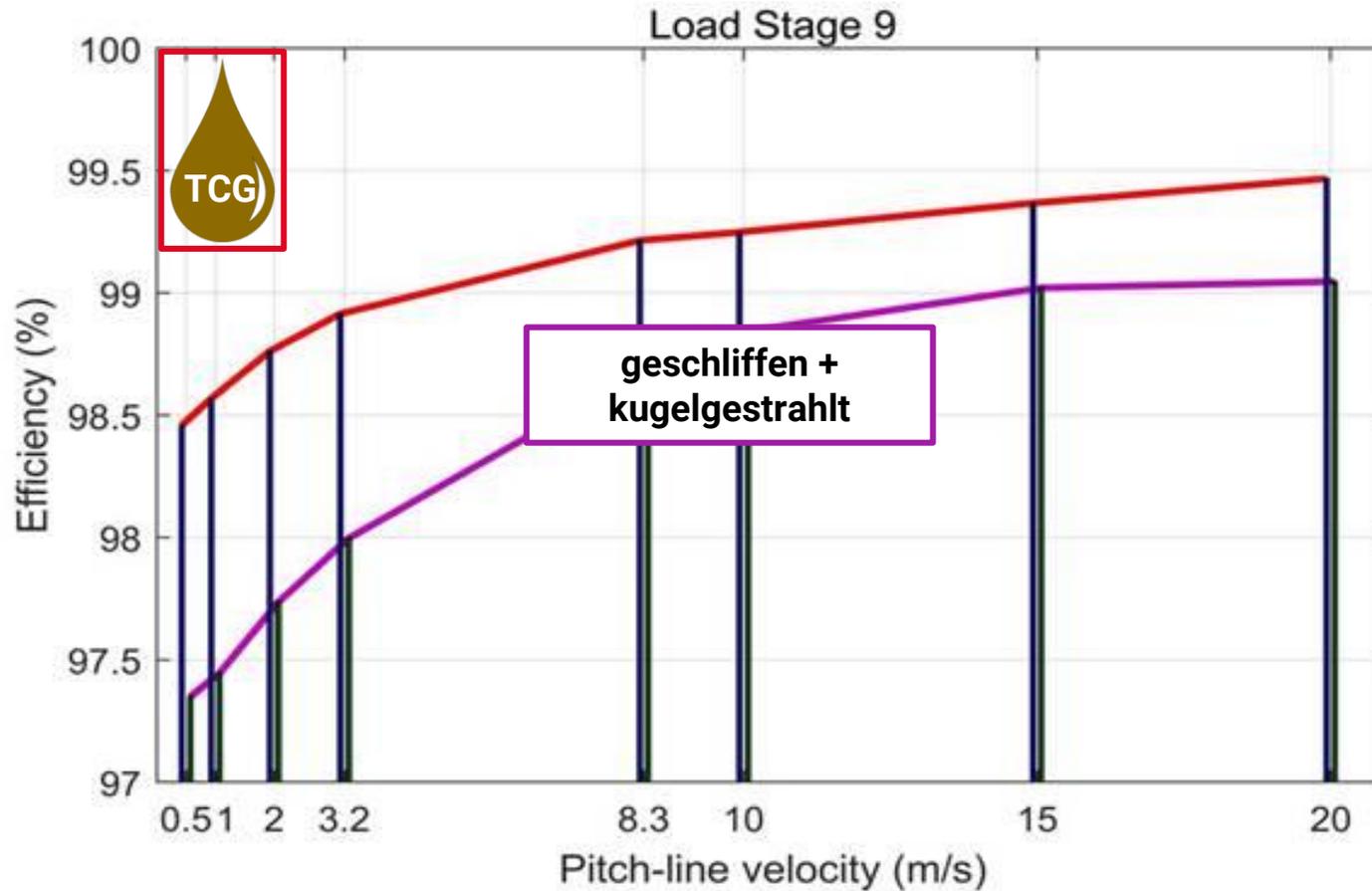


Lund´Universität

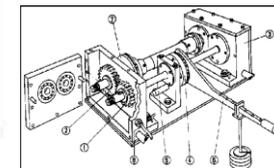
# FZG VERZÄHNUNGSWIRKUNGSGRAD

Typ C Zahnrad bearbeitet mit TCG Technologie – OTEC Streamfinish + Tribonex Öl

Rauheit RMS	Rq /
Geschliffen + Kugelgestrahlt	0,40
Geschliffen + Kugelgestrahlt	0,18



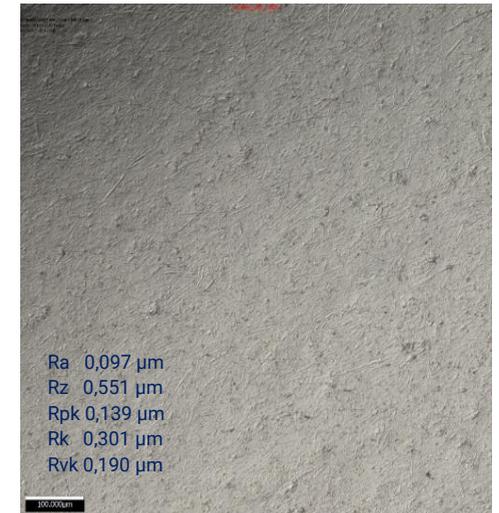
Ölparameter	
Viskosität bei 100 °C	3,3 mm <sup>2</sup> /s
Viskosität bei 40 °C	12 mm <sup>2</sup> /s
Viskositäts-Index VI	151
Öltyp	PAO
Öltemper.	80° C



## FAZIT

### Was ist ihr Problem? Kommen Sie auf uns zu!

- Wir haben Lösungen für eine Vielzahl der Probleme unserer Kunden
- Festigkeit und Effizienz verbessert in einzigartiger Kombination
- Kommen Sie auf uns zu damit wir Ihr Problem gemeinsam lösen können
- Musterbearbeitungen in unserem Finishing Center zur Prozessentwicklung



**DANKE FÜR IHR AUFMERKSAMKEIT!**

**Florian Reinle**

M.Sc.

Vorentwicklung & Tribologie

E-Mail: [f.reinle@otec.de](mailto:f.reinle@otec.de)

OTEC Präzisionsfinish GmbH  
Heinrich-Hertz-Straße 24  
75334 Straubenhardt | Germany

