Hochschule Bremen
City University of Applied Sciences

ALBINA

HSB

Potenziale algenbasierter Bioschmierstoffadditive

- in der Metallverarbeitung -

FNR Bioschmierstoff-Tagung 2023, 21.06.2023

Hochschule Bremen	Prof. Dr.-Ing. R. M. Gläbe, Dr. rer. nat. T. Koch
Hochschule Bremerhaven	Frau Prof. Dr. rer. nat. I. Lang, PhD A. Gavalás-Olea
Uni-Bremen, UFT	Frau Prof. Dr. rer. nat. J. Filser, Frau Dr. M. McKee
Uni-Bremen, CVT	Prof. Dr.-Ing. J. Thöming, Frau Dr. rer. nat. A. Siol
Hochschule Wismar	Prof. Dr.-Ing. R. Larek

Inhalt

1 Motivation
2 Ziel, Forschungsansatz, Methoden
3 Struktur der Forschungsarbeit
4 Ergebnisse in Bezug auf die Zielsetzung
5 Zusammenfassung
6 Ausblick

ALBINA

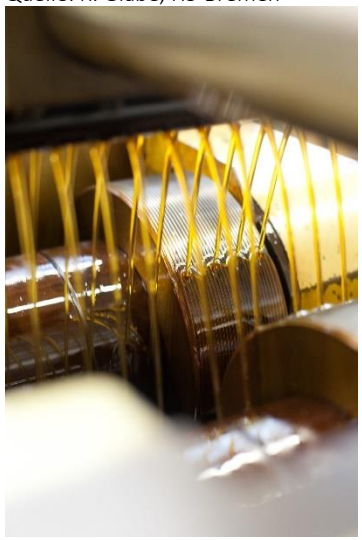
ALgenbasiert
BIologisch
NAchwachsend

Motivation – Metallbearbeitung

Produktion Nr. 41, 2013; MAV

Quelle: R. Gläbe, HS-Bremen

Quelle: Ralf Roletschek



Quelle: S. Mesing, HS-Wismar

Herstellung metallischer Komponenten mit trennenden und umformenden Fertigungs-verfahren erfordert Kühlung und Schmierung durch Kühlschmierstoffe (KSS)

Trennende Verfahren	Umformende Verfahren
• Bohren • Drehen • Fräsen • Schleifen • ...	• Tiefziehen • Fließpressen • Gewindewalzen • ...

Durch den Zusatz von Additiven

- EP/AW-Additive
- K-Schutz
- Emulgatoren
- ....

erhalten die KSS spezifische Eigenschaften.

Motivation – Metallbearbeitung

Schmierstoffe
1 Million Tonnen
/Deutschland – 2011/

Bioabbaubar
3%

>50% nachwachsende Ressourcen
1%

Ziel:
nachwachsende Ressourcen ↑

Herstellung metallischer Komponenten mit trennenden und umformenden Fertigungs-verfahren erfordert Kühlung und Schmierung durch Kühlschmierstoffe (KSS)

Trennende Verfahren	Umformende Verfahren
• Bohren	• Tiefziehen
• Drehen	• Fließpressen
• Fräsen	• Gewindewalzen
• Schleifen	• ...
• ...	

Durch den Zusatz von Additiven

- EP/AW-Additive
- K-Schutz
- Emulgatoren
- ....

erhalten die KSS spezifische Eigenschaften.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

source: FNR

Motivation – Sustainable Performance Additives

Schmierstoffe
1 Million Tonnen
/Deutschland – 2011/

Bioabbaubar
3%

>50% nachwachsende Ressourcen
1%

Ziel:
nachwachsende Ressourcen ↑

Bis zu 15% eines Schmierstoffs > Leistungsadditive AW/EP*

Metalworking fluids	Type I	Type II	Type III
Composition	Based on synthetic components	Based on mineral oil semisynthetic (biostable)	Based on mineral oil conventional, soluble oils
Mineral oil content, per cent	0	20-40	60-70
AW/EP* additive, per cent	Up to 15	Up to 15	Up to 15
Emulsifier/Detergents, per cent	Up to 10	20-40	10-20
Corrosion inhibitors, per cent	Up to 20	5-40	5-15
Other additives, per cent	Up to 5	Up to 10	Up to 8
Water, per cent	Up to 60	Up to 10	Up to 5
Working fluid	Solution	Microemulsion	Emulsion
Droplet size, μm	0.01-0.1	0.1-1	1-10

* AW/EP: Anti Wear, Extreme Pressure

Ansatz

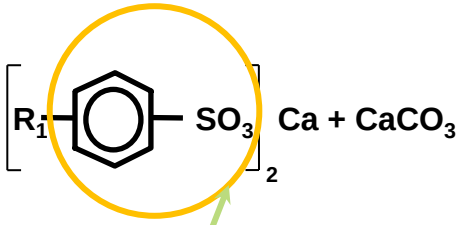
→ Beibehalten des mineralölbasierten Grundöls

→ Ersetzen der Leistungsadditive durch Algen

Quelle: FNR, Pedisic 2003

ALBINA – Ziel und Forschungsansatz

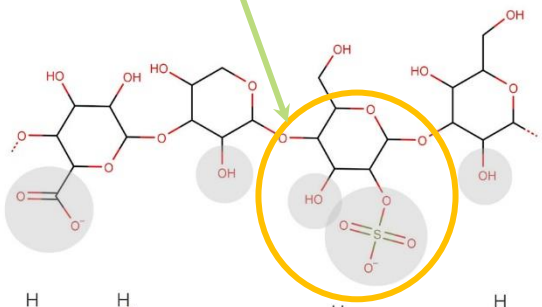
EP-Additiv
überbasisches
Ca-Sulfonat



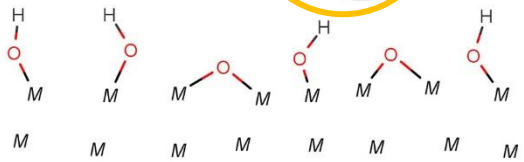
Substitution

aktiver
Bereich

strukturanaloges
sulfatiertes
Polysaccharid



Metall-
oberfläche



Hypothese

- Für die Verschleißminderung in der Metallbearbeitung werden spezifische Verbindungen benötigt – unabhängig von deren Ursprung.

Ziel

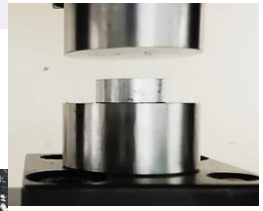
- Substitution von EP-Additiven in der Metallbearbeitung durch strukturanaloge Bestandteile aus Mikroalgen (Saccharide, Proteine)

- **AL**genbasiert
  BIologisch
  NAchwachsend

ALBINA

Quelle: Koch et al, 2020

Partner und grundlegendes Vorgehen

	Verbundpartner	Vorgehensweise	
1	Hochschule Bremerhaven	Auswahl und Kultivierung von Mikroalgen sowie Extraktion der relevanten Bestandteile	
2	Chemische Verfahrens-Technik	Aufreinigung und Analytik der Extrakte	
3	Universität Bremen, ECOLOGY	Ökotoxikologische Prüfung	
4	Hochschule Wismar	Umformtechnische Leistungsüberprüfung	
5	HSB Hochschule Bremen City University of Applied Sciences	Zerspanungstechnische Leistungsüberprüfung	

Quelle: I. Lang HS-Bremerhaven, A. Siol, Y. Sakka Uni Bremen, R. Gläbe HS-Bremen, S. Mesing, HS-Wismar

Assoziierte Partner und Industriearbeitskreis IAK

Assoziierte Partner

Chemische und mikrobiologische Analyse

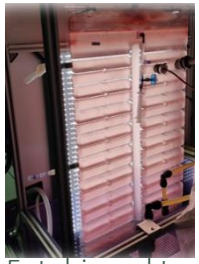
- Bremer Umweltinstitut GmbH
- Technische Mikrobiologie Dr. Jutta Höffler GmbH

Partner aus der Schmierstoffindustrie und Branchenverband sind fest in das Vorhaben eingebunden

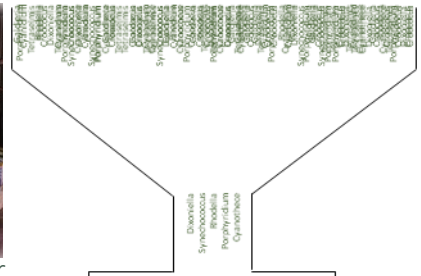
- Additiv Chemie Luers GmbH
- Blaser Swisslube AG
- Jokisch GmbH
- Kajo GmbH
- Klüber Lubrication Deutschland SE & Co. KG
- Lanxess Deutschland GmbH
- Oemeta Chemische Werke GmbH
- Rhenus Lub GmbH & Co KG
- swb Erzeugung GmbH & Co KG
- VSI Verband der Schmierstoffindustrie

Kultivierung und Extraktion

1

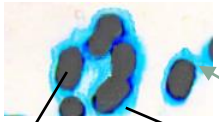


Fotobioreaktor
Quelle: I. Lang, HS-Bremerhaven



152 Stämme im Screening

5 Stämme ausgewählt



Trennung

Sulfatierte Poly-saccharide in EPS

Zentrifugierte Zellen

Zellen

Polysaccharide
Proteine
Fettsäuren

EPS

Polysaccharide
Proteine
Fettsäuren

I. 152 Algenstämme im Screening

II. Auswahlkriterien
- Hohe Biomassenausbeute
- Kultivierungsparameter (Licht/Temperatur/C-Quelle/Salinität)
- Physiologische Parameter

III. Fünf Algenstämme identifiziert
- *Dixoniella grisea*
- *Cyanothece sp.*
- *Synechococcus elongatus*
- *Rhodella violaceae*
- *Porphyridium purpureum*

IV. Trennung in Zellen und EPS mittels
- Filtration
- Ultraschall
- Heiß-Wasser Extraktion (75°)
- Alkoholische Extraktion
- Zentrifugation

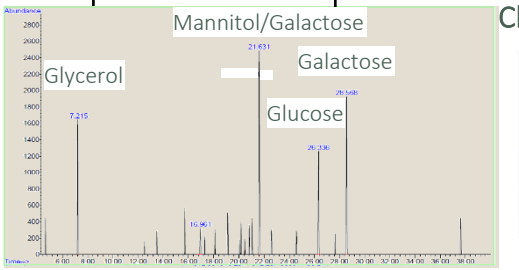
Analytische Charakterisierung

2

Zellen
Polysaccharide
Proteine
Fettsäuren

EPS
Polysaccharide
Proteine
Fettsäuren

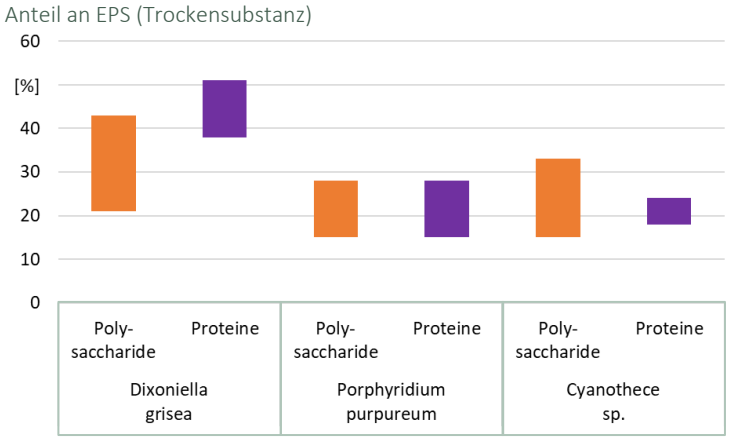
HPLC-DAD



EPS *Dixoniella grisea* GC-MSD-Analyse

Charakterisierung

GC-MSD



Quelle: Borah, A. Siol, UFT-Bremen

I. Analytische Charakterisierung
- Polysaccharide
  - → Derivatisierung
  - → Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MSD)
- Proteine
  - → Derivatisierung
  - → Hochleistungsflüssigkeitschrom.-Diodenarraydet. (HPLC-DAD)

II. Polysaccharide mit einem hohen Anteil an Galactose, viele liegen als Oxime vor

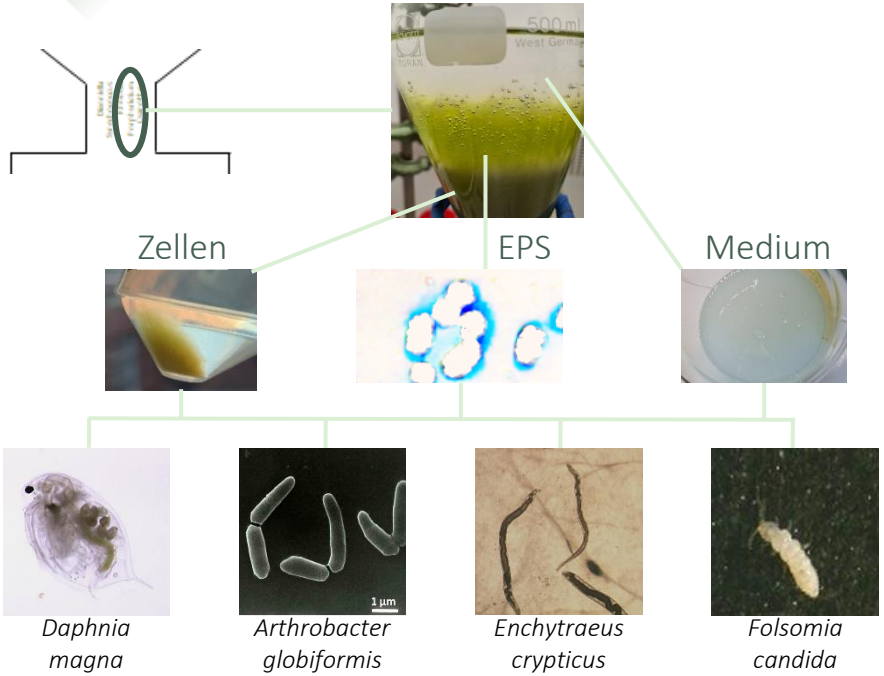
III. Zusammensetzung der EPS ist abhängig von Algenstamm und Kultivierungsbedingungen

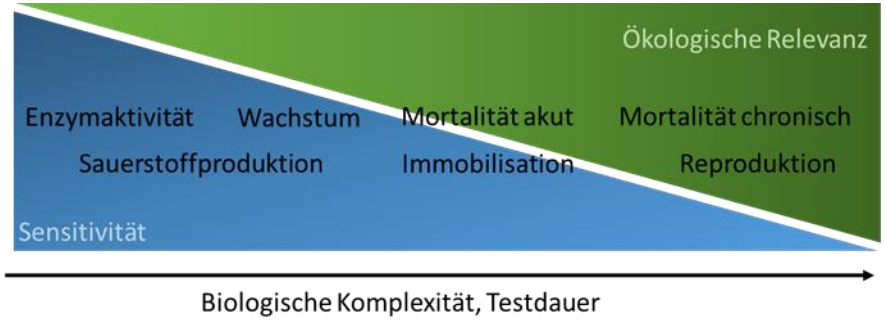
IV. Für die Einformulierung der polaren Extrakte in Öle wurden 6 Emulgatoren und deren Kombinationen untersucht

V. Es gelang am besten mit der Kombination der Lösungsvermittler EM2EO und zwitterionischem Sojalecithin mit Stabmischer

Ökotoxikologische Bewertung

3





Quelle: Y. Sakka, Uni Bremen, M. McKee, Uni Bremen, wikipedia.de

I. Ökotoxikologische Screenings
- 1. Daphnien-Immobilisationstest (OECD Nr. 202)
- 2. Sedimentkontakttest (Engelke et al., 2014)
- 3. Enchyträen-Immobilisationstest (Willuhn et al. 1996)
- 4. Collembolen-Immobilisationstest (McKee et al. 2019)

II. Algenwachstumshemmtest mit Messung der O_2 Produktion

III. Biologische Abbaubarkeitstests (OECD Nr. 301 F)

IV. Chronische Toxizitätstests
- Daphnien-Reproduktionstest (OECD Nr. 211)
- Collembolen-Reproduktionstest (OECD Nr. 232)

Ökotoxikologische Bewertung

3

Inhibition im Test	Ökotoxikologische Klassifizierung
< 25 %	sehr niedrige Toxizität
25-49%	geringe Toxizität
50-75%	mittlere Toxizität
>75%	hohe Toxizität

Algenart	EPS_W	EPS_S	Biomasse
Cyanothece sp.			NA
Rhodella sp.		NA	NA
Dixoniella grisea			NA
Nannochloropsis salina		NA	
Porphyridium purpureum			

EPS_W: wässrig extrahiertes EPS; EPS_S: sauer extrahiertes EPS

I. Toxizität der Algen-Biomasse und –Exopolysaccharide (EPS) abhängig von
- Algenstamm
- Extraktionsform
- Kultivierungsbedingungen

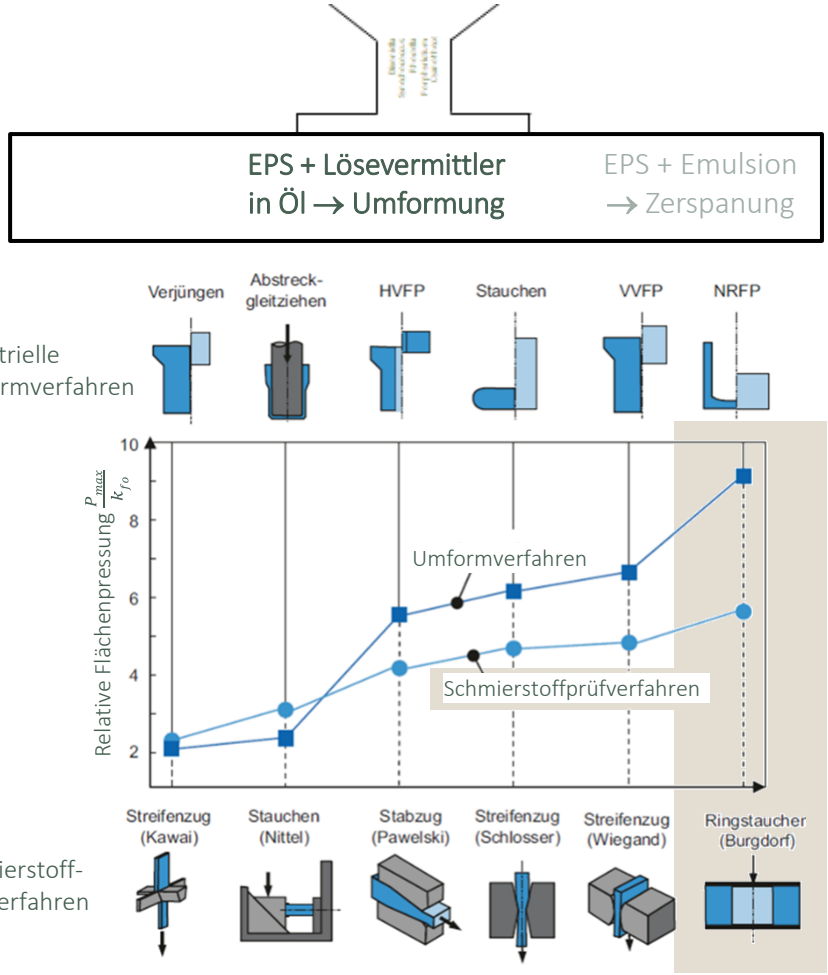
II. Biologische Abbaubarkeit

- *Porphyridium* EPS_W könnte persistent in der Umwelt sein

Spezies	Extrakt	Abbaubarkeit [%]
Cyanothece sp.	EPS_W	37,8
Nannochloropsis salina	Biomasse	25,5
Nannochloropsis salina	EPS_W	35,0
Porphyridium purpureum	EPS_W	12,0

Technische Bewertung: Umformung

4



Quelle: Lange, 1981

→ Verfahren mit hoher relativer Flächenpressung (Bild)

→ Einsatz industrieller Lösevermittler

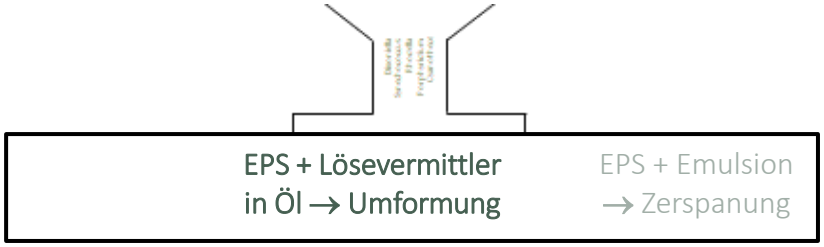
I. Ringstauchen → kein Einfluss der Algenkonzentration auf den Prozess
Bewertungskriterien: Maximale Presskraft F_{max}, Außen- und Innendurchmesser D, d, Balligkeit r

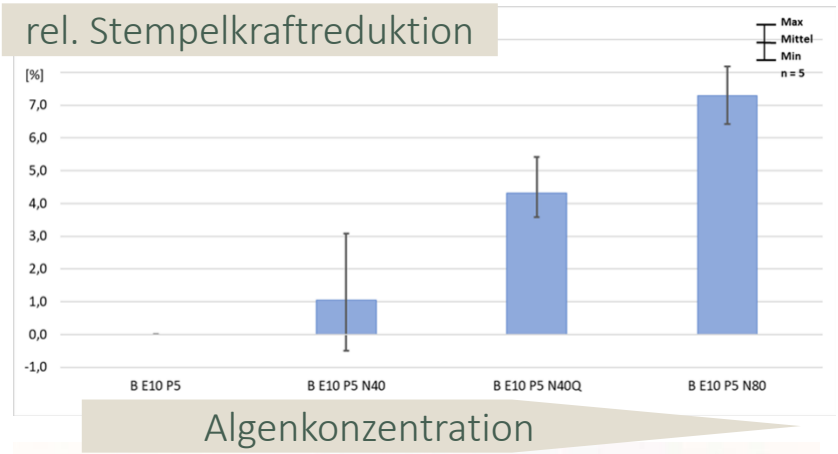
II. Tiefziehen → Stempelkraft sinkt bei steigender Algenkonzentration → Rauheit steigt, Wandstärke schwankt
Bewertungskriterien: rel. Stempelkraftreduktion, Wandstärke, Oberfläche/Aussehen

III. Gewindeformen→ bis 25% gesenktes Drehmoment gegenüber nicht additiviertem Basisöl
Bewertungskriterien: Zahnflankenhöhe, Drehmoment

Technische Bewertung: Umformung

4





→ Verfahren mit hoher relativer Flächenpressung

→ Einsatz industrieller Lösevermittler

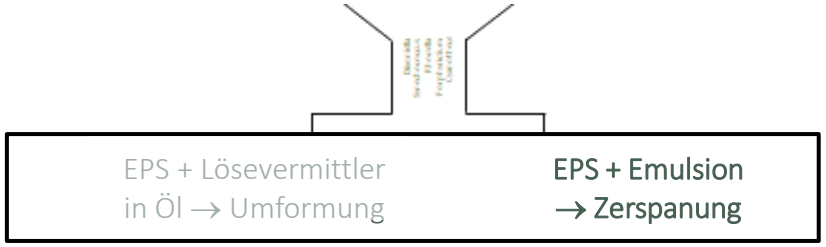
I. Ringstauchen → kein Einfluss der Algenkonzentration auf den Prozess
Bewertungskriterien: Maximale Presskraft F_{max}, Außen- und Innendurchmesser D, d, Balligkeit r

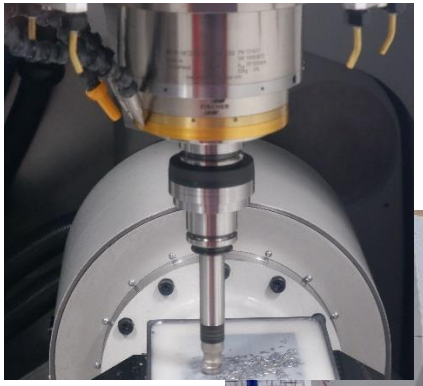
II. Tiefziehen → Stempelkraft sinkt bei steigender Algenkonzentration (Bild) → Rauheit steigt, Wandstärke schwankt
Bewertungskriterien: rel. Stempelkraftreduktion, Wandstärke, Oberfläche/Aussehen

III. Gewindeformen→ bis 25% gesenktes Drehmoment gegenüber nicht additiviertem Basisöl
Bewertungskriterien: Zahnflankenhöhe, Drehmoment

Technische Bewertung: Zerspanung

5

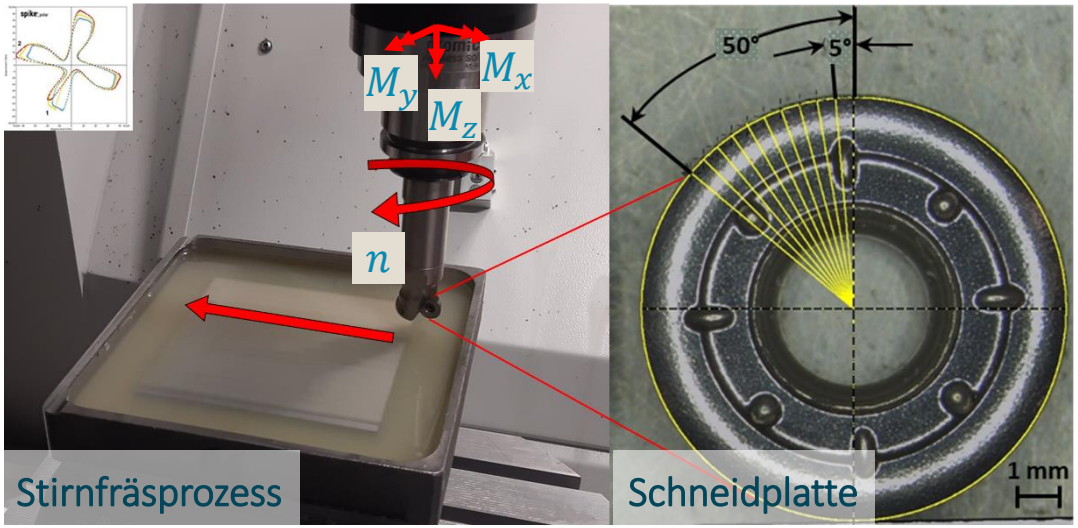




Roeders RXP601DS
hohe Spindeldrehzahl
hohe Steifigkeit

I. Qualifizierung von Zerspanprozessen
   - Bohren und Reiben eingeschränkt geeignet
   - Fräsen geeignet
   Bewertungskriterien:
   Standweg, Kräfte, Biegemoment, WZ-Temperatur, Oberflächenrauheit
II. Werkstoffe
   I. 42CrMo4 @ 40 HRC
   II. 42CrMo4 @ 40 HRC / HSC
   III. TiAl6V4 / HSC
III. Schneidstoff: Hartmetall
IV. Additive
   I. ohne (Referenz I)
   II. industrieübliche Additive (Referenz II)
   III. algenbasiert
   IV. weitere Substanzen

Definition des Kriteriums für den Werkzeugverschleiß



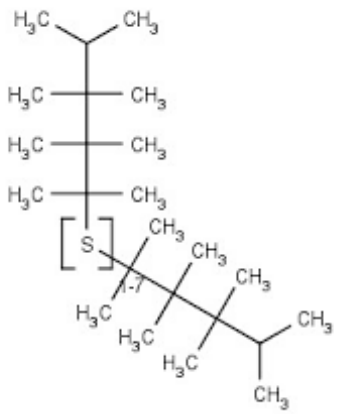
I. Maschinenintegrierte Messung des Schneidkantenversatzes

II. Verschleißkriterien

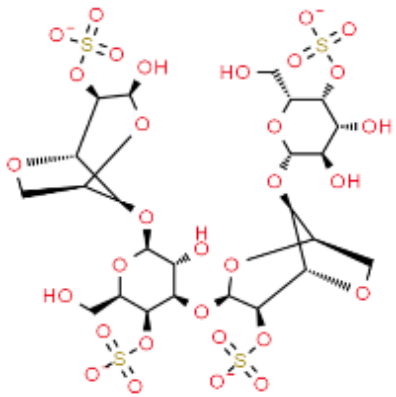
→ Verschleißfläche

$$\rightarrow M_b = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

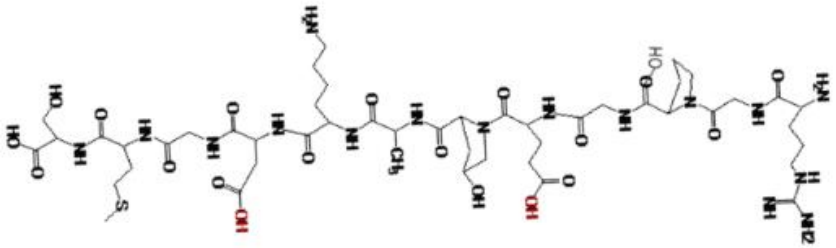
Untersuchte konventionelle Additive, Substanzen und Algenstämme



Referenzadditiv
TPS20 / 32



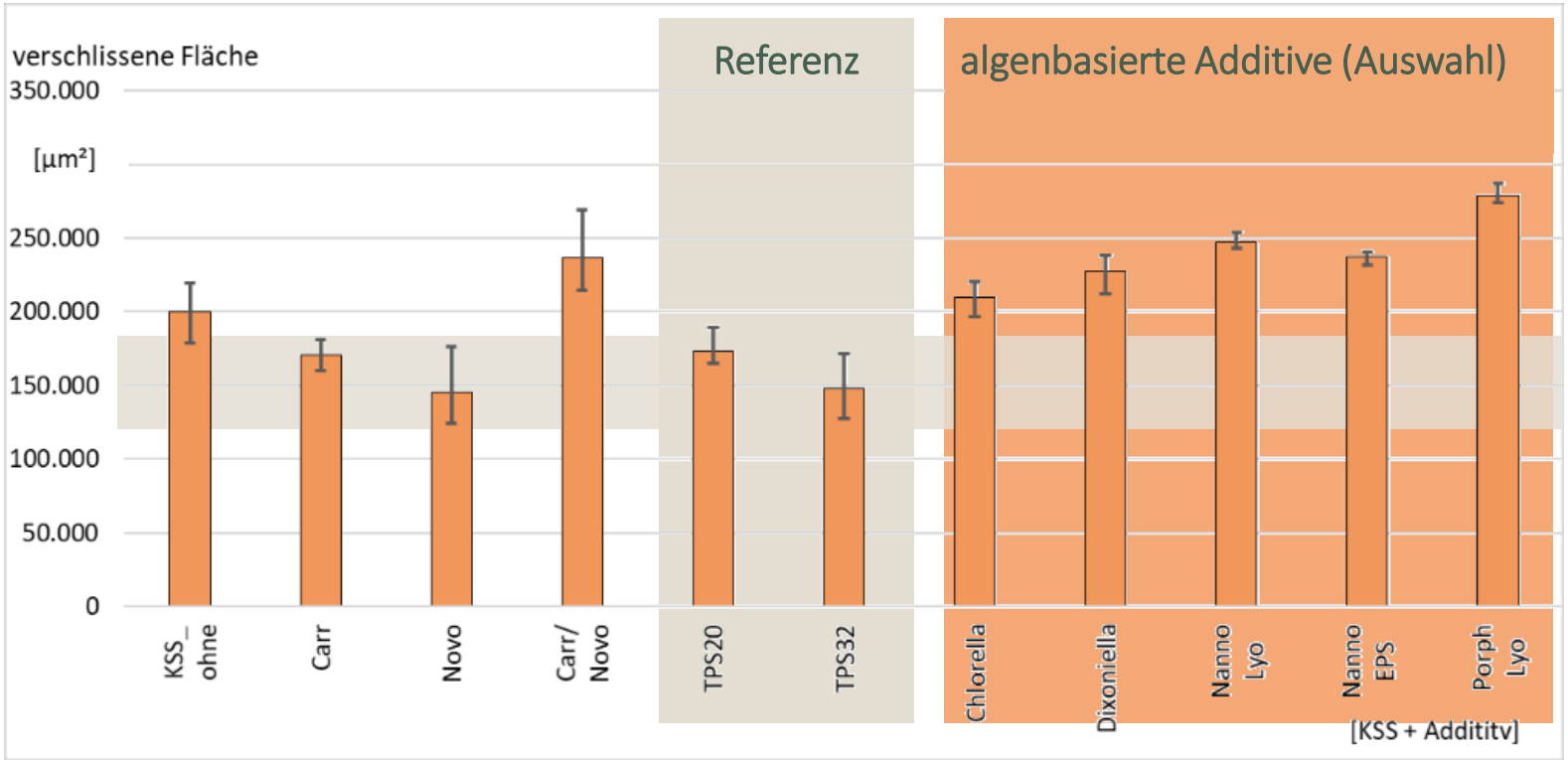
Iota Carrageen



Novotec CL800

I. Basisschmierstoff
   5% Emulsion - frei von EP/AW Additiven
II. Konzentration der Additive 0,05%
III. Untersuchte Additive
   I. KSS_ohne: Basisschmierstoff
   II. TPS20/32: konv. Additive (Referenz)
   III. Carr: Iota Carrageen/Polysaccharid
   IV. Novo: Novotec CL800/Protein
   V. Nanno: *Nannochloropsis salina*
   VI. Porph: *Porphyridium purpureum*
   VII. Cyan: *Cyanothece spec.*
   VIII. ...
IV. Einbringung
   I. *Lyo:* Lyophilisat
   II. *EPS:* Extrazelluläre Polymere Substanz
   III. *hom:* Homogenisiert

Werkzeugverschleiß > konventionelles Fräsen von 42CrMo4 @ 40 HRC

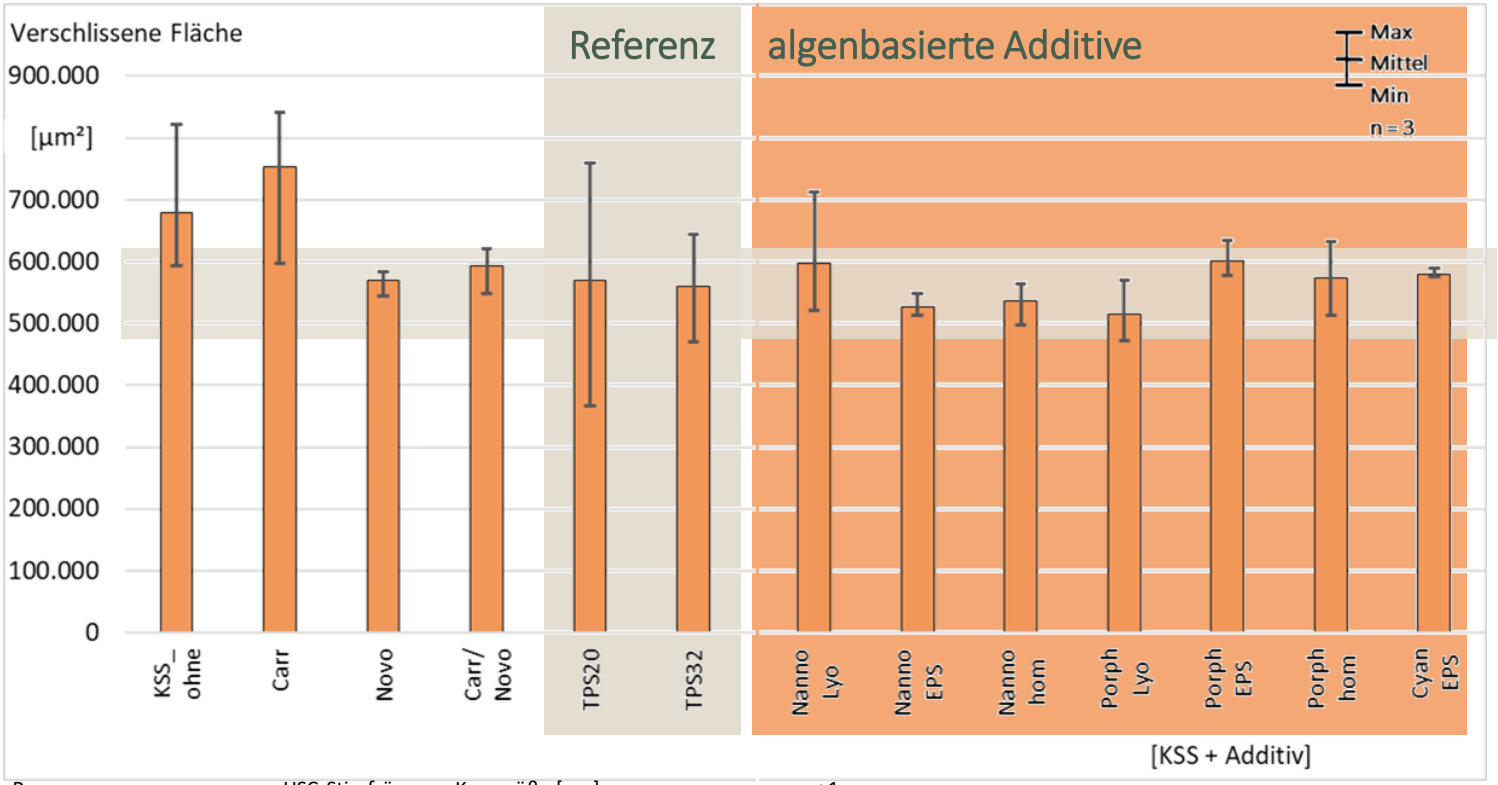


Prozess	Stirnfräsen	Korngröße [µm]	< 1
Werkstoff	42CrMo4	Spanwinkel [°]	20
Härte HRC	40 ± 2	Beschichtung	ohne
Zugfestigkeit [N/mm²]	~ 1.200	Drehzahl n [1/min]	3.000
Durchmesser WKZ [mm]	20 / eff. 16	Schnittgeschw. v_c [m/min]	150
Schneidenanzahl	2	Vorschub/Zahn f_z [mm/z]	0,025
Durchmesser WSP [mm]	10	Vorschubgeschw. V_f [mm/min]	150
Schneidstoff	Feinstkornsubstrat	Schnitttiefe a_p [mm]	1
Fräsweg [mm]	1.500	Eingriffbreite a_e [mm]	6

Ergebnis

→ Algensubtrate erhöhen den Verschleiß

Werkzeugverschleiß > High Speed Cutting von 42CrMo4 @ 40 HRC; 3x schneller

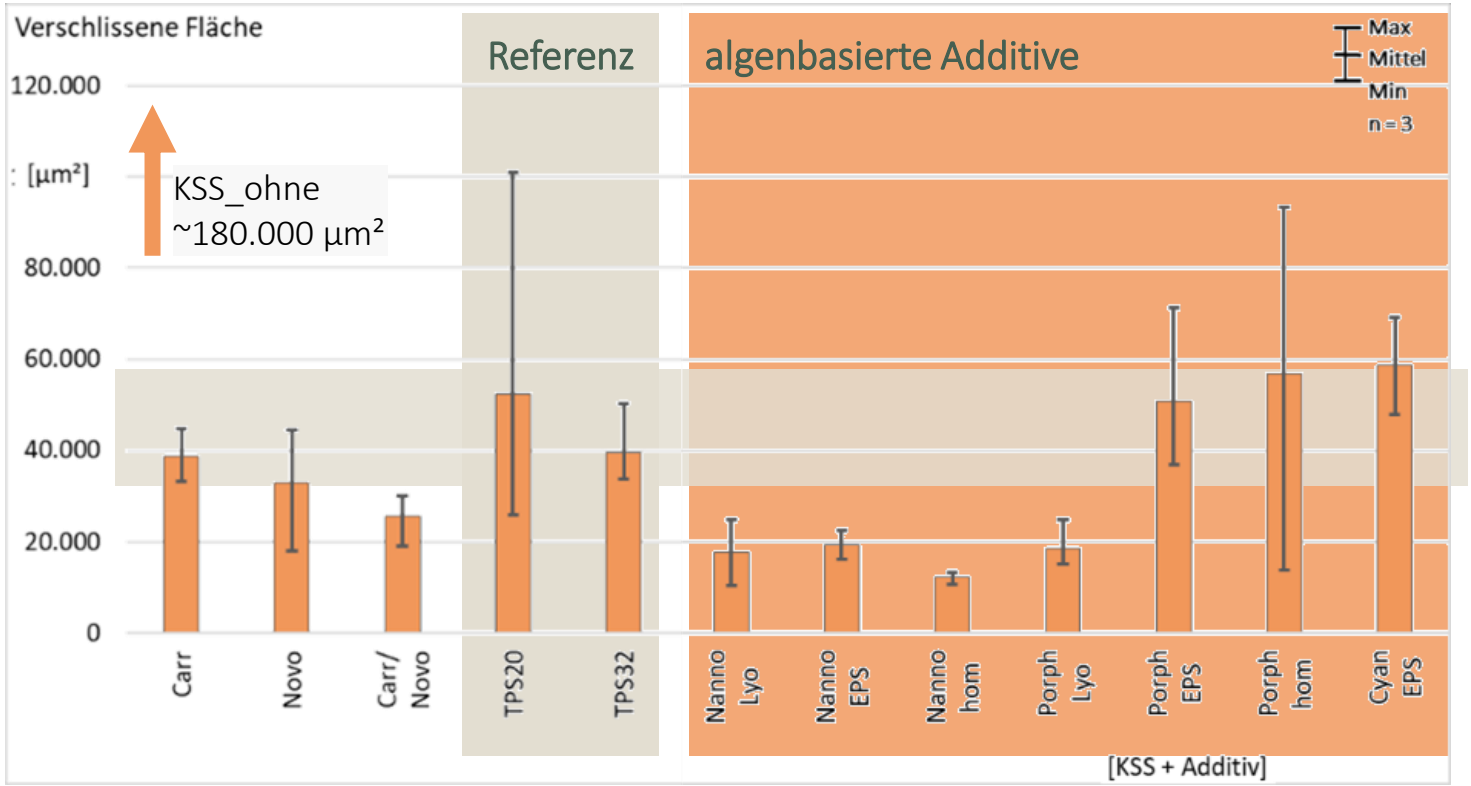


Prozess	HSC-Stirnfräsen	Korngröße [µm]	< 1
Werkstoff	42CrMo4	Spanwinkel [°]	20
Härte HRC	40 ± 2	Beschichtung	ohne
Zugfestigkeit [N/mm²]	~ 1.200	Drehzahl n [1/min]	8.952
Durchmesser WKZ [mm]	20 / eff. 16	Schnittgeschw. v_c [m/min]	448
Schneidenanzahl	2	Vorschub/Zahn f_z [mm/z]	0,025
Durchmesser WSP [mm]	10	Vorschubgeschw. V_f [mm/min]	450
Schneidstoff	Feinstkornsubstrat	Schnitttiefe a_p [mm]	1
Fräsweg [mm]	1.000	Eingriffbreite a_e [mm]	6

Ergebnis

→ Referenzen und Algensubstrate zeigen ähnliche Ergebnisse

Werkzeugverschleiß > High Speed Cutting of TiAl6V4

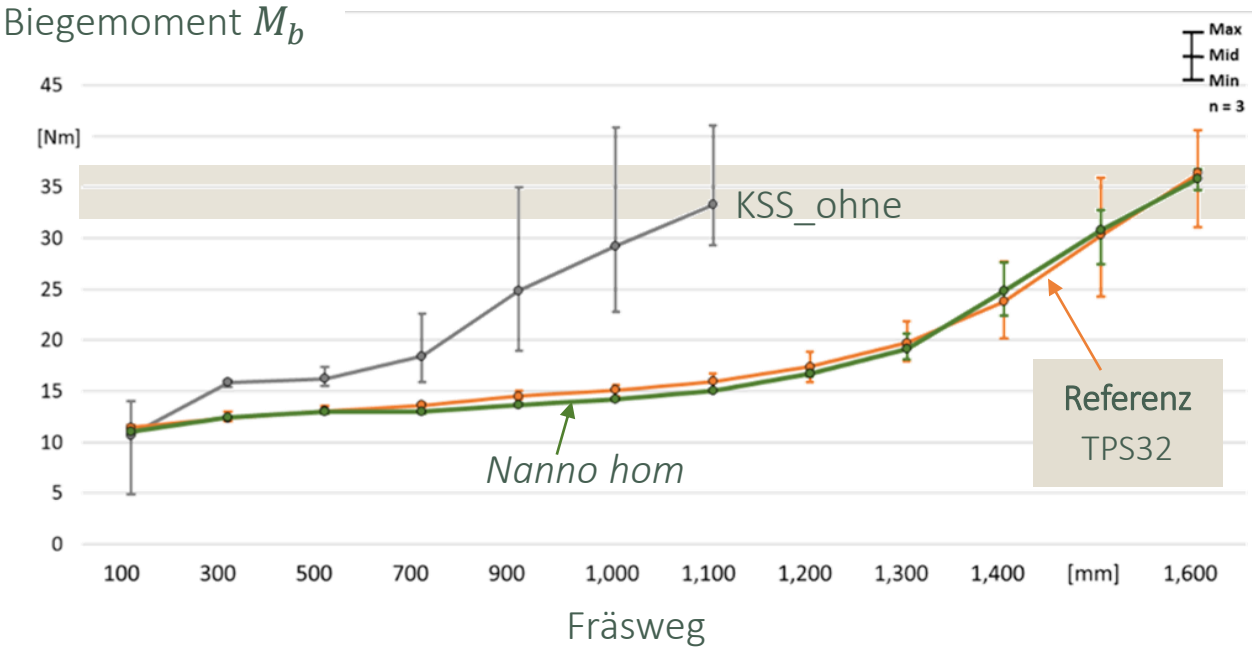


Prozess	HSC-Stirnfräsen	Korngröße [µm]	< 1
Werkstoff	TiAl6V4	Spanwinkel [°]	20
Härte HRC	33 ± 2	Beschichtung	ohne
Zugfestigkeit [N/mm²]	> 895	Drehzahl n [1/min]	7.958
Durchmesser WKZ [mm]	20 / eff. 16	Schnittgeschw. v_c [m/min]	400
Schneidenanzahl	2	Vorschub/Zahn f_z [mm/z]	0,025
Durchmesser WSP [mm]	10	Vorschubgeschw. V_f [mm/min]	398
Schneidstoff	Feinstkornsubstrat	Schnitttiefe a_p [mm]	1
Fräsweg [mm]	1.000	Eingriffbreite a_e [mm]	6

Ergebnis

→ Substrat von *Nannochloropsis salina* (homogenisiert) zeigt geringsten Verschleiß

Biegemoment am Fräser > HSC Bearbeitung von TiAl6V4 > Abbruchkriterium 35 Nm Biegemoment



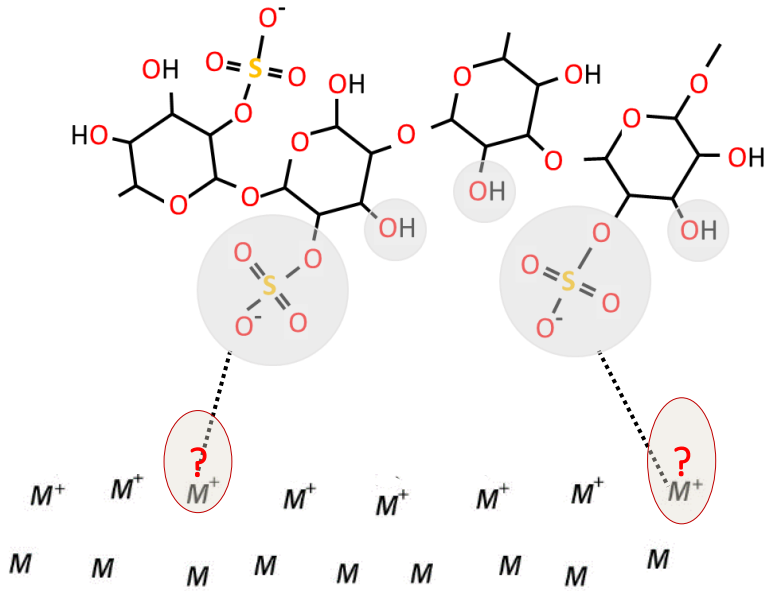
Process	HSC Face-milling
Work piece	TiAl6V4
Hardness [HRC]	33 ± 2
Tensile strenth [N/mm²]	> 895
Diam. Tool [mm]	20 / eff. 16
Numb. of cutting edges	2
Diam. insert [mm]	10
Cutting microstrcture	Fine grain
Grain size [µm]	< 1
Cobalt [%]	~ 5
Microstructure hardness [HV10]	1,750
Rake angle [°]	20
Coating	none
Rotational speed n [1/min]	7,958
Cutting speed v_c [m/min]	400
Feed/tooth f_z [mm/th]	0.025
Feed rate v_f [mm/min]	398
Depth of cut a_p [mm]	1.0
Width of cut a_e [mm]	6.0
MWF concentration [%]	5.0
Additive concentration [%]	0.05

Ergebnis

→ Substrat von *Nannochloropsis salina* (homogenisiert) und TPS32 zeigen identisches Verhalten

Zusammenfassung

Lorenzo Zanella, FabioVianello: Microalgae of the genus Nannochloropsis: Chemical composition and functional implications for human nutrition. Elsevier, Journal of Functional Foods, Volume 68, May 2020



„frische“ Titanoberfläche

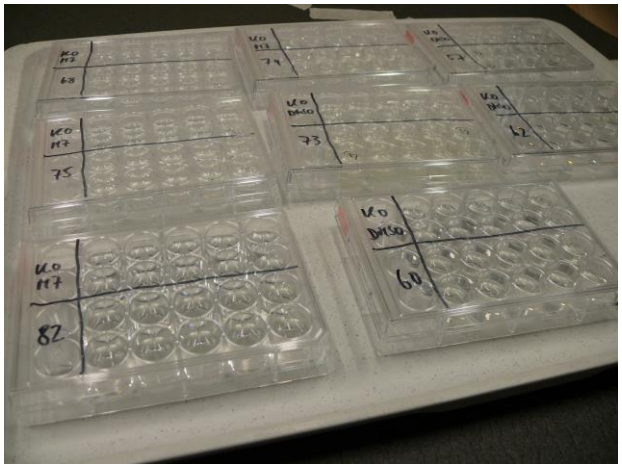
Ziel

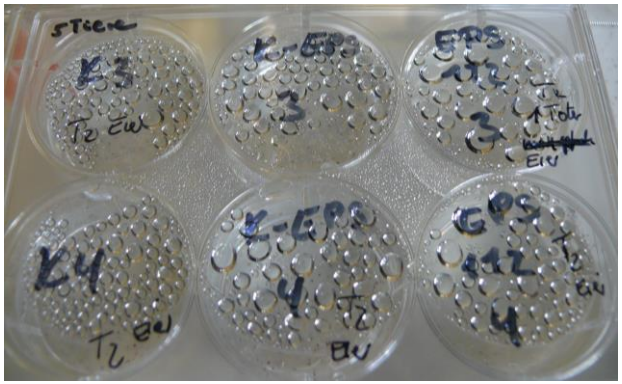
- Substitution konventioneller Schmierstoffadditive durch strukturell analoge Komponenten aus Mikroalgen.

Ergebnisse

- Substrat von *Nannochloropsis salina* zeigt hervorragende Ergebnisse beim Hochgeschwindigkeitsfräsen von TiAl6V4.
- Die verantwortliche chemische Reaktion im Bearbeitungsprozess ist nicht vollständig geklärt.
- Die chemische Zusammensetzung hängt stark von den Kultivierungsbedingungen ab.

Ausblick





1

Algenzüchtung und Extraktion

- Einsatz von antimikrobielle Substanzen gegen die Kontaminanten im Schmieröl (> Projekt in Vorbereitung)
- Optimierung der Kultivierung von Algen hinsichtlich der Biosynthese von extrazellulären Polymeren (> neues Projekt)

2

Aufreinigung und Analytik der Extrakte

- Analytik der Polysaccharide nach vollständiger Hydrolyse (> neues Projekt)
- Zwitterionische Emulgatoren eignen sich gut zur Einformulierung von Algensubstanzen in Öle

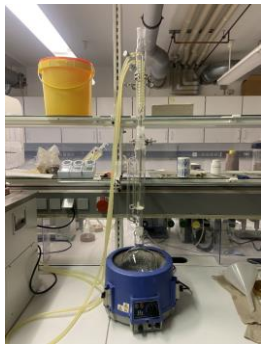
3

Ökotoxikologische Prüfung

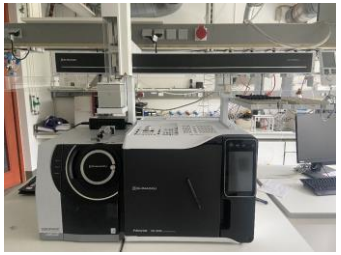
- Entwicklung und Optimierung von standardisierten, verschachtelten Screening-Abläufen und chronischen Tests mit hoher Testanzahl
- Anpassung von Testsystemen an geringe Extraktvolumina

Ausblick: Leistungsüberprüfung in der Umformung

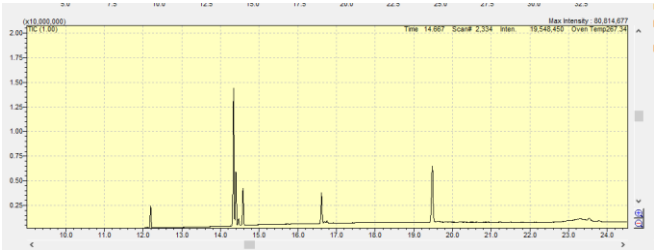
4



Ölgewinnung durch Pressung und Soxhlet-Extraktion



Methodenentwicklung für GC-Analyse



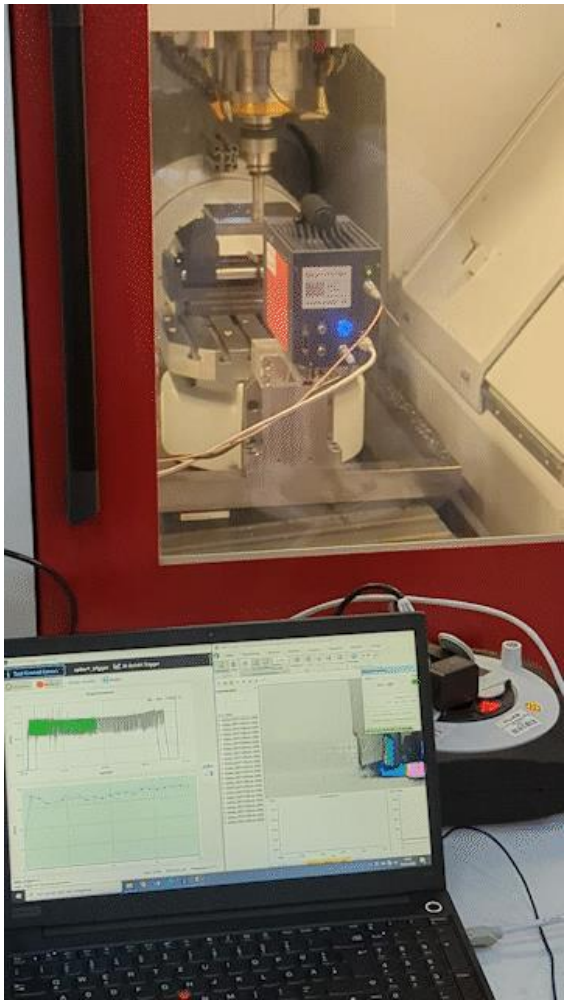
Kooperationsprojekt der Hochschule Wismar mit dem Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben und Malchow (Insel Poel)

Thema:
Gewinnung von fetten Ölen aus den Ölpflanzen Raphanus Sativus und Sinaps Alba

- Saatgut aus dem Bestand der Genbank des IPK
- Anwendung von Press- und Extraktionsverfahren
- Auswertung der Umwelteinflüsse auf Entwicklung der Pflanzen
- Methodenentwicklung und gaschromatografische Analyse
- Massenbilanzierung
- Prüfung der Relevanz für industrielle Nutzung (Schmiermittel, Kosmetik, Farben/Lacke, Lebensmittelindustrie)
- Industrialisierung der Methodik & Analyse

Ausblick: Leistungsüberprüfung in der Zerspanung

5

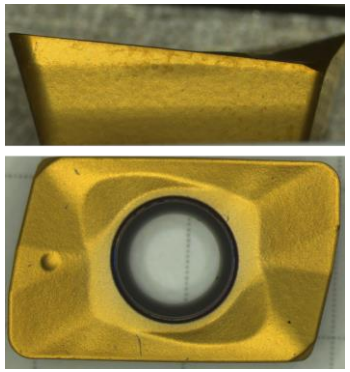


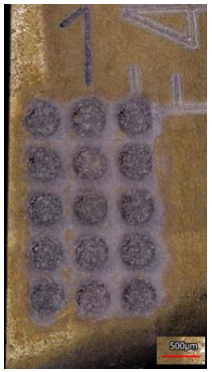
Herausforderung

- Messung der Werkzeugtemperatur im Fräsprozess

Erkenntnisse

- Entwicklung eines neuen Prinzips der pyrometrischen Messung der Werkzeugschneidentemperatur





Kriterium	Wert/Auswahl
gemittelter Emissionsgrad	0,53
Position	Freifläche
Anordnung	Matrix 5 × 3
Kavitätengeometrie	Kreis
Sollkavitätendurchmesser	400 μm
Kavitätentiefe	55 $\pm$ 15 μm
Abstand zur Schneidkante	$\approx$ 500 μm
Fertigungsmodus	Schwarzgravur
Randsäuberung	nein

- Folgevorhaben zu ALBINA startet 08/2023:
  Nutzung von Polysacchariden in Schmierstoffen

Veröffentlichungen, Vorträge

Quelle: S. Mensing, HS Wismar, Y. Sakkea, Uni-Bremen

Paper/Poster

Gavalás- Olea, A. et al.: Potential of the red microalga Dixoniella grisea for the production of additives. Plants, 10 (9), S. 1836, 2021.

Gavalás-Olea, A. et al.: Potential of algae-based biolubricant additives: extraction, application, 7th European Phycological Congress, Zagreb, 25.-30.08.2019.

Gläbe, R. et al.: Machining of TiAl6V4 using lubricants containing renewable microalgae-born performance additives. XXV International Symposium, Research – Education – Technology, Bremen, 20. Juni 2022

Gläbe, R. et al.: Machining of TiAl6V4 using lubricants containing renewable microalgae-born performance additives. XXV International Symposium, Research – Education – Technology, Bremen, 30.06.2022

Gläbe, R. et.al.: In-process thermography for metal-cutting processes. Sensors (in Planung)

Koch, T. et al.: Algae-based bio lubricant additives: extraction, application and technical properties - from the algae to the technical product, 22nd International Colloquium Tribology, Esslingen, 28.01.-31.01.2020.

Koch, T. et al.: Reibungsminderer aus dem Meer. Nachrichten aus der Chemie, 68 (4), S. 40-42, 2020.

Koch, T. et al.: Alternative Schmierstoff-Additive auf Basis von Mikroalgen. Tribologie und Schmierungstechnik, 67 (3), S. 41-46, 2020.

Koch, T. et al.: Nachhaltige Schmierstoff-Additive auf Basis von Mikroalgen in der Umformung und Zerspanung Teil 1. Tribologie und Schmierungstechnik, 69(3):18-26, 2022.

Koch, T. et al.: Nachhaltige Schmierstoff-Additive auf Basis von Mikroalgen in der Umformung und Zerspanung Teil 2. Tribologie und Schmierungstechnik, 69(3):28-38, 2022.

Koch, T. et al.: Machining of TiAl6V4 using lubricants containing renewable microalgae-born performance additives. Acta Mechanica et Automatica (eingereicht - angenommen).

Koch, T. : Microbiology of Metalworking Fluids: What We Know and Lessons to be Learnt. Acta Mechanica et Automatica 17(3):166, 2023.

McKee, M. et al: ALBINA: Developing sustainable, environmentally friendly lubricant additives for technical applications from algae. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Europe 32st annual meeting. 15-19th May 2022.

McKee, M. et al.: Are algae always “green”? – Testing environmental hazards of algae extracts for technical application. Environmental Toxicology and Chemistry (in Arbeit)

Sakka, Y. et al.: Toxicity to non-target organisms is related to species, fraction and culturing. SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Europe 31st annual meeting. 03.-05.May 2021.

Präsentationen

Gavalás-Olea, A. et al.: **Microalgae - based metabolites as biolubricant additives**. DBG-Kongress Steinfeld, 10.03.2020.

Gläbe, R. et al.: **Angeschmiert!? Von Mikroalgen, Alufolie und Löchern**. Vortrag im Rahmen der Maritimen Woche, Hafenmuseum Speicher XI, 28217 Bremen, 18.09.2019.

Gläbe, R. et al.: **Potenziale algenbasierter Bioschmierstoffadditive.** Bioschmierstoff-Tagung 2021, online, 09.02.2021.

Gläbe, R. et al.: **Machining of TiAl6V4 using lubricants containing renewable microalgae-born performance additives.** XXV International Symposium, Research – Education – Technology, Bremen, 30.06.2022.

Koch, T. et al.: **Algae-based bio lubricant additives: extraction, application and technical properties - from the algae to the technical product.** 22nd International Colloquium Tribology, Esslingen, 29.01.2020.

Koch, T. et al.: **Potenziale algenbasierter Bioschmierstoffadditive.** Koordinierungskreis KSS der BG HM, online, 22.06.2023.

Danksagung an den Projektträger und den Förderer

Die Mitglieder des Forschungsvorhabens ALBINA an den Hochschulen Bremen (Koordination), Bremerhaven und Wismar sowie an den Instituten für Allgemeine und theoretische Ökologie und chemische Verfahrenstechnik der Universität Bremen danken der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR) sowie dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), das dieses Vorhaben durch einen Beschluss des deutschen Bundestages fördert.

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

FNR
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Dr. Ralf M. Gläbe

Hochschule Bremen

Fakultät 5, Abteilung Maschinenbau

ralf.glaebe@hs-bremen.de

www.albina-additive.de