



Mechanische Aufbereitung von Schleifschlämmen aus der Bearbeitung von Schnellarbeitsstahl

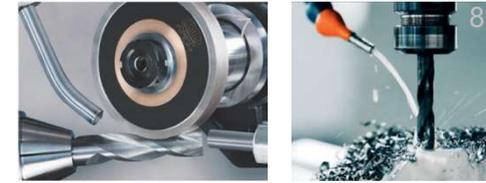
Anna-Caroline Assmann, Eric Johach, Anna Becker, Karoline Raulf, Kathrin Greiff
Institut für Anthropogene Stoffkreisläufe (ANTS)

Motivation

» Aufkommen und Zusammensetzung

► Genese

- Schleifschlamm fällt bei spanenden Prozessen in der **Metallverarbeitung**, wie Schleifen, Läppen, Bohren, an¹
- Teilweise werden bis zu **50 Ma.-%** des Werkstücks weggeschliffen²
- **280.000 t/a** Schleifschlamm in Deutschland, Tendenz steigend³



► Zusammensetzung von Schleifschlamm variiert⁵:

- Wasser
- Filtermaterial
- Metallfraktion
- Kohlenstofffraktion: Kühlschmierstoffe sind umweltkritisch⁶
- Mineralische Fraktion (Abrasive) und Matrix

Recycling

Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV)⁴

AVV

Ausfertigungsdatum: 10.12.2001

Wird als „**gefährlicher Abfall**“ eingestuft
(Abfallschlüssel: 12 01 18*)⁴



Produktionsabfall: Bekannte Legierung bzw. Zusammensetzung → Hohes Recyclingpotential für die Metallfraktion

Kühlschmierstoff: Abreicherung der Späne verbessert die interne Kreislaufführung

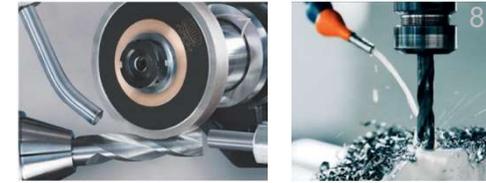
Literaturquellen: (Birgit Guschall-Jaik et al. 2014)¹; (W. Hagedorn et al. 2022)²; (Reschke et al. 2019)³; (Bundesamt für Justiz 2001)⁴; (Jäger et al. 2021)⁵; (Hankel et al. 2020)⁶

Bildquellen: (Klocke 2018)⁷; (Hoffmann 2019)⁸

Recycling

» Stand der Technik und der Forschung (Auszüge)

- ▶ Innerbetriebliche Kreislaufführung von Kühlschmierstoff durch Entölung über (Band-) Filter¹
- ▶ Brikettierung von Schleifschlamm zusammen mit Spänen gleicher Qualität^{2;3}



Aufbereitungsverfahren	Restölgehalt
Entölung über Filter	30 – 40 Ma.-% ¹
Pressen	15 – 20 Ma.-% ⁶
Zentrifugieren	15 – 20 Ma.-% ⁶
Brikettierung Späne & Schleifschlamm	1,5 – 4 Ma.-% ³
Waschen mit Tensidlösungen	< 1 Ma.-% ⁴
Vakuumthermisches Verfahren	< 1 Ma.-% ⁵
Sintern	< 1 Ma.-% ⁶

Literaturquellen: (Liedtke 1999)¹; (Erich et al. 2000)²; (Kißler 1999)³; (Hoffmann 2019)⁴; (Lamprecht 2001)⁵; (Liedtke 1999)⁶

Bildquellen: (Szombathy und Kroll 2020)⁷; (Hoffmann 2019)⁸

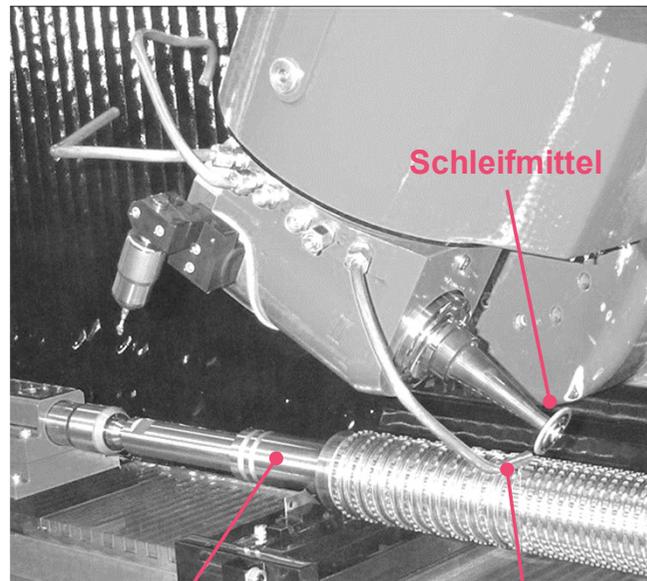
GENESIS – EnerGieeffiziENtE KreiSlaufwirtschaft kritischer RohStoffe

» Abfallgenese: Herstellung von Räumwerkzeugen

CNC* Schleifmaschine



* Computerized Numerical Control



Werkstück

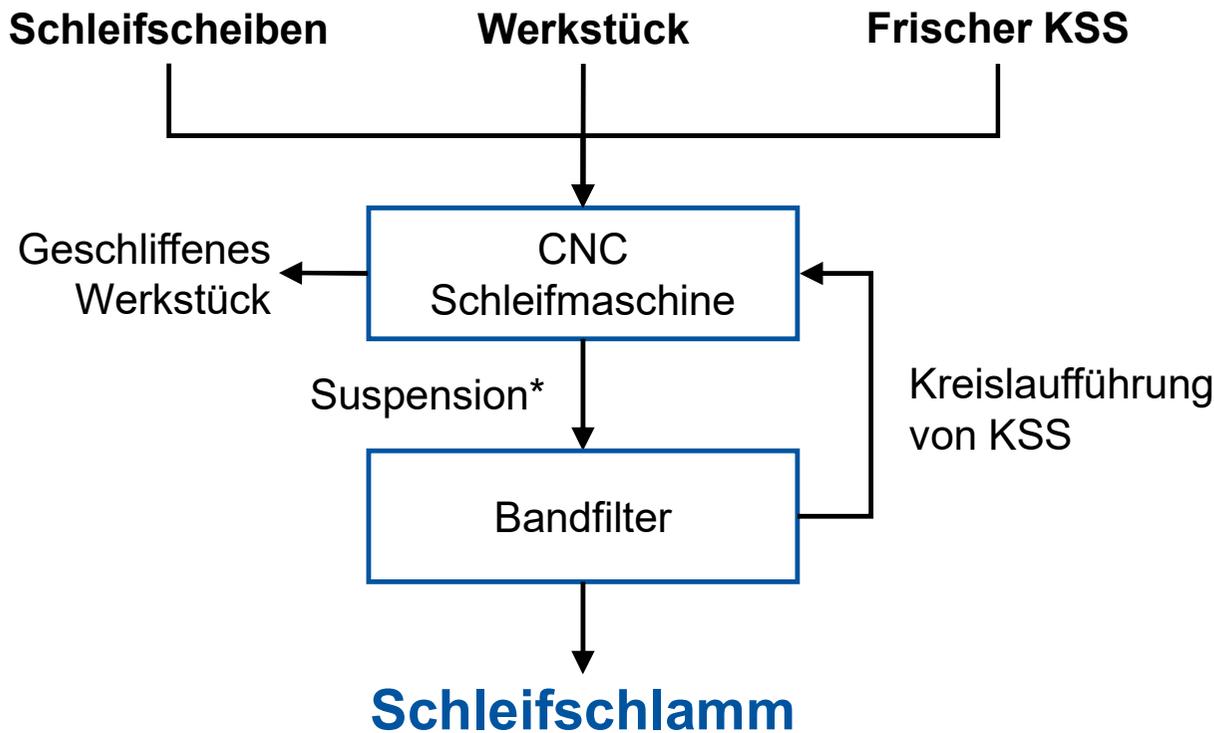
Kühlschmierstoff (KSS)

Bandfilter



GENESIS – EnerGieeffiziENtE KreiSlaufwirtschaft kritischer RohStoffe

» Abfallgenese: Herstellung von Räumwerkzeugen



*Ähnelt einer Suspension: Schleifspäne sind mehr oder weniger homogen in einer verhältnismäßig deutlich größeren Menge KSS verteilt.

! **Achtung:** Vereinfachte Darstellung des Prozesses!

Bandfilter



GENESIS – Ziel des Projektes

» Vom Produktionsabfall zu einem neuen Produkt

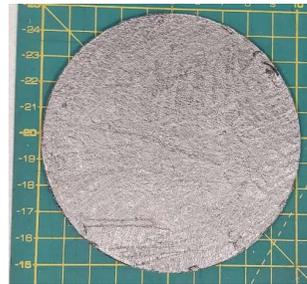
Produktionsabfall

Aufbereitung

Demonstrator

Endanwendung

Feldunterstütztes
Sintern



Schneidrolle $\text{\O} = 120 \text{ mm}$
*Bereitgestellt von FZJ



Einsatz im Tunnelbau

* <https://www.herrenknecht.com/de/produkte/productdetail/epb-schild/>

Kondensator-
entladungssintern
und Heißisostatisches
Pressen



Räumwerkzeug
* Bereitgestellt von LWT (RUB)
und OWL



Räumwerkzeug
* Bereitgestellt von Berghaus

GENESIS – Herstellung des Demonstrators

» Erzeugung eines Pulvers für Feld-aktiviertes Sintern/ Spark Plasma Sintering

Pulverherstellung

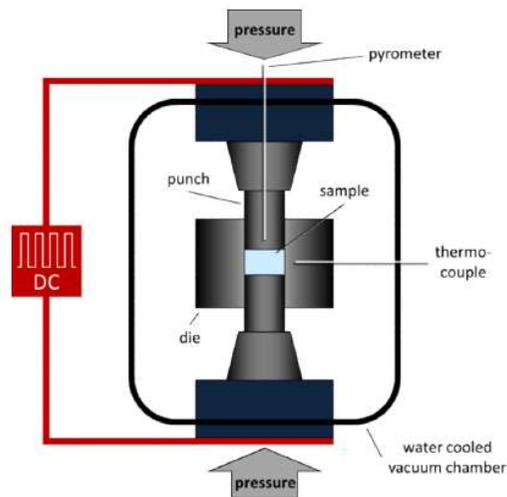


Schleifschlamm



Pulver* 0 – 0,2 mm

Feldunterstütztes Sintern



Heating rate: 100 K/min
Temperature: 950°C – 1050°C
Dwell time: 5 min
Pressure: 50 MPa, 120 MPa
Atmosphere: Argon
Tool material: Graphite
Sample size: \varnothing 20 mm

(Bram et al. 2021)

Pulvereigenschaften
definieren das
Ziel für die Aufbereitung

Korngrößenverteilung

Reinheit

Partikelform

Schüttdichte

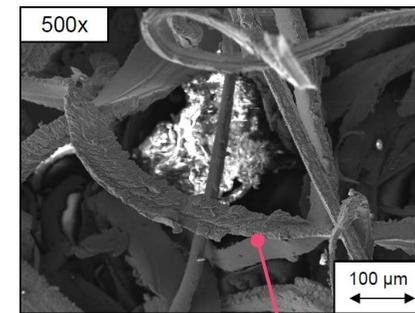
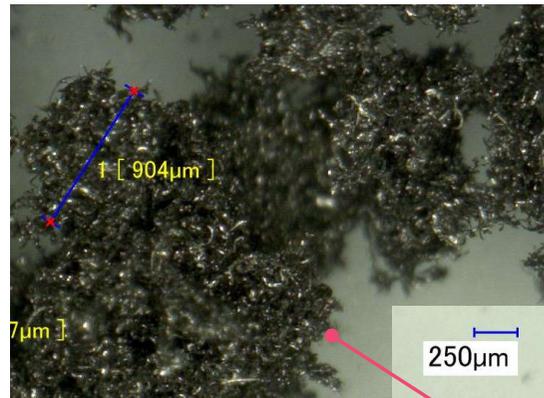
Klopfdichte

Fließfähigkeit

GENESIS – Ziel für die Aufbereitung

» Morphologieunterschied: Schleifspan ↔ Pulver

Agglomerate auf “verschiedenen Ebenen”



- ▶ Spanförmige Struktur des Einzelkorns
- ▶ Gewöllartige Struktur
- ▶ Mattenartige Struktur

Ziel für die Aufbereitung

Reinheit
Entfernung des
Kühlschmier-
stoffes

Erzeugen eines
kubischen Kornes



→ Erhöhung der
Schütt-/ Klopfdichte
und Fließfähigkeit

3-stufiger Aufbereitungsprozess (Labormaßstab)

» Modifizierung einer Zentrifuge zur Dichttrennung von Kunststoffen

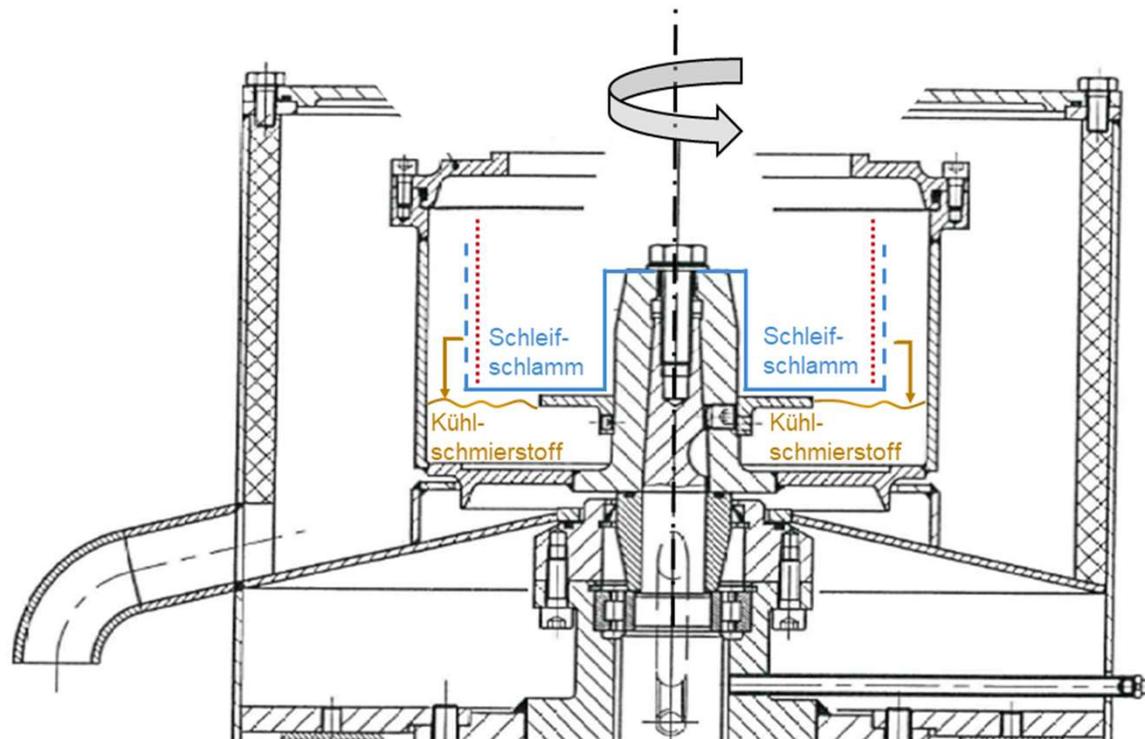


Mechanische Entölung

Chemische Entölung

Zerkleinerung

Dichttrennung



Filterzentrifuge



3-stufiger Aufbereitungsprozess (Labormaßstab)

» Modifizierung einer Zentrifuge zur Dichtentrennung von Kunststoffen



Mechanische Entölung

Chemische Entölung

Zerkleinerung

Dichtentrennung



Filterzentrifuge



3-stufiger Aufbereitungsprozess

» Modifizierung einer Zentrifuge zur Dichtentrennung von Kunststoffen



Mechanische Entölung

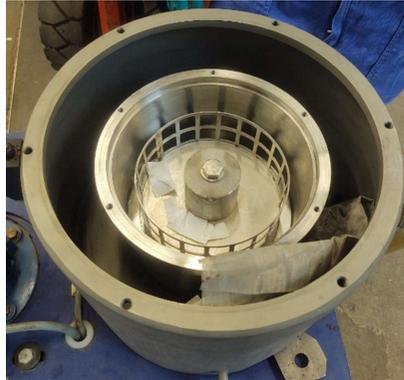
Chemische Entölung

Zerkleinerung

Zentrifuge



Zentrifuge mit Siebkorb



Netz mit **100µm** Maschenweite



Filterzentrifuge

Dichtentrennung

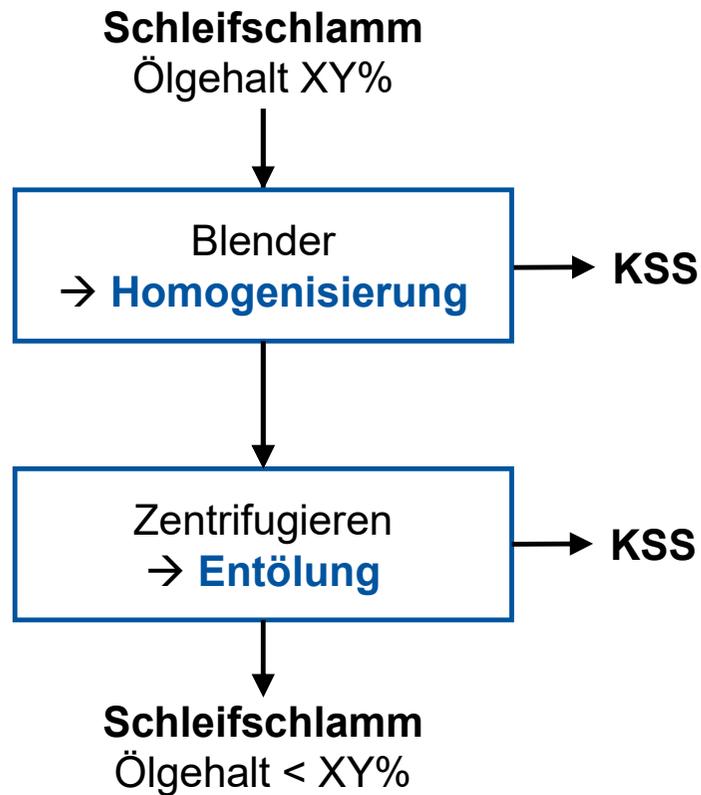


Problem: Agglomerate im Schleifschlamm → Auslösen der Schwingungsüberwachung → Stoppen der Zentrifuge

Homogenisierung

Mechanische
Entölung

» Auslösen der Schwingungsüberwachung vermeiden ...



Lösung: Auflösen der Agglomerate durch Homogenisierung in einem Blender

Vor
Homogenisierung



Nach
Homogenisierung



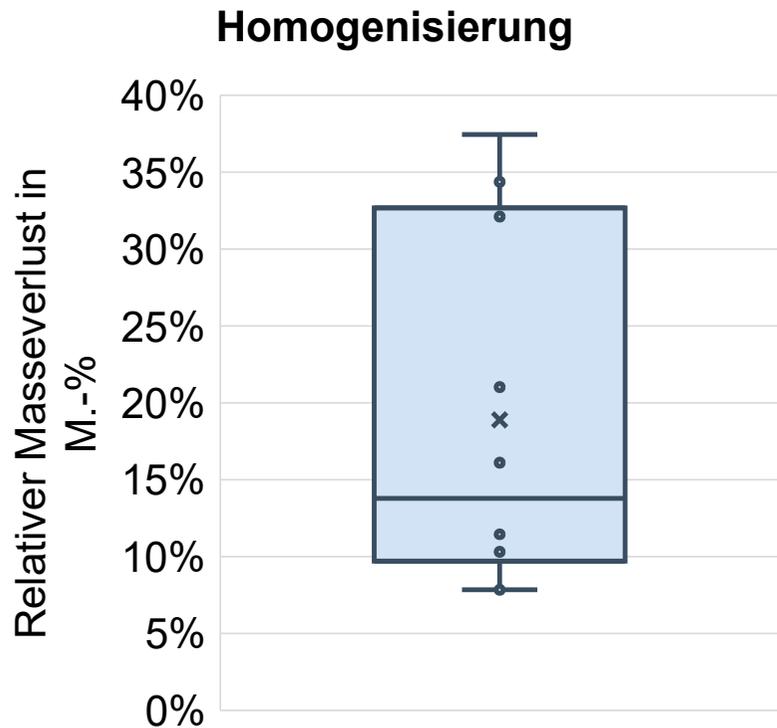
Nach Absetzen
8-10 Minuten



- ✓ Agglomerate lösen sich auf
- ✓ Sedimentation der Stahlspäne → Abscheiden von KSS

Homogenisieren

» ... und Kühlschmierstoff abtrennen



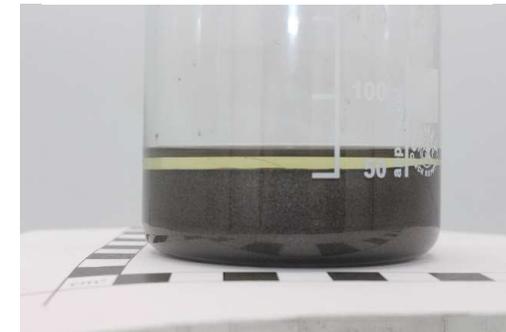
Ergebnisse

- ▶ Relativer Masseverlust m : **8 – 37 M.-%**
- ▶ Extreme Schwankungen
- ▶ Einflussfaktoren: Zeit und Feststoffanteil
- ▶ Reaggmolation zu mattenartiger Struktur nach langer Standzeit → direkte Weiterverarbeitung sinnvoll

Nach Absetzen
8-10 Minuten



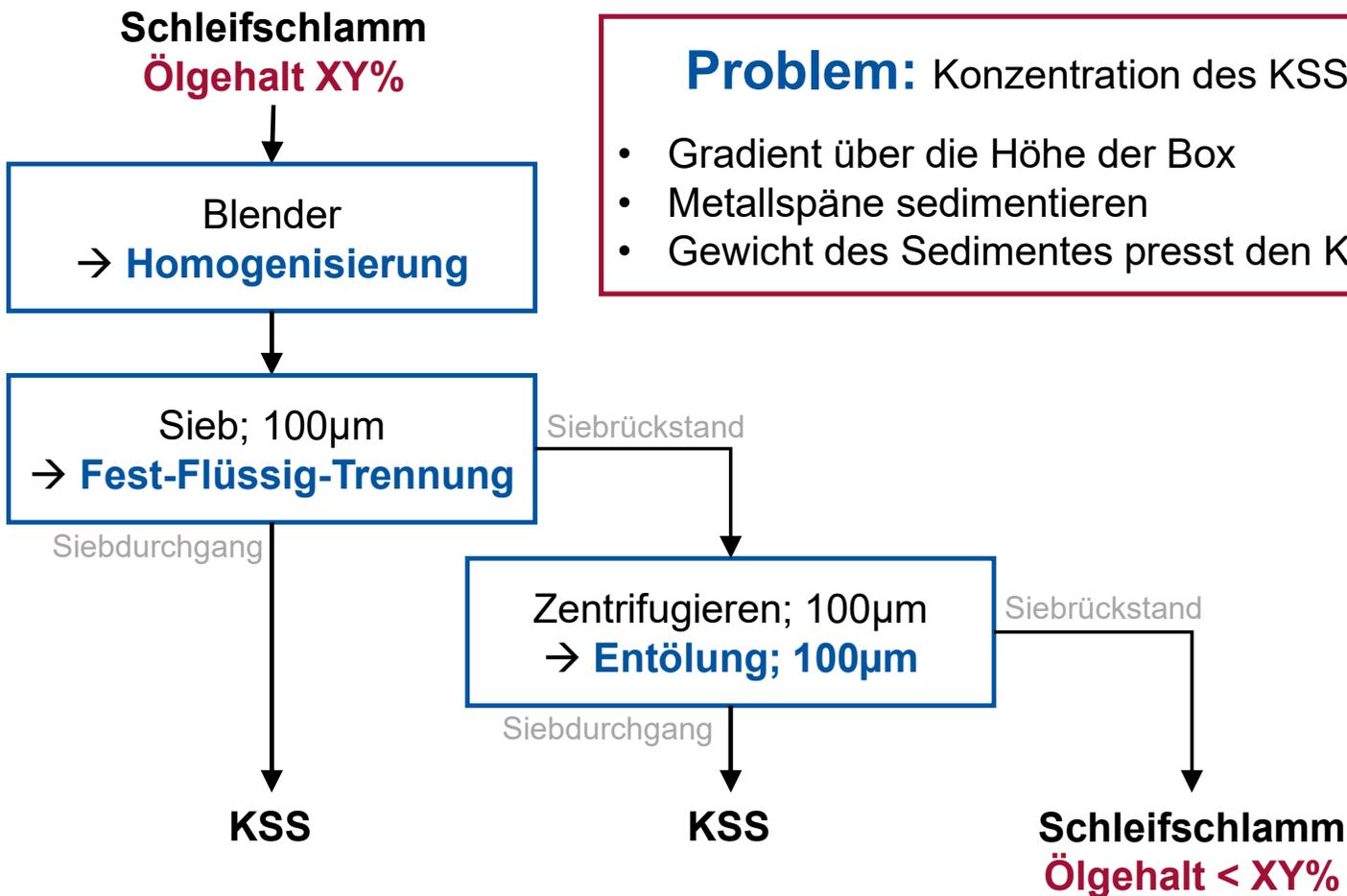
Sedimentiert nach 24
Stunden



Gleiche Einstellungen des Blenders; 10 Wiederholungen; Unterschiedliche Inputmengen

Nachweisen der Entölungseffizienz

» Prozessfließbild und Problemstellung



Problem: Konzentration des KSS im Input ist extrem heterogen

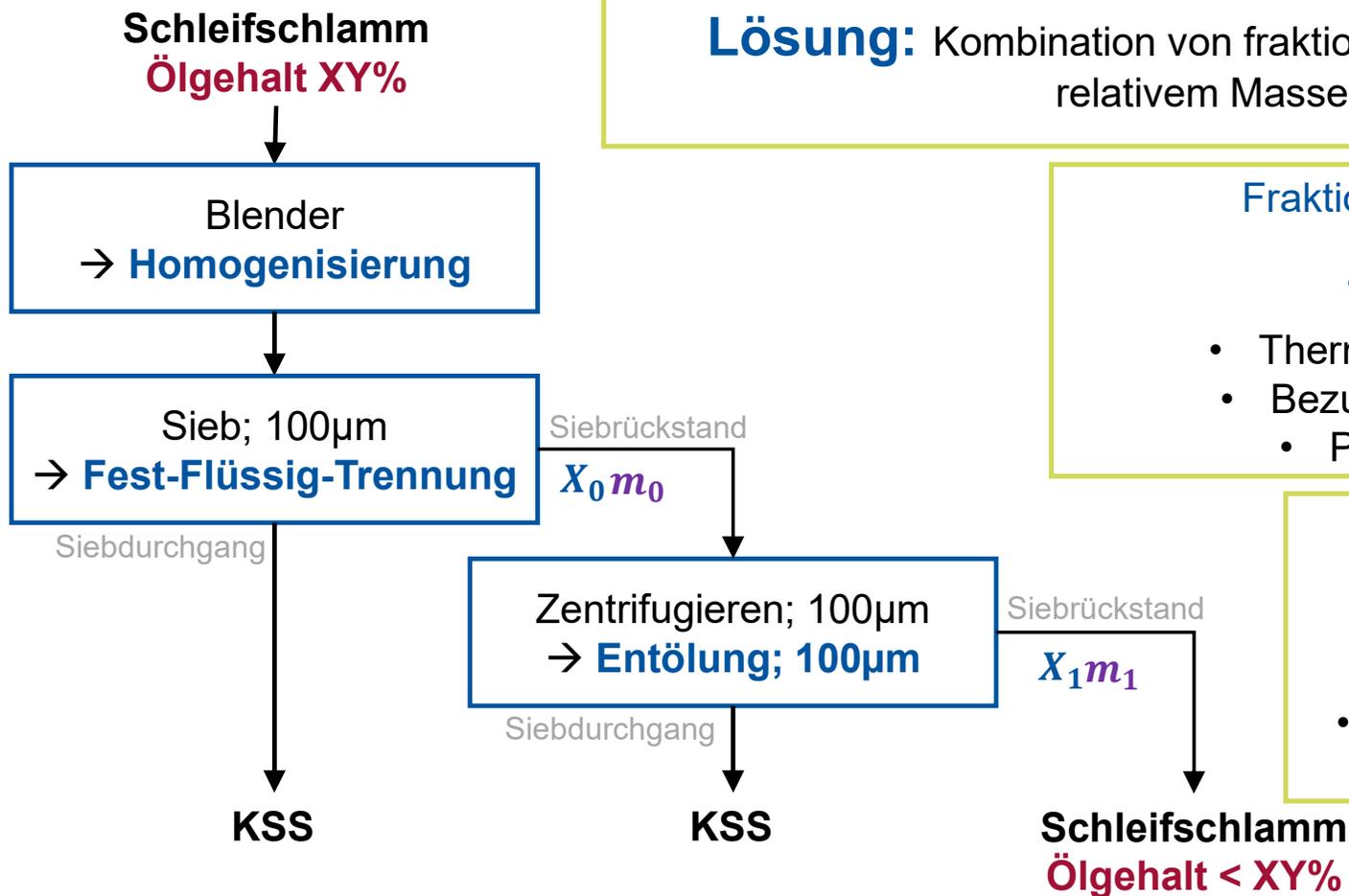
- Gradient über die Höhe der Box
- Metallspäne sedimentieren
- Gewicht des Sedimentes presst den KSS heraus



Nachweisen der Entölungseffizienz

» Lösungsansatz: Kombination zweier Messmethoden

Lösung: Kombination von fraktionellem Abscheidegrad n und relativem Masseverlust m



Fraktioneller Abscheidegrad n

- $n = \frac{\Delta X}{X_0} = \frac{X_0 - X_1}{X_0}$
- Thermogravimetrische Analyse
- Bezug auf **Eingangsohlgehalt**
 - Probenmenge < 30 mg

Relativer Masseverlust m

- $m = \frac{m_0 - m_1}{m_0}$
- Waage
- Bezug auf die **Gesamtmasse**
 - Größere Probemenge

Forschungsfragen und Versuchsplan

» Maschineneinstellungen: Rotationsgeschwindigkeit und Füllmenge

- Wie beeinflussen Rotationsgeschwindigkeit und Füllmenge den **fraktionellen Abscheidegrad n** ?
- Wie beeinflussen Rotationsgeschwindigkeit und Füllmenge den **relativen Masseverlust m** ?

Rotations- geschwindigkeit	1.500 U/min	3.500 U/min	1.500 U/min	3.500 U/min
Füllmenge	350 g	350 g	550 g	550 g
X_0 [M.-%]; m_0 [g]				
X_1 [M.-%]; m_1 [g]				
n [%]; m [M.-%]				

Verweilzeit in der Zentrifuge
Bis zur Gewichtskonstanz (Toleranz ± 3 Gramm)

n [%]: 1 Mischprobe je Parametereinstellung
 m [M.-%]: 5 Wiederholungen je Parametereinstellung

Ergebnisse - Zentrifugieren

» Fraktioneller Abscheidegrad n

► Wie beeinflussen Rotationsgeschwindigkeit und Füllmenge den fraktionellen Abscheidegrad n ?

Rotations- geschwindigkeit	1.500 U/min	3.500 U/min	1.500 U/min	3.500 U/min
Füllmenge	350 g	350 g	550 g	550 g
X_0 [M.-%]	43,8	50,7	39,3	45,3
X_1 [M.-%]	26,7	8,5	17,3	8,4
n [%]	39,0	83,2	56,0	81,6

Homogenisieren: keine Vergleichmäßigung der KSS-Konzentration

Restölgehalt < 10 M.-%
Höhere Drehzahlen → niedrigerer Restölgehalt

Fraktioneller Abscheidegrad: > 80 %

1 Mischprobe aus den 5 Batches je Parametereinstellung

Ergebnisse - Zentrifugieren

» Fraktioneller Abscheidegrad n

► Wie beeinflussen Rotationsgeschwindigkeit und Füllmenge den fraktionellen Abscheidegrad n ?

Rotationsgeschwindigkeit	1.500 U/min	3.500 U/min	1.500 U/min	3.500 U/min
Füllmenge	Aufbereitungsverfahren		Restölgehalt	
X_0 [M.-%]	Entölung über Filter		30 – 40 Ma.-% ¹	
	Pressen		15 – 20 Ma.-% ⁶	
	Zentrifugieren		15 – 20 Ma.-% ⁶	
X_1 [M.-%]	Brikettierung Späne & Schleifschlamm		1,5 – 4 Ma.-% ⁹	
	Waschen mit Tensidlösungen		< 1 Ma.-% ⁴	
	Vakuumthermisches Verfahren		< 1 Ma.-% ⁵	
n [%]	Sintern		< 1 Ma.-% ⁶	

Homogenisieren: keine Vergleichmäßigung der KSS-Konzentration

Restölgehalt < 10 M.-%
Höhere Drehzahlen → niedrigerer Restölgehalt

Fraktioneller Abscheidegrad: > 80 %

1 Mischprobe aus den 5 Batches je Parametereinstellung

Ergebnisse - Zentrifugieren

» Relativer Masseverlust m

► Wie beeinflussen Rotationsgeschwindigkeit und Füllmenge den **relativen Masseverlust m** ?

Rotations- geschwindigkeit	1.500 U/min	3.500 U/min	1.500 U/min	3.500 U/min
Füllmenge	350 g	350 g	550 g	550 g
m [M.-%]	27,5	42,4	35,2	44,8
Standard- abweichung [M.-%]	1,1	1,9	0,4	0,3

Zentrifugieren: Höhere Drehzahlen → höherer relativer Masseverlust

Standardabweichung < 2
Niedrig!

Homogenisieren: Scheint die KSS-Konzentration im Input doch zu vergleichmäßigen!

5 Wiederholungen je Parametereinstellung; m [M.-%] = arithmetisches Mittel

Ergebnisse - Zentrifugieren

» Kombination: Fraktioneller Abscheidegrad n und relativer Masseverlust m

Rotationsgeschwindigkeit
[U/min]

Füllgrad
[g]

Fraktioneller
Abscheidegrad n

Erhöhung



350g: **Erhöhung**
550g: **Erhöhung**

Erhöhung



1500 U/min: **Erhöhung**
3500 U/min: /

Relativer
Masseverlust m

Erhöhung



350g: **Erhöhung**
550g: **Erhöhung**

Erhöhung



1500 U/min: **Erhöhung**
3500 U/min: /

Kombination n & m

Die Rotationsgeschwindigkeit hat den **größeren Einfluss** auf die Effizienz der Entölung.

Schlussfolgerungen

» Schlussfolgerungen aus den Versuchen im Labormaßstab



Projekt GENESIS

✓ Modifikation zur Filterzentrifuge war erfolgreich

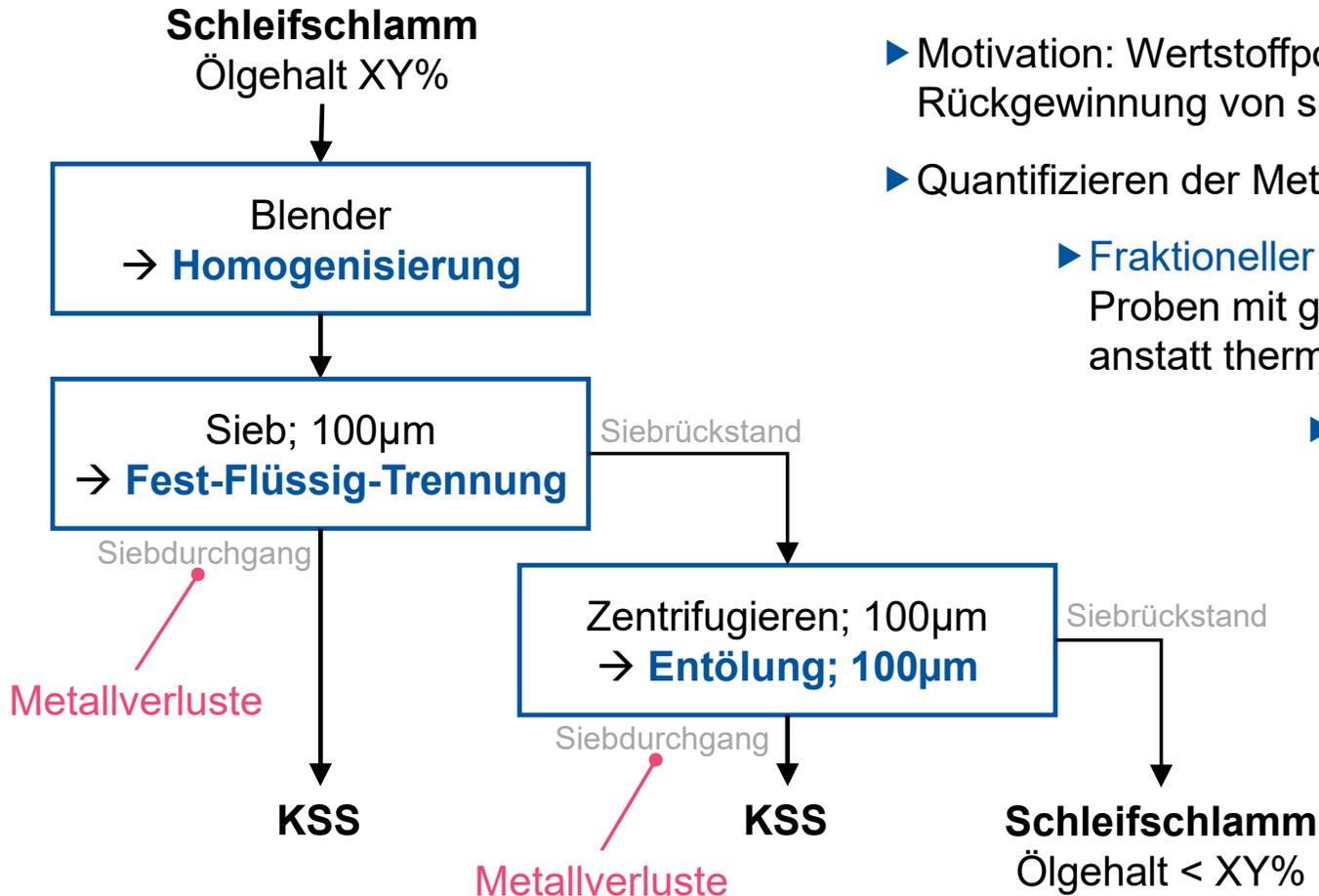
✓ Im Labormaßstab wurden bereits 10 kg sekundäres Pulver für das Recycling über die pulvermetallurgische Route erzeugt

Relevanz für die Industrie

- ▶ Wird lediglich ein Bandfilter verwendet, besteht das Potential, durch den Einsatz einer Zentrifuge...
 - Mehr KSS innerbetrieblich im Kreislauf zu führen
 - Eine metallische Fraktion anzureichern
 - Entsorgungskosten zu reduzieren
- ▶ Up-Scaling:
 - Erhöhung des Durchsatzes + kontinuierlicher Betrieb
 - Schubbodenzentrifuge

Ausblick

» Die nächsten Schritte ...



Dissipative Verluste / Metallverluste

- ▶ Motivation: Wertstoffpotential der Metallphase ausschöpfen + Rückgewinnung von spanfreiem KSS
- ▶ Quantifizieren der Metallverluste in den „Siebdurchgängen“
 - ▶ **Fraktioneller Abscheidegrad n** validieren → mehr Proben mit größerer Probenmenge → Pyrolyse anstatt thermogravimetrischer Analyse
 - ▶ Testen verschiedener Mesh-Weiten in der Zentrifuge: 500µm / 1000 µm und Untersuchung möglicher Einflüsse auf:
 - **Fraktioneller Abscheidegrad n**
 - **Relativer Masseverlust m**
 - Verweilzeit bis zur Gewichtskonstanz
 - Menge dissipativer Verluste





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit. Gibt es Fragen?

Anna-Caroline Assmann, M. Sc.
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Institut für Anthropogene Stoffkreisläufe (ANTS)
RWTH Aachen

Wüllnerstr.2, D-52062 Aachen
Tel.: +49 241 80 – 95717

Mail.: anna.assmann@ants.rwth-aachen.de

Web.: <https://www.ants.rwth-aachen.de/cms/~eeby/jar/?lidz=1>



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



Das GENESIS-Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (**BMWK**) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Projektes „GENESIS-EnerGieeffziENtE Kreislaufwirtschaft kritischer RohStoffe“, Förderkennzeichen 03E15009C“ gefördert.

Forschungspartner:



Industriepartner:



DR. FRITSCH



Anthropogene
Stoffkreisläufe



Quellen

- ▶ Birgit Guschall-Jaik; Beate Kölling; Nadine Zocher (2014): Leitfaden für den umweltgerechten Umgang mit Metallspänen. Dieser Leitfaden ist eine Initiative der Verbände der industriellen Abfallerzeuger, der Transport- und Speditionsunternehmen, der Metallrecyclingbranche und der Verwerter.
- ▶ Bundesamt für Justiz (2001): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung). AVV, vom 2020. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/avv/AVV.pdf>, zuletzt geprüft am 13.05.2024.
- ▶ Erich, E.; Däuber, E.; Schirpenbach, R. (2000): Rückgewinnung von Bearbeitungsölen aus Schleifschlämmen und Anschwemmfilterschlämmen der metallverarbeitenden Industrie. Online verfügbar unter https://www.iuta.de/igf-docs/11902_kurzbericht_schleifschlamm.pdf, zuletzt geprüft am 11.04.2022.
- ▶ Hankel, J.; Jäger, S.; Weber, S. (2020): Development of a recycling strategy for grinding sludge using supersolidus liquid phase sintering. In: Journal of Cleaner Production 263. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121501.
- ▶ Hoffmann, Max (2019): Kompass - Kontinuierliche Öl- und Metallrückgewinnungs-Prozessanlage für Schlämme und Späne. In: r+Impuls. Online verfügbar unter https://r-plus-impuls.de/rplus-wAssets/docs/veroeffentlichungen/r-plus-impuls_Abschlussbroschuere_Vom_Labor_auf_den_Markt.pdf, zuletzt geprüft am 04.11.2024.
- ▶ Jäger, Sebastian; Weber, Sebastian; Röttger, Arne (2021): Potential of the Recycling of Grinding Sludge by various Powder Metallurgical Processes. In: Procedia CIRP 104, S. 893–899. DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.150.
- ▶ Kißler, Hermann (1999): Auftrennung von ölhaltigen Schleifschlämmen durch Vakuumtrocknung. Hg. v. ABAG-itm GmbH. Online verfügbar unter https://gewerbeaufsicht.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/22537/ABAG/1999_003_oelhaltige_Schleifschlaemme.pdf, zuletzt geprüft am 11.04.2022.
- ▶ Klocke, Fritz (2018): Fertigungsverfahren 5. Gießen und Pulvermetallurgie. 5. Auflage 2018. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch).
- ▶ Lamprecht, Klaus Georg (2001): AUFBEREITUNG UND VERWERTUNG ÖLHALTIGER SCHLEIFSCHLÄMME. Diplomarbeit.
- ▶ Liedtke, S. (1999): Schleifschlammentölung und Qualitätskontrolle der zurückgewonnenen Kühlschmierstoffe. Dissertation. Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Braunschweig.
- ▶ Reschke, Carsten; Schubert, Daniel; Biedermann, Holger; Deike, Rüdiger (2019): Verfahren zur Entölung von kühlenschmierstoffbehafteten Metallspänen und -schlämmen. In: Recycling und Rohstoffe (12), S. 581–591, zuletzt geprüft am 09.04.2022.
- ▶ Szombathy, Marc; Kroll, Jürgen (2020): Schleifschlamm-Verwertung: ZF Friedrichshafen gewinnt mit Ruf-Pressen Millionen Liter Öl zurück. In: EU-Recycling 37. Online verfügbar unter https://eu-recycling.com/pdf/EU-Recycling_05-2020.
- ▶ W. Hagedorn; S. Jäger; L. Wiczorek; P. Kronenberg; K. Greiff; S. Weber; A. Roettger (2022): More than recycling – The potential of the circular economy shown by a case study of the metal working industry. In: Journal of Cleaner Production 377. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134439.
- ▶ Bram, M. (Corresponding author)* ; Jäger, S. ; Mishra, T. P.* ; Röttger, A. ; Weber, S. (2021): Field Assisted Sintering Technique/Spark Plasma Sintering (FAST/SPS) as promising method for upcycling of waste materials. In conference proceeding: *Euro PM2021 International Powder Metallurgy Congress & Exhibition, online, online, 18 Oct 2021 - 22 Oct 2021* 5067813.pdf (2021)