

FNR Bioschmierstoff-Tagung 2021

Entwicklung biobasierter Metallbearbeitungsöle für die kryogene Minimalmengenschmierung (ECO₂il)

Prof. Dr.-Ing. Nico Hanenkamp, Trixi Meier M. Sc.



1

Projektvorstellung

2

Kryogene Minimalmengenschmierung

3

Chemische und technologische Bewertung der biobasierten Grundöle

4

Kryogene Minimalmengenschmierung mit biobasierten Ölen

5

Zusammenfassung und Ausblick

Allgemeine Informationen

Verbundvorhaben ECO₂il

Projektrahmen

- Projektlaufzeit: 01.06.2019 – 31.05.2022
- Zuwendungshöhe: 392.126,09 €

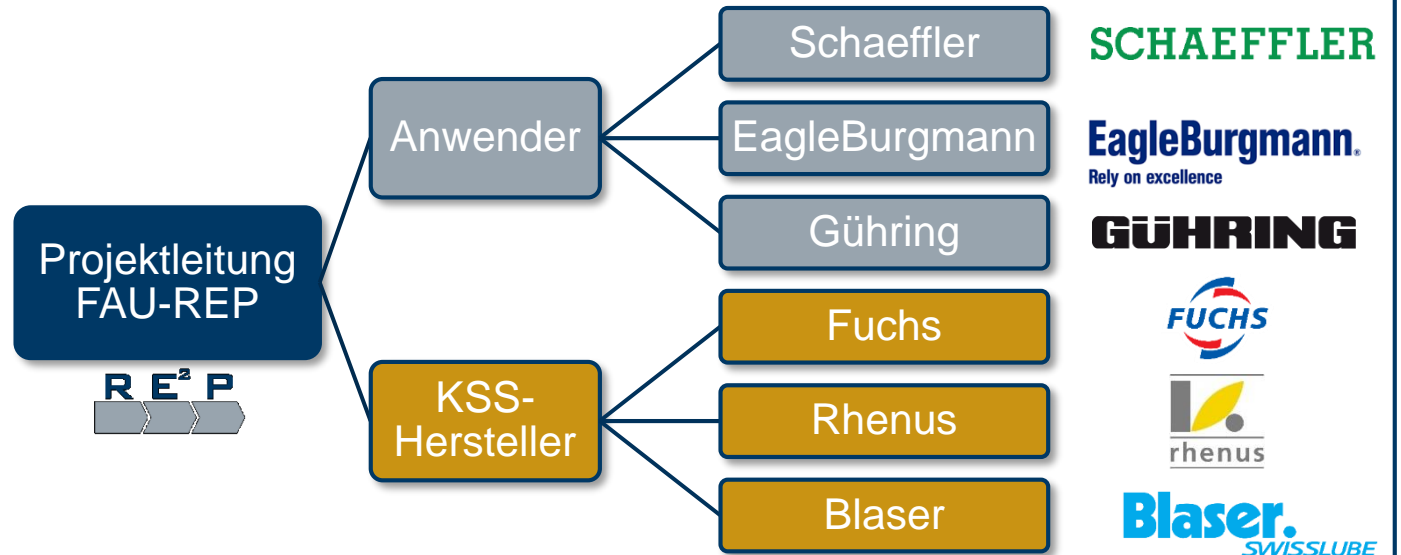
Projektziel

„Das Gesamtziel des Verbundvorhabens besteht darin, biobasierte Schmierstoffe zu entwickeln, die zur Anwendung als Kühlschmierstoff in neuen kryogenen Kühlkonzepten einer Minimalmengenschmierung für die Bearbeitungstechnologien Drehen, Fräsen und Bohren geeignet sind.“

Zuwendungsbescheid vom 01.04.2019

Projektstruktur

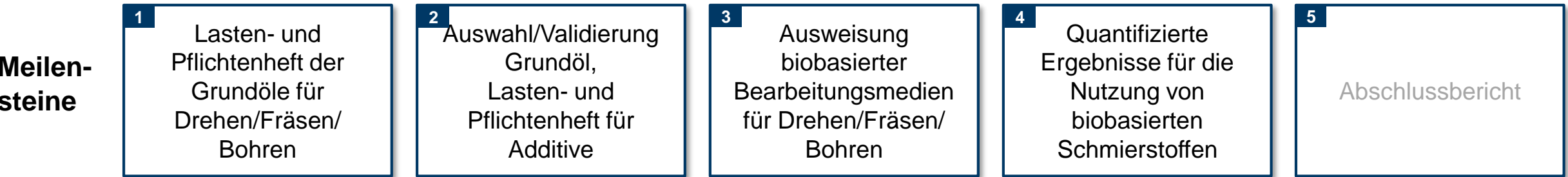
- Förderkennzeichen 22005218
- Organigramm




Projekthalt



Arbeitspakete	1	2	3	4	5
	Definition der Referenzprozesse	Grundölauswahl	Additivauswahl	Validierung an Referenzprozess	Dokumentation
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Werkstoffauswahl ▪ Prozessauswahl ▪ Referenzkriterien 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ökologische Beurteilung ▪ Chemische Beurteilung ▪ Technische Beurteilung ▪ Mischbarkeit ▪ Versuchsdurchführung mit Grundölen (Fräsen, Drehen, Bohren) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ökologische Beurteilung ▪ Chemische Beurteilung ▪ Technische Beurteilung ▪ Mischbarkeit ▪ Versuchsdurchführung mit additivierten Ölen (Fräsen, Drehen, Bohren) ▪ Iterative Optimierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Versuchsdurchführung mit additivierten biobasierten Ölen ▪ Vergleich mit Ergebnissen aus Referenzversuchen ▪ Ableitung von Handlungsempfehlungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Paralleles Arbeitspaket während der Laufzeit ▪ Ergebnistransfer

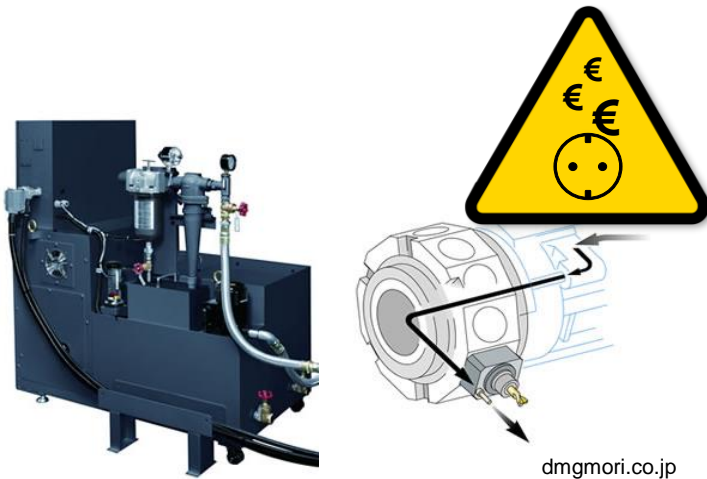


- 
- 1** Projektvorstellung
 - 2** Kryogene Minimalmengenschmierung
 - 3** Chemische und technologische Bewertung der biobasierten Grundöle
 - 4** Kryogene Minimalmengenschmierung mit biobasierten Ölen
 - 5** Zusammenfassung und Ausblick

Herausforderungen bei konventionellen Kühlschmierstrategien

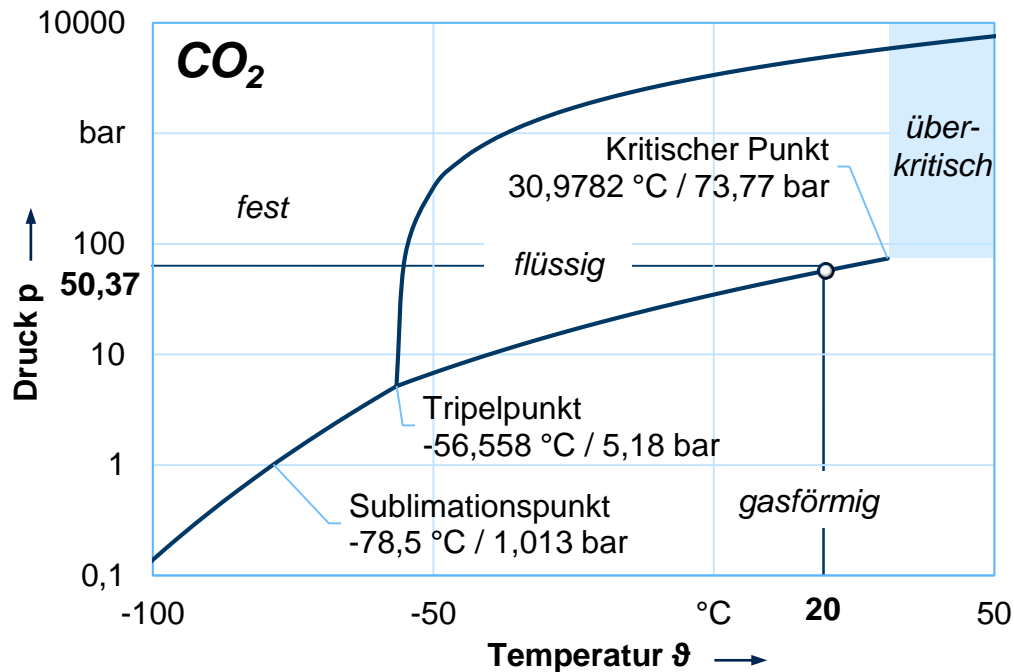


Umwelt-
und
Ressourcenbelastung



Kryogene Kühlung mit CO₂ und Minimalmengenschmierung

Kohlenstoffdioxid (CO₂)



Eigenschaften CO₂

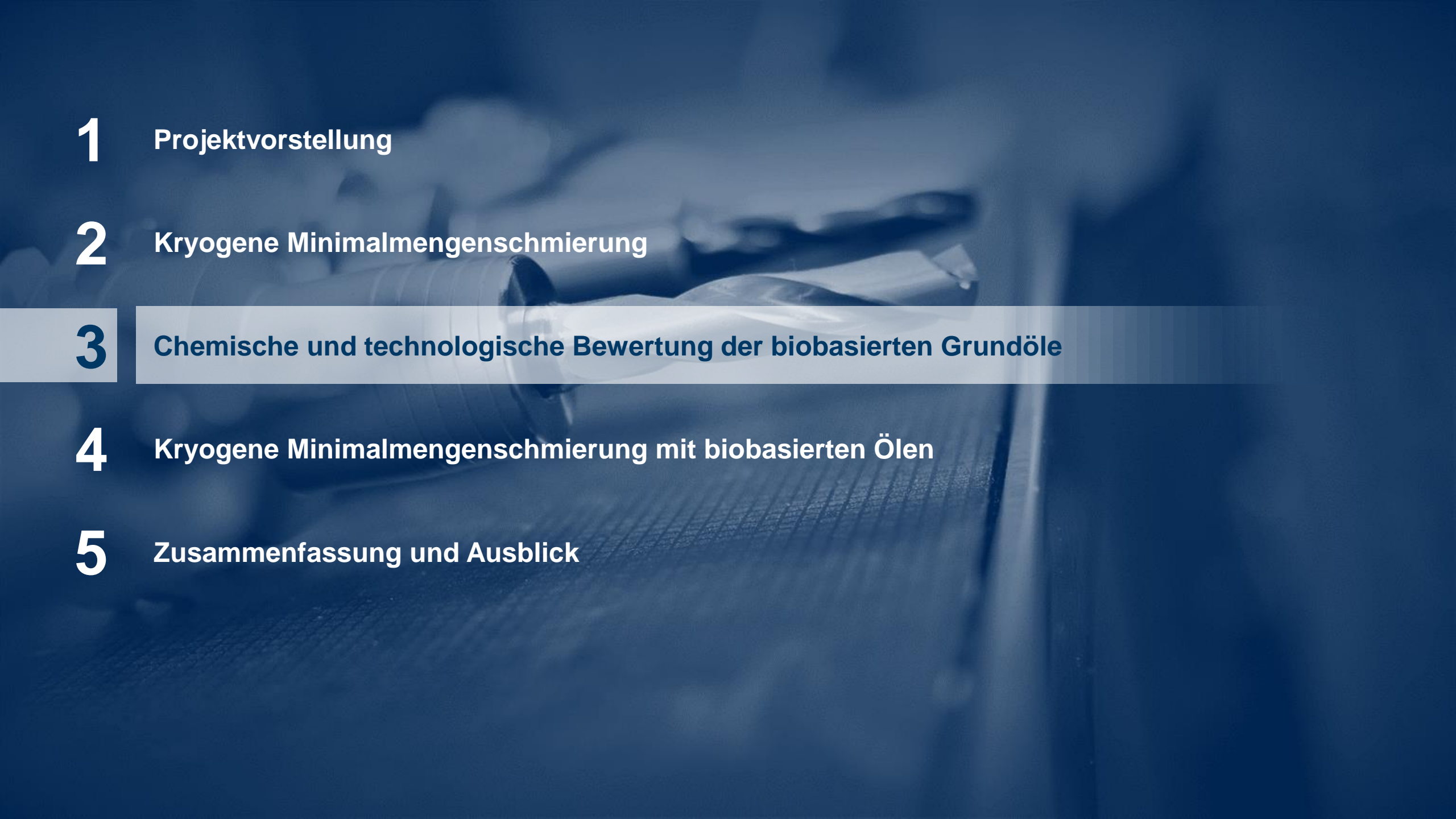
- farblos, geruchlos, ungiftig, nicht entflammbar
- Sublimationspunkt bei $\vartheta = -78,5 \text{ °C}$, $p = 1,013 \text{ bar}$

Minimalmengenschmierung (MMS)

- gasförmiges Trägermedium für geringe Ölmengen (< 50ml/h)
- Keine primäre Kühlwirkung
- Verlustschmierung
- geringerer Aufwand für Wartung, Pflege, Entsorgung und Bauteilreinigung
- kein direkter Kontakt des Personals mit KSS

Kryogene Minimalmengenschmierung (kMMS)

- flüssiges kryogenes Trägermedium für geringe Ölmengen (< 50ml/h)
- Prozessschmierung und -kühlung (interne oder externe Zuführung, ein- oder zweikanalige Zuführung von kryogenem Medium und Öl)
- Reduktion der Prozesswärme und des temperaturinduzierten Verschleißes
- Erhöhung des Zeitspannvolumens

- 
- 1** Projektvorstellung
 - 2** Kryogene Minimalmengenschmierung
 - 3** Chemische und technologische Bewertung der biobasierten Grundöle
 - 4** Kryogene Minimalmengenschmierung mit biobasierten Ölen
 - 5** Zusammenfassung und Ausblick

Öle

Versuchsgrundöle		
Name	chem. Struktur	Anteil RRM (Renewable Rawmaterial)
SE 01	Monoester	75 - 99%
SE 02	Azelainsäureester	25 – 50%
SE 03	Bis(2-ethyl-hexyl)azelate	50 – 75%
SE 04	Monoester	48%
SE 05	Diester	92%
SE 06	Triester	81%
SE 07	Monoester	100%
SE 08	Dicarbonsäureester	< 40%
SE 09	Monoester	> 50%
SE 10	Polyolester	> 80%
FA 01	Fettalkohol	0%
NE 01	Triglycerid	100%
NE 02	Triglycerid	100%
NE 03	Triglycerid	100%
KW 01	-	75 - 99%
KW 02	Hydrocracköl	0%

SE: Synthetischer Ester FA: Fettalkohol

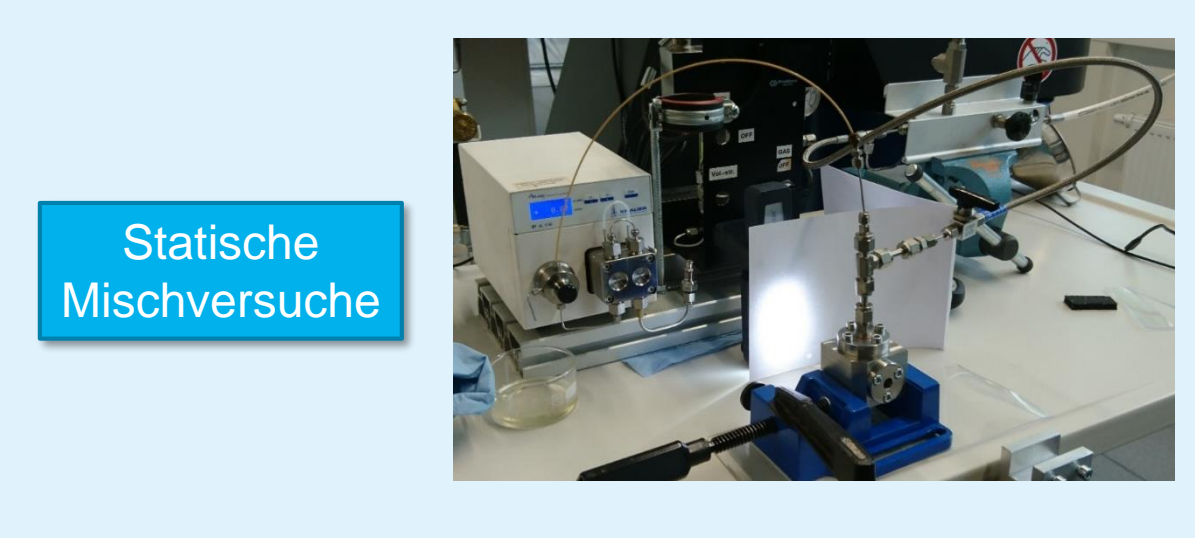
NE: Natürlicher Ester KW: Natürlicher Kohlenwasserstoff

Eigenschaftsspektrum			
Eigenschaft	Messmethode	Wertebereich	Einheit
Viskosität 40	Stabinger	<10 10 - 20	mm ² /s
Viskosität 100	Stabinger	<2 2 - 5	mm ² /s
Viskositätsindex	Stabinger	<90 120 – 150 >150	
Dichte (15°C)	DIN 51757	< 0,08 0,08 - 0,09 > 0,9	g/ml
Kettenlänge (Anzahl C-Atome)		< C10 C10 - C20 > C20	
Polarität	Non Polarity Index	unpolar schwach polar polar	
Pourpoint	DIN ISO 3016:2017	> -50 -50 bis -80 < -80	°C
Esteranteil		0 > 95	%
Wassergehalt	DIN 51777-1	< 0,05 0,05-0,1	%
Schwefelgehalt	DIN 51399-1 ICP	< 0,01	%
Phosphorgehalt	DIN 51399-1 ICP	< 0,01	%

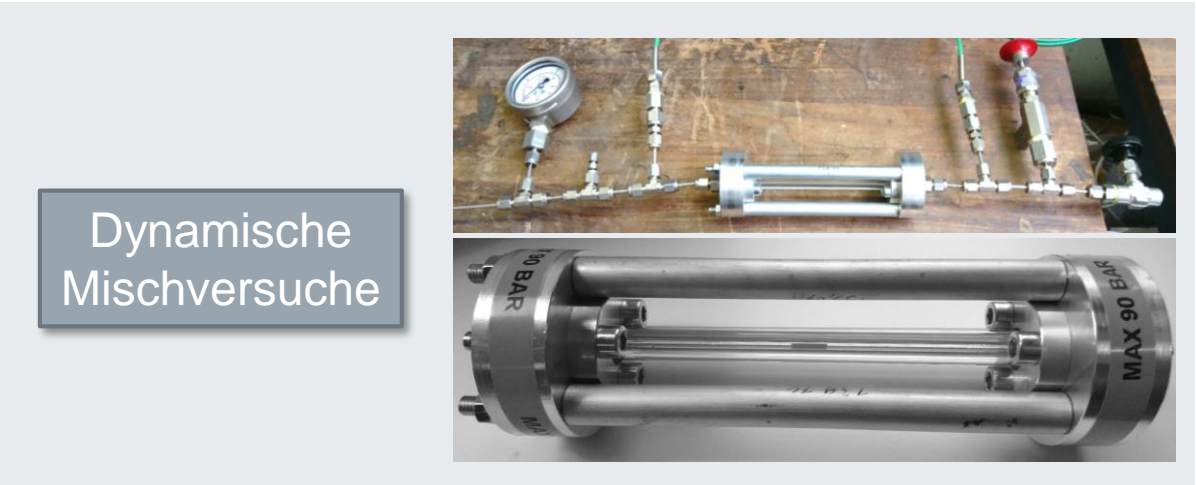
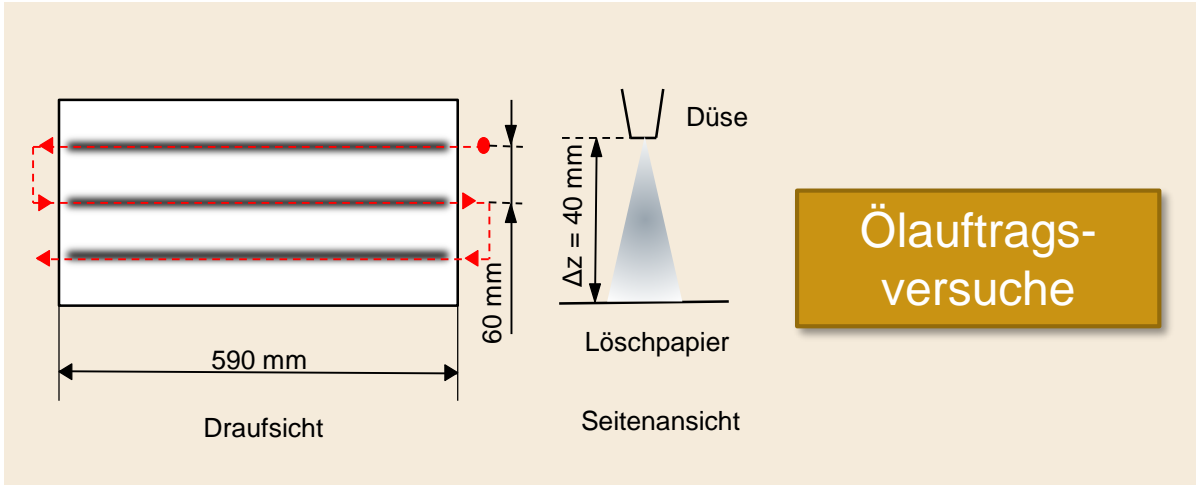
Experimentelle Randbedingungen



Sprühbild-
untersuchung

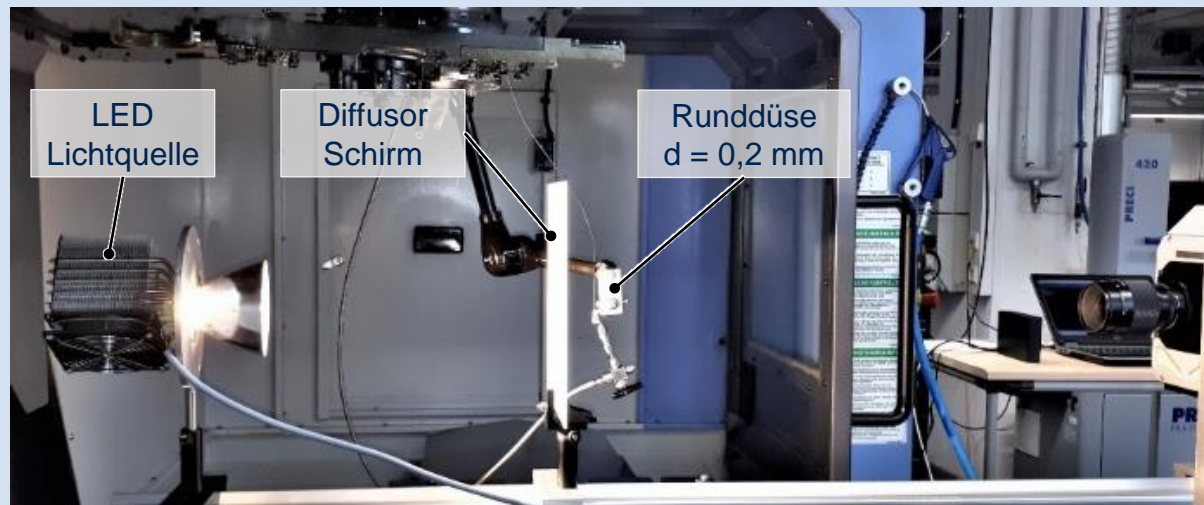


Statische
Mischversuche



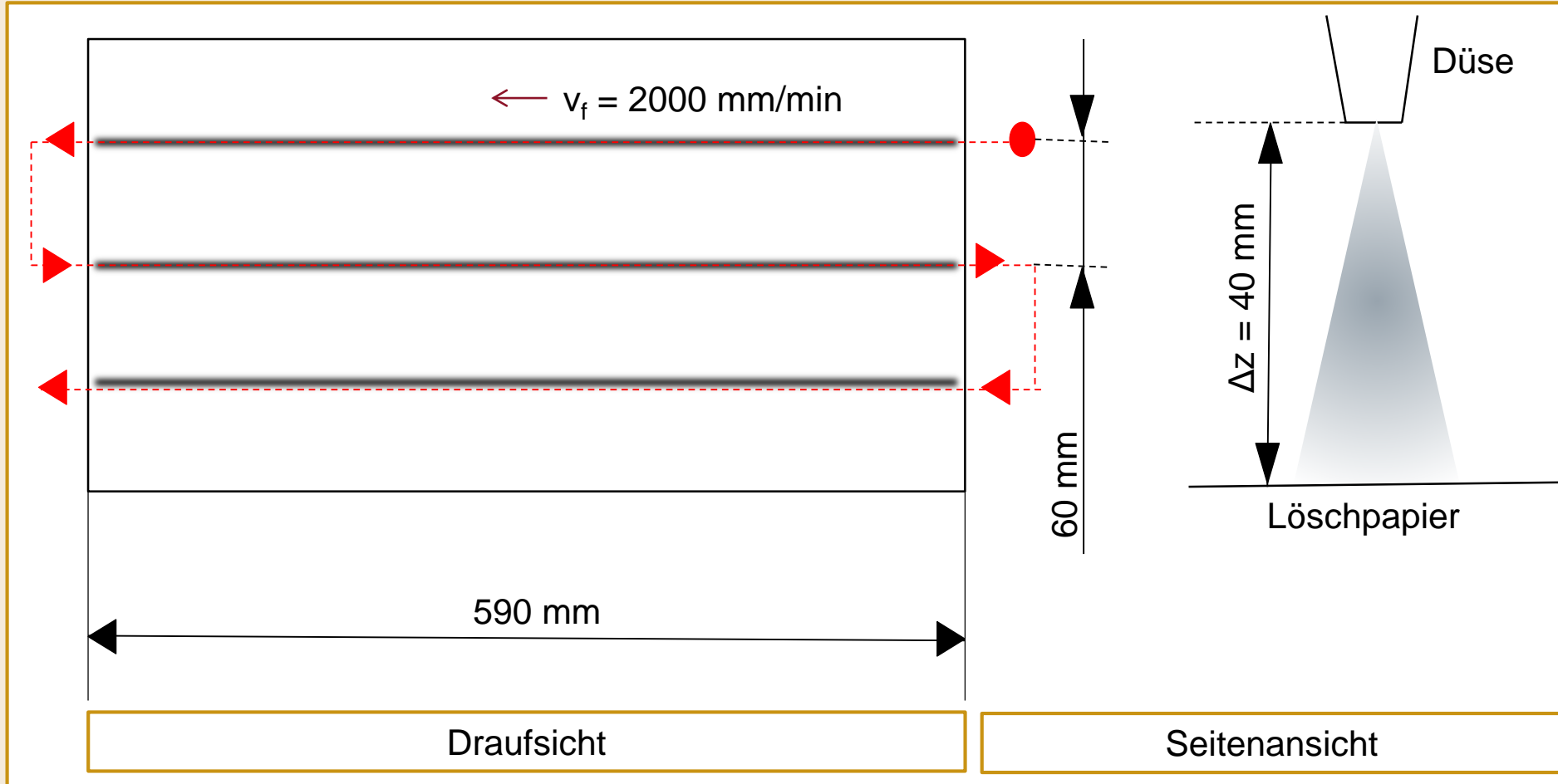
Dynamische
Mischversuche

Experimentelle Randbedingungen



Sprühbild-
untersuchung

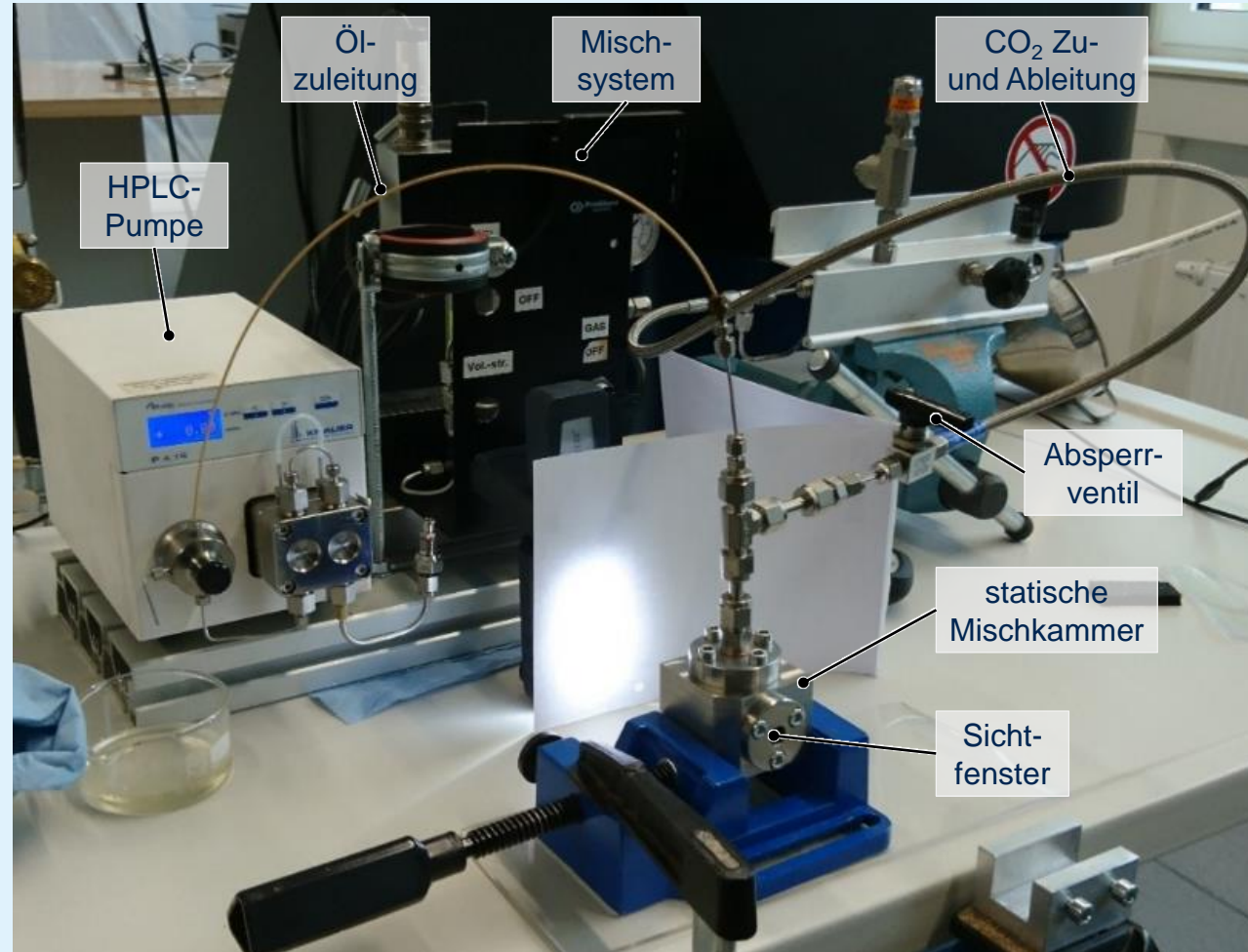
Experimentelle Randbedingungen



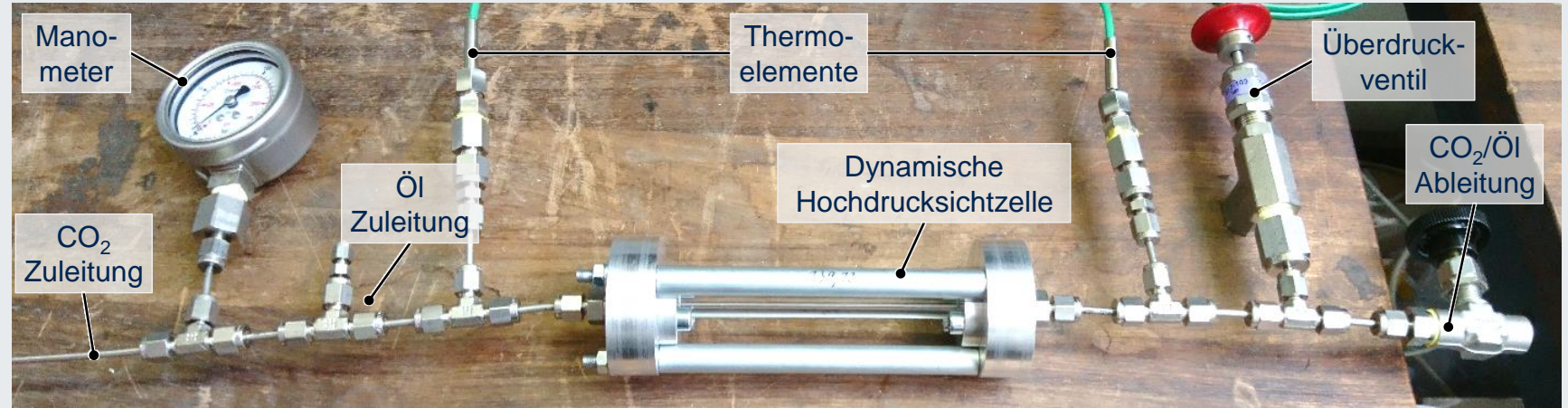
Ölauftrags-
versuche

Experimentelle Randbedingungen

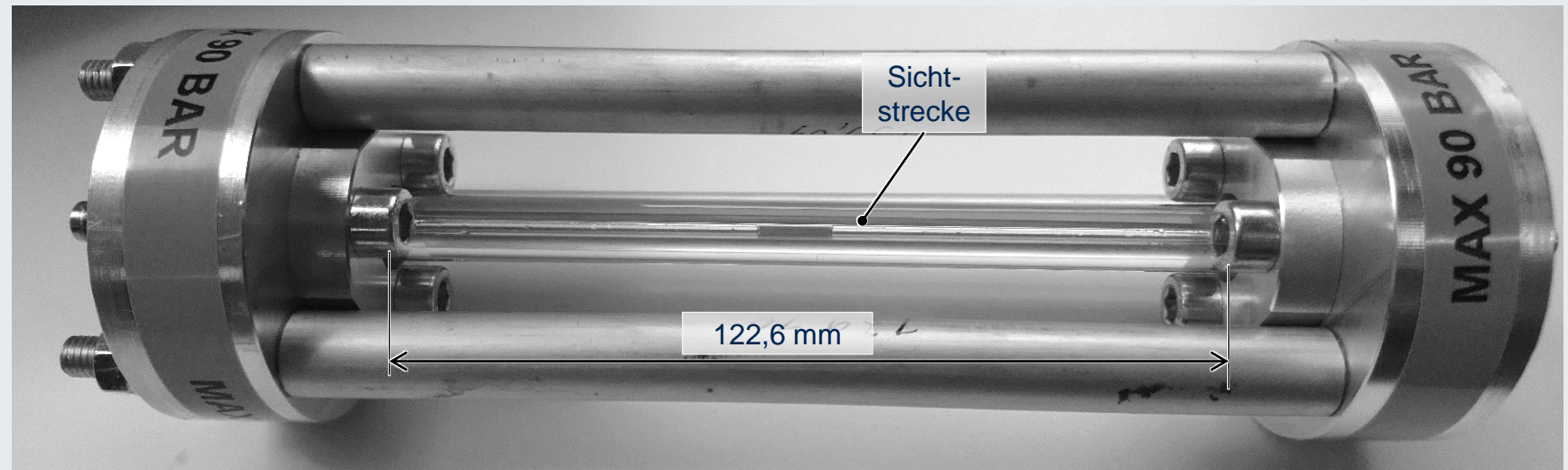
Statische
Mischversuche

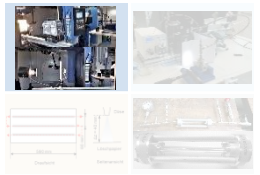


Experimentelle Randbedingungen



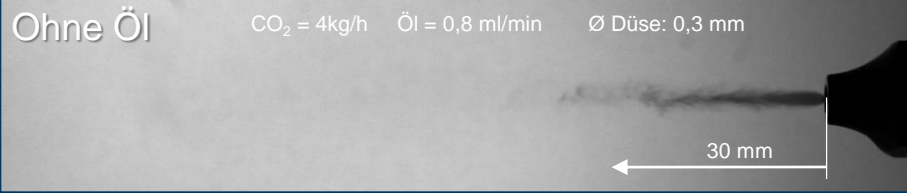
Dynamische Mischversuche



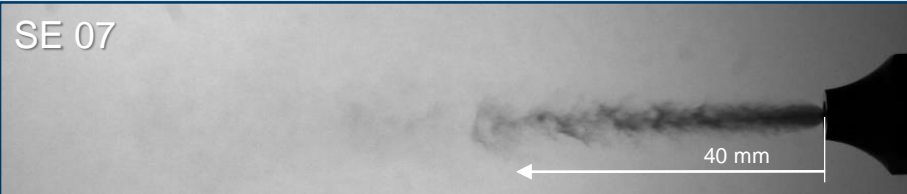


Sprüh- und Ölauftragsversuche

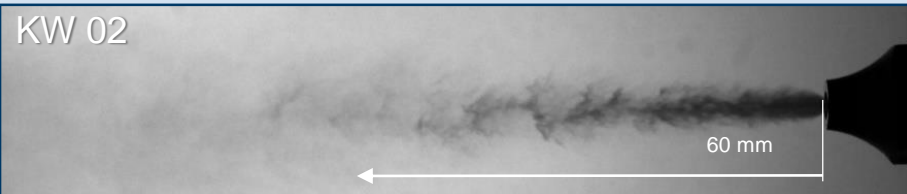
Freistrahlbildung



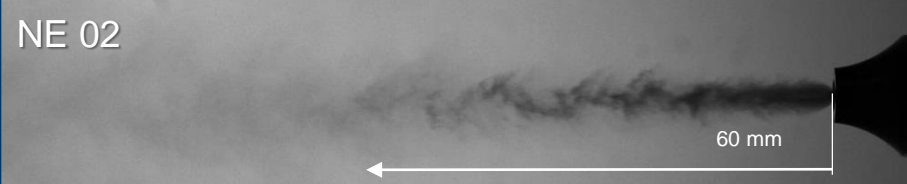
- gleichmäßiger Strahl
- keine Nebelbildung
- reines CO₂



- gleichmäßiger Strahl
- geringe Nebelbildung
- SE 01, SE 02, SE 07, SE 08, SE 09, SE 10, NE 01, NE 03

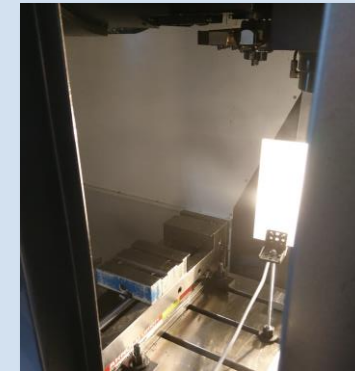


- gleichmäßiger Strahl
- mittlere bis starke Nebelbildung
- NE 02, KW 01, KW 02



- sichtbare Tröpfchenbildung
- Pulsierende, schwallartige Ölausstöße
- NE 01, NE 03

Nebelbildung



Keine Nebelbildung:
CO₂ ohne Öl



Geringe Nebelbildung:
NE 01, NE 03, SE 07, KW 02

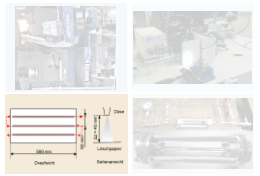


mittlere Nebelbildung:
SE 01, SE 02, SE 09, SE 10



starke Nebelbildung:
NE 02, SE 08, KW 01

Sprüh- und Ölauftragsversuche



Ölauftragsversuche

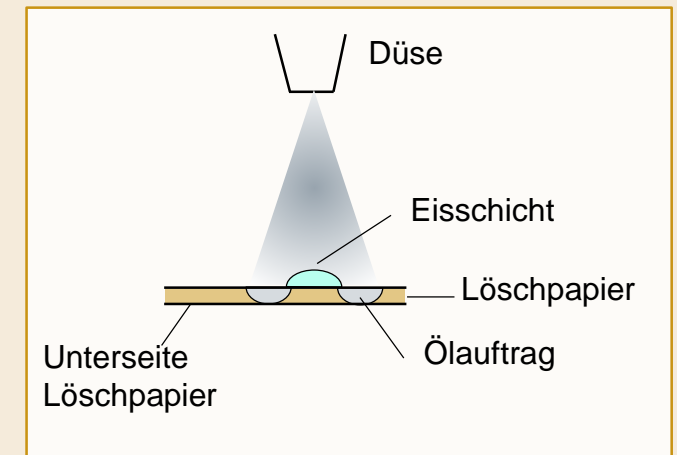


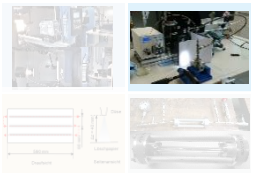
Bewertungskriterien

- Gleichmäßigkeit des Auftrags
- Breite des Ölauftrags
- Intensität des Ölauftrags
- Eisbildung und fehlender Ölauftrag

Beobachtung

- Starke Eisbildung und mittig fehlender Ölauftrag
KW 02, SE 01
- Starke Eisbildung und intensiver Ölauftrag
NE 03, SE 08



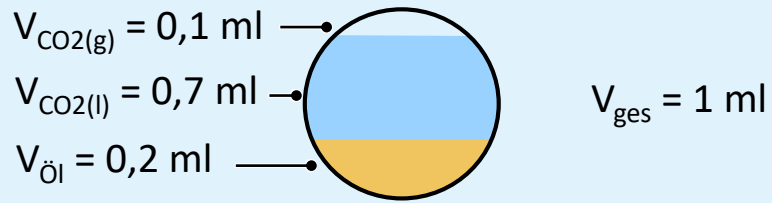


Mischbarkeitsuntersuchungen

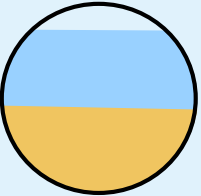
Statische Mischversuche

Durchführung:

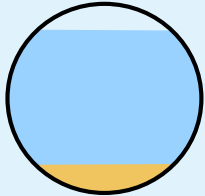
$T = 20\text{ °C}$, $p = 50\text{ bar}$



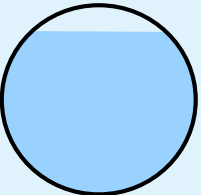
Variante 1:
Lösung
CO₂ in Öl



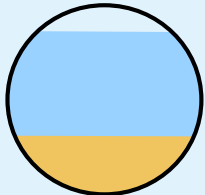
Variante 2:
Lösung
Öl in CO₂



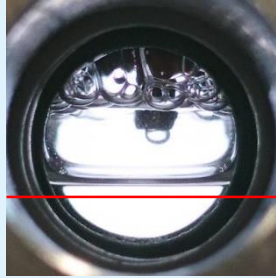
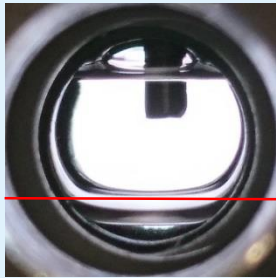
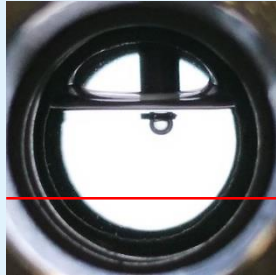
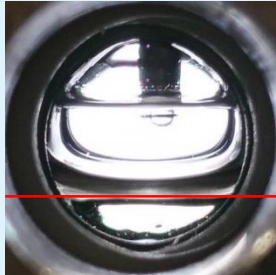
Variante 3:
Vollständige
Löslichkeit

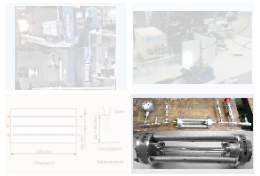


Variante 4:
Keine
Löslichkeit



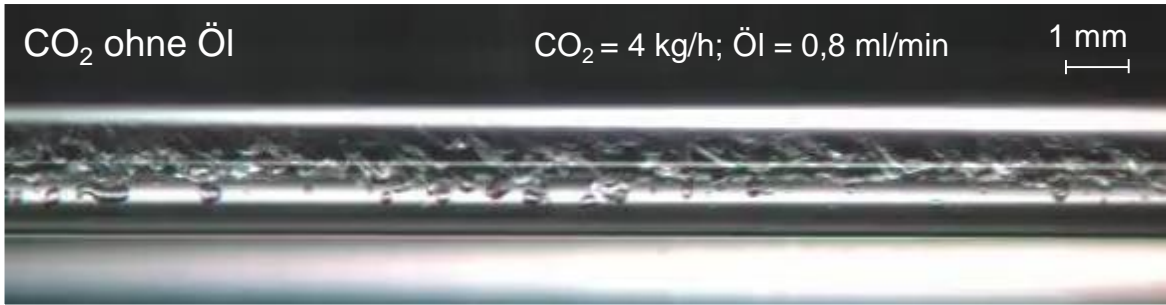
Ergebnisse:

(1) CO ₂ in Öl	(2) Öl in CO ₂
 <ul style="list-style-type: none"> - SE 10 - NE 02 	 <ul style="list-style-type: none"> - KW 01 - KW 02
(3) Vollständige Löslichkeit	(4) Keine Löslichkeit
 <ul style="list-style-type: none"> - SE 01 - SE 09 	 <ul style="list-style-type: none"> - SE 02 - SE 07 - SE 08 - NE 01 - NE 03

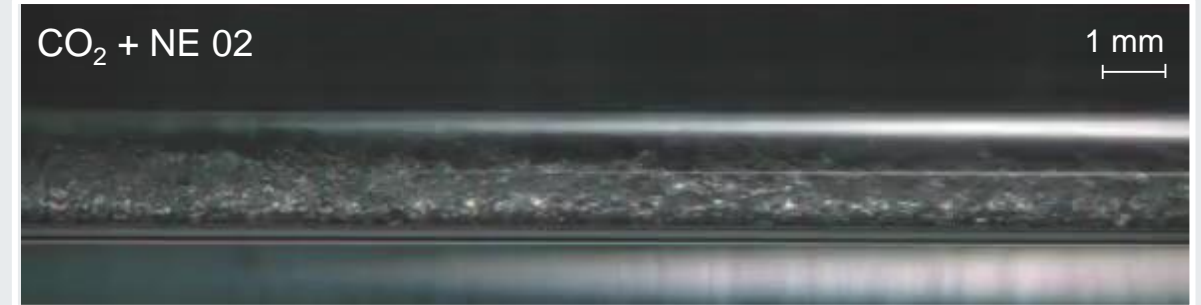


Mischbarkeitsuntersuchungen

Dynamische Mischversuche



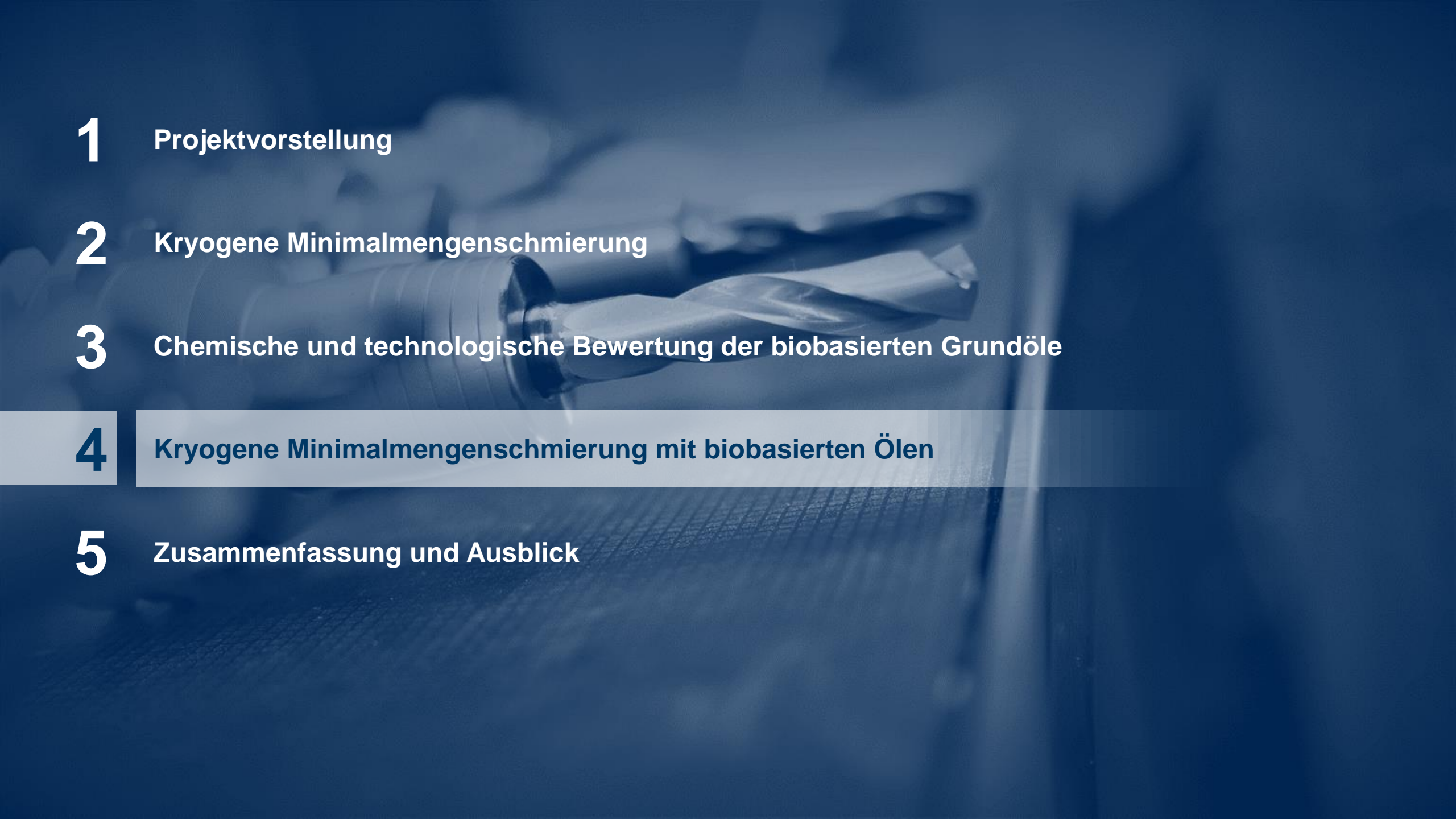
500-fache Verlangsamung



SE 01, SE 02, SE 08, SE 09, SE 10, FA 01, NE 02,
KW 01, KW 02,



Laminare Randströmung: SE 07, NE 01, NE 03

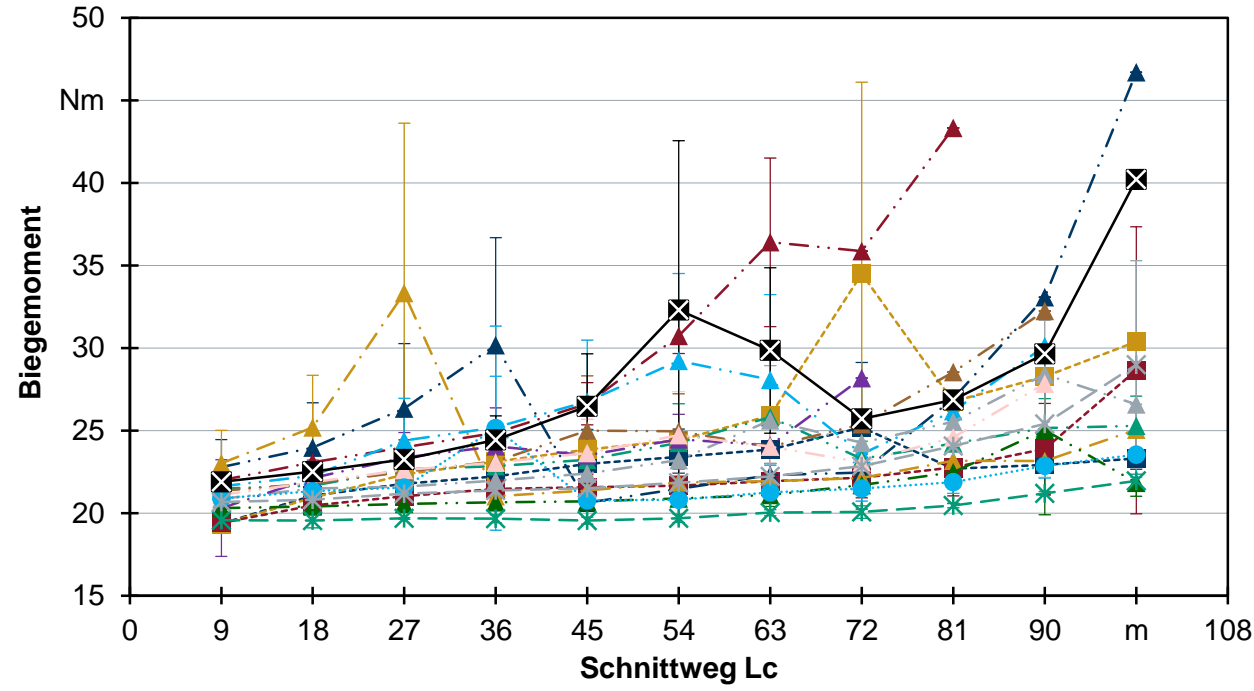
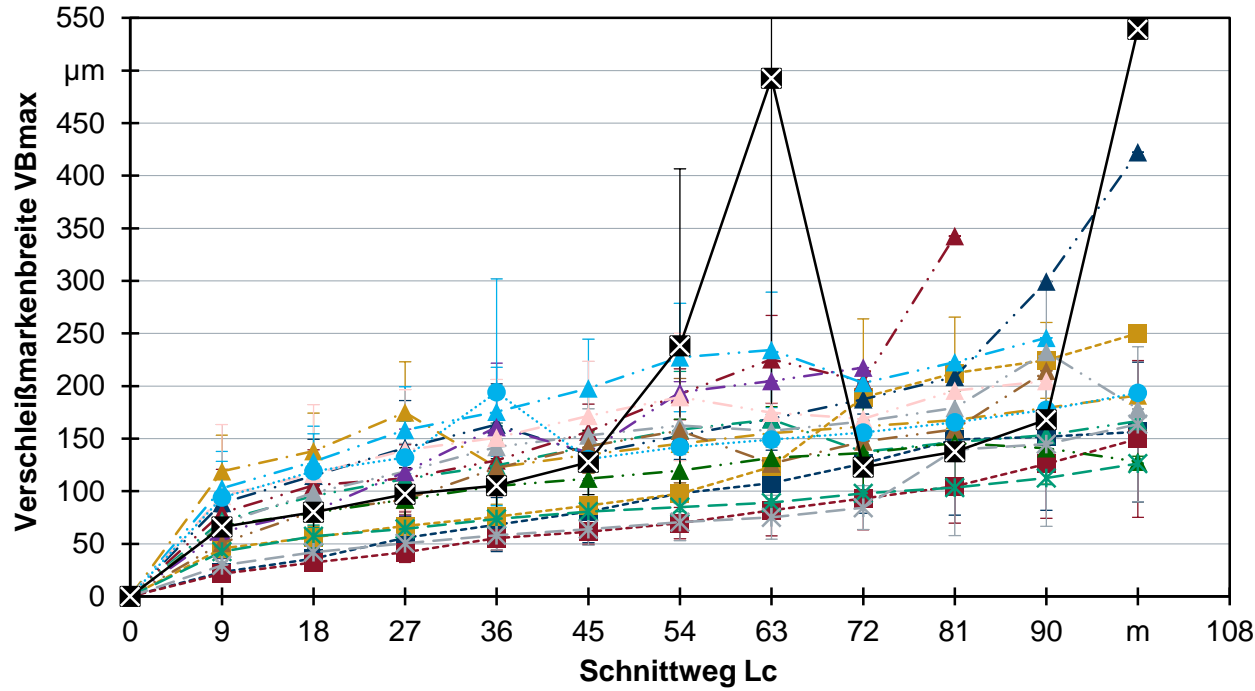
- 
- 1** Projektvorstellung
 - 2** Kryogene Minimalmengenschmierung
 - 3** Chemische und technologische Bewertung der biobasierten Grundöle
 - 4** Kryogene Minimalmengenschmierung mit biobasierten Ölen
 - 5** Zusammenfassung und Ausblick

Experimentelle Randbedingungen Zerspanungsuntersuchungen



Fräsen: Verschleiß-/Kraftmessung

Prozess	Fräsen	v_c	264 m/min	f_z	0,06 mm/U
Werkstoff	1.4404	n	10500 U/min	a_e	0,8 mm
CO₂	8 kg/h	Öl	0,8 ml/min	a_p	8 mm

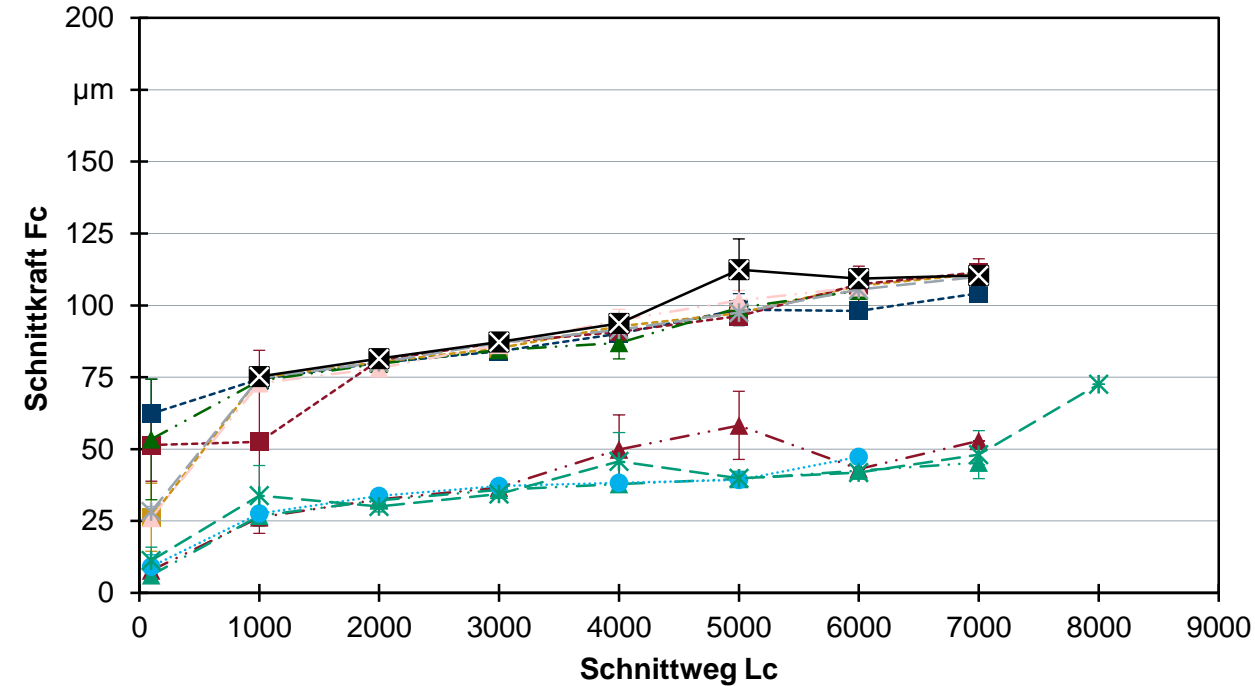
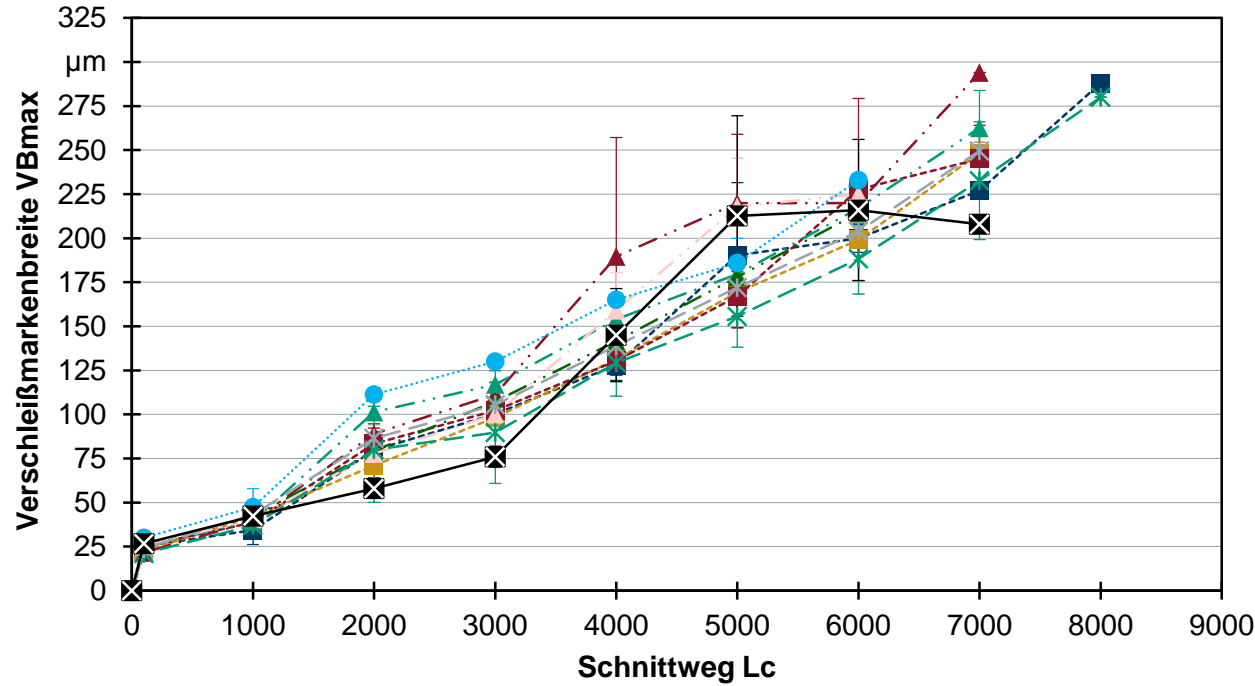


- NE 01
- NE 02
- NE 03
- SE 01
- SE 02
- SE 03
- SE 04
- SE 05
- SE 06
- SE 07
- SE 08
- SE 09
- SE 10
- FA 01
- KW 01
- KW 02
- KSS

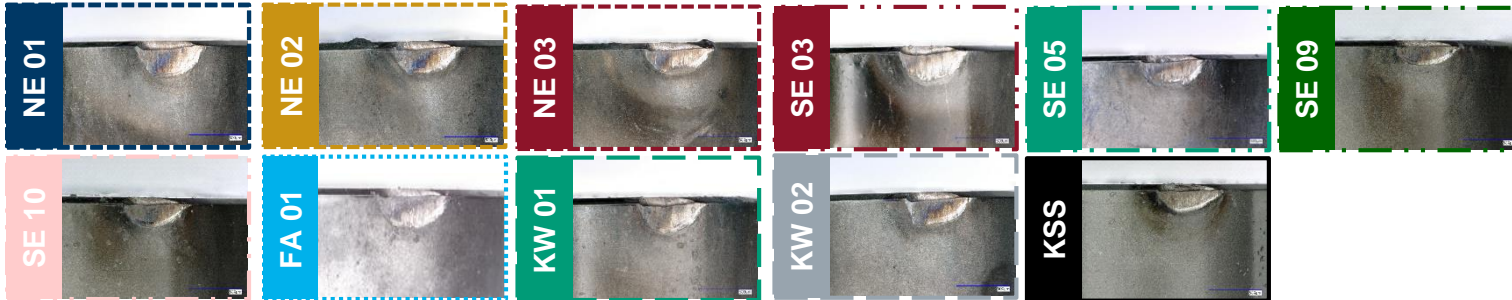


Prozess	Drehen	v_c	200 m/min	f	0,12 mm/U
Werkstoff	1.3505	\dot{V}_c	0,8 ml/min	a_p	0,1 mm
CO₂	2,5 kg/h				

Schlichtdrehen: Verschleiß-/Kraftmessung

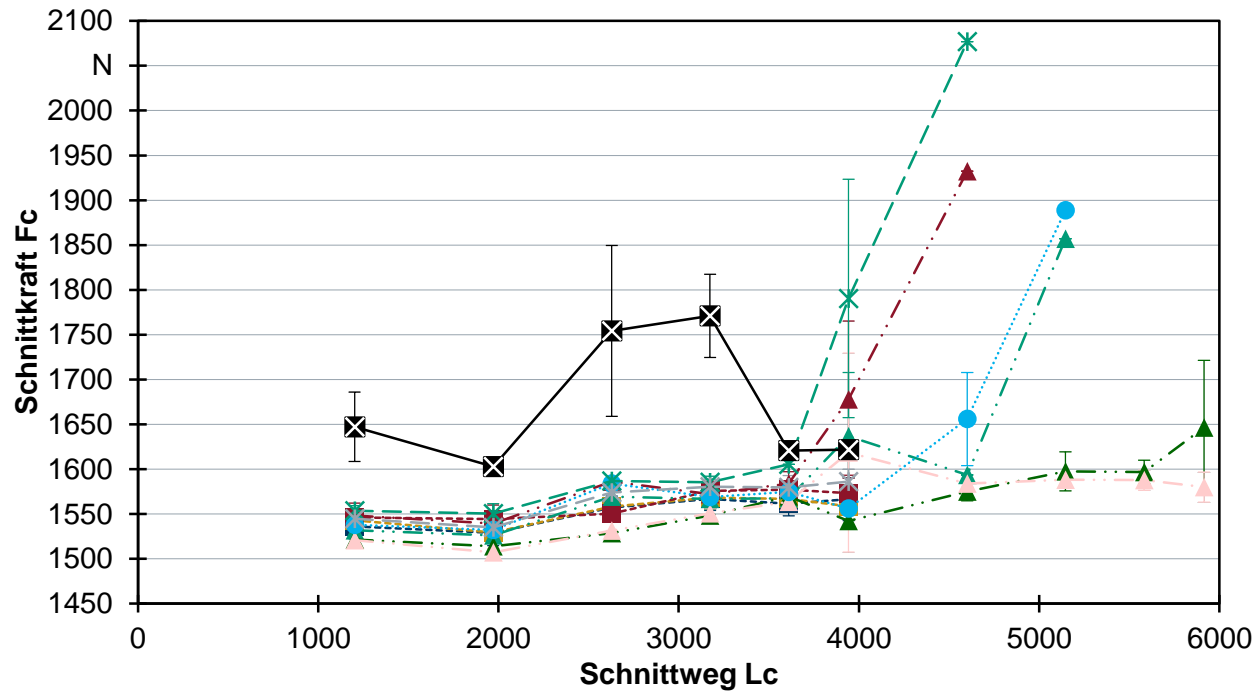
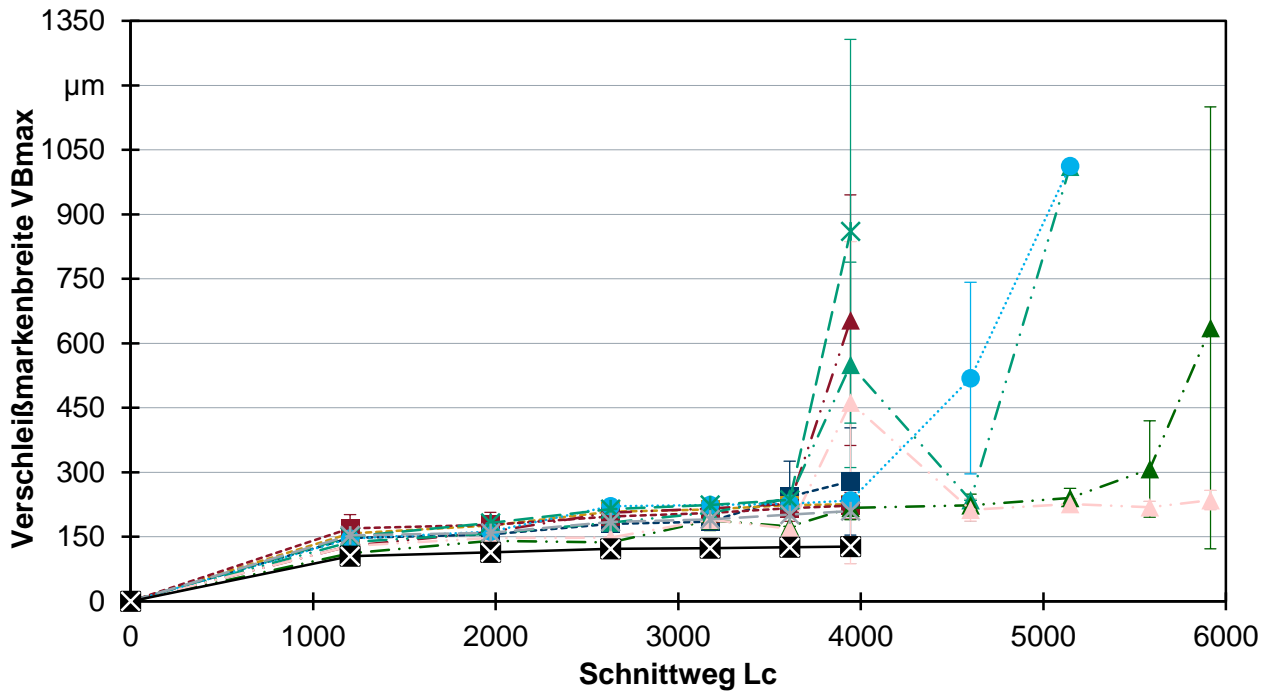


- NE 01 - NE 02 - NE 03 - SE 03 - SE 05 - SE 09
 - SE 10 - FA 01 - KW 01 - KW 02 - KSS

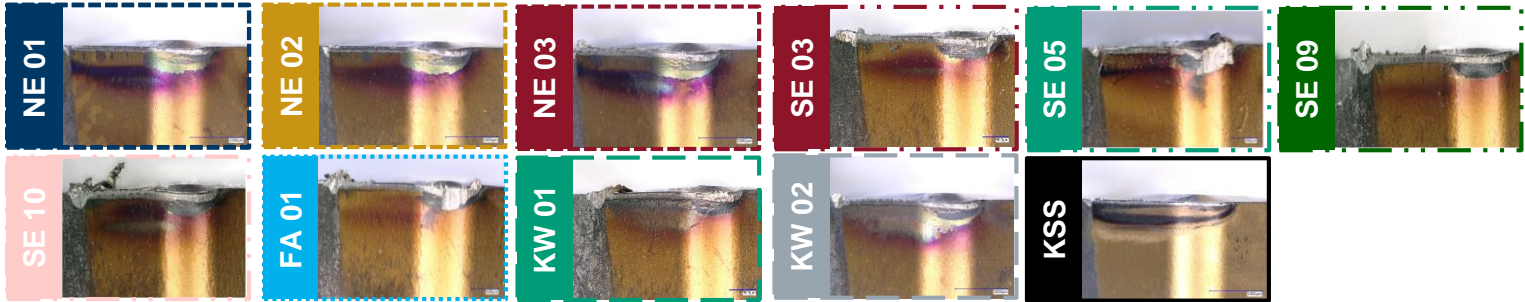


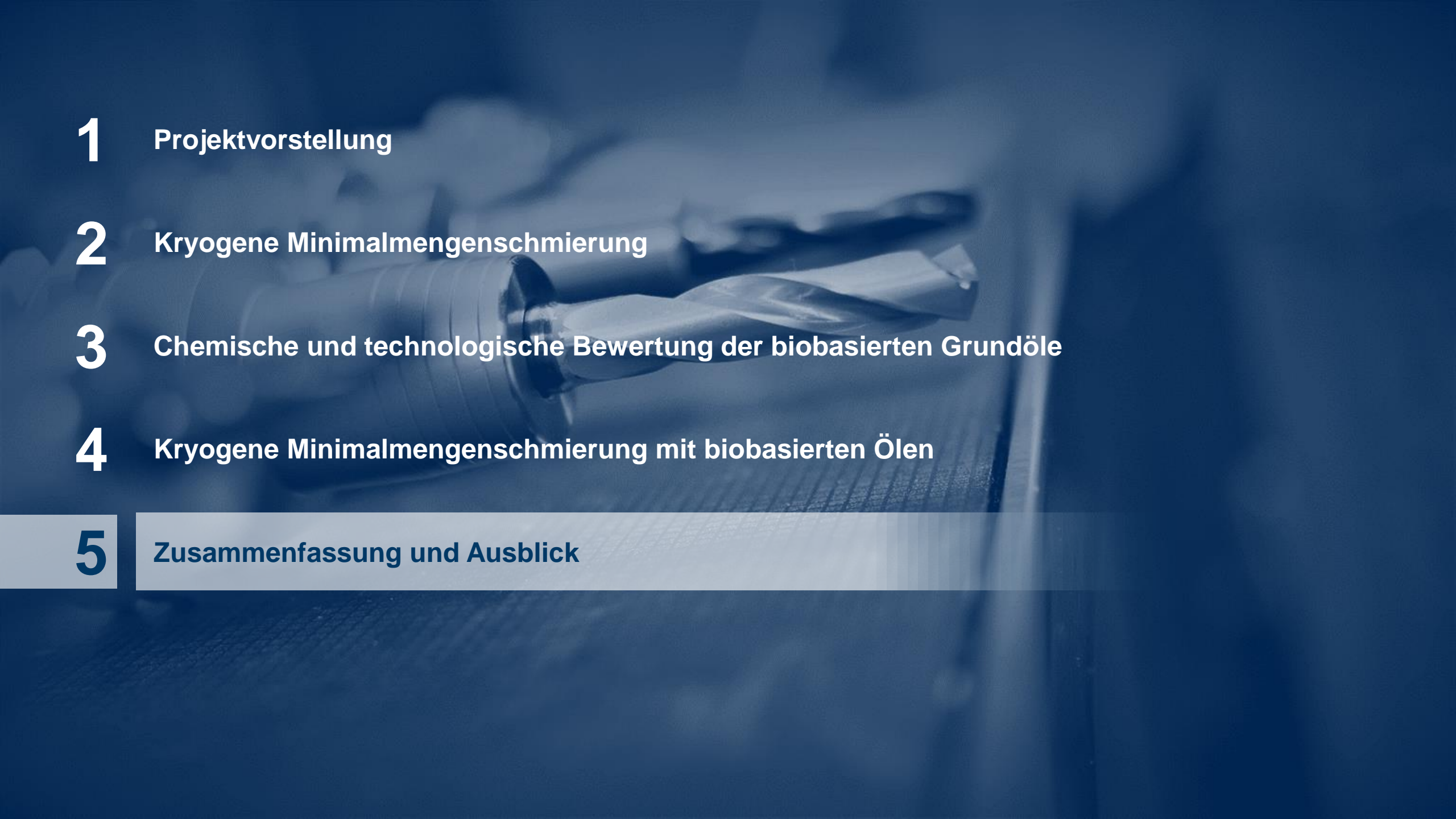
Schruppdrehen: Verschleiß-/Kraftmessung

Prozess	Drehen	v_c	160 m/min	f	0,25 mm/U
Werkstoff	1.4404	$\dot{V}_{\text{Öl}}$	0,8 ml/min	a_p	3 mm
CO₂	12 kg/h				



-■- NE 01 -■- NE 02 -■- NE 03 -▲- SE 03 -▲- SE 05 -▲- SE 09
 -▲- SE 10 -●- FA 01 -* KW 01 -* KW 02 -x KSS



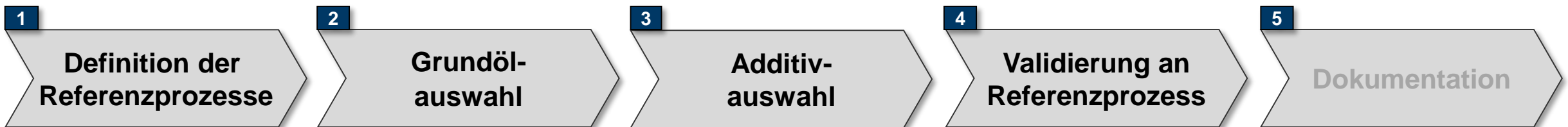
- 
- 1** Projektvorstellung
 - 2** Kryogene Minimalmengenschmierung
 - 3** Chemische und technologische Bewertung der biobasierten Grundöle
 - 4** Kryogene Minimalmengenschmierung mit biobasierten Ölen
 - 5** Zusammenfassung und Ausblick

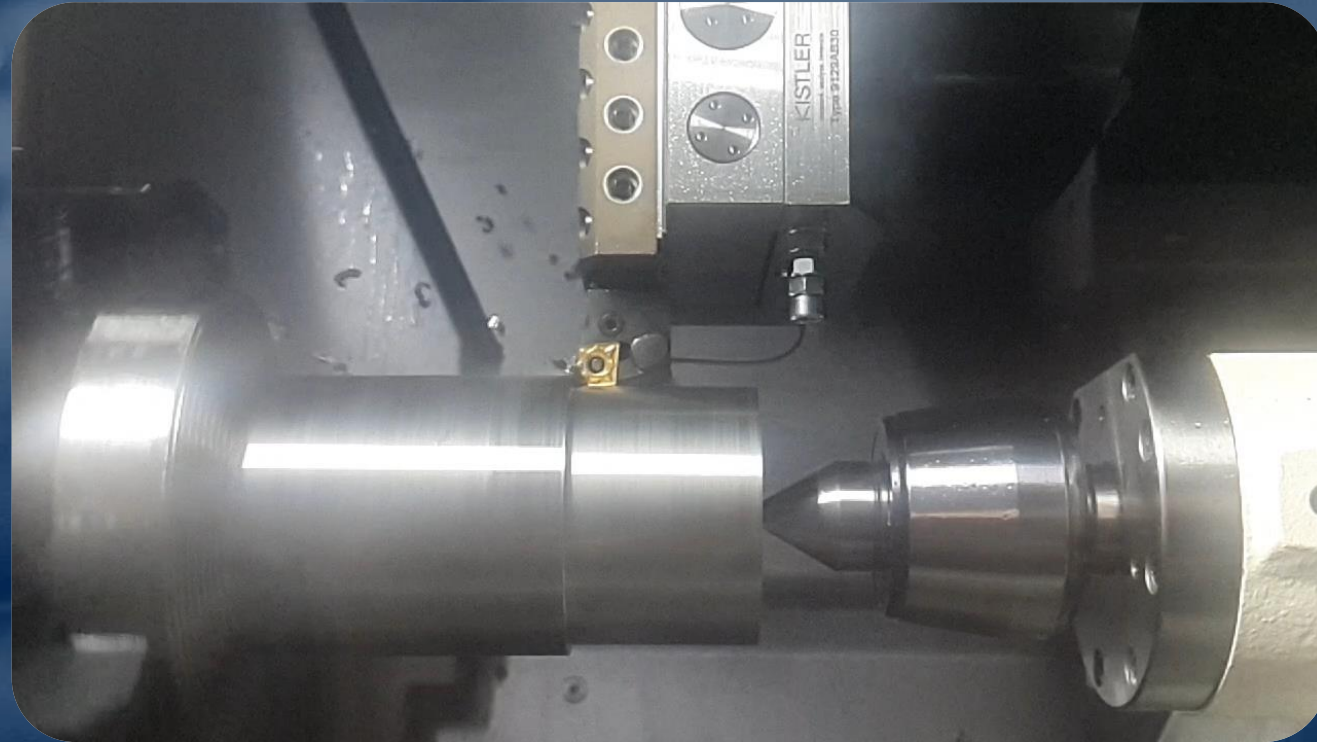
Verbundvorhaben ECO₂il

Zusammenfassung

- hohes Potenzial beim Einsatz natürlicher Estergrundöle (u.a. Kokos-, Raps- und Sonnenblumenöl) für die kryogene Minimalmengenschmierung im Vergleich zur konventionellen Überflutungskühlung hinsichtlich:
 - Standweg
 - Verschleißmarkenbreite und -bild
 - Prozesskräfte
 - Werkzeugschwingung
- Entwicklung einer Systematik zur chemischen und technischen Bewertung von Grundölen

Ausblick





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



**Prof. Dr.-Ing.
Nico Hanenkamp**

Leitung

+49 (0) 911 / 65078648 -11
nico.hanenkamo@fau.de



**M. Sc.
Trixi Meier**

Wissenschaftliche Mitarbeiterin

+49 (0) 911 / 65078648 -20
trixi.meier@fau.de

Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Ressourcen- und Energieeffiziente
Produktionsmaschinen

Dr.-Mack-Str. 81 | Technikum 1
90762 Fürth
www.rep.tf.fau.de | www.ncatec.de