

Assoziierte Partner:



# PLATOM – PLASMA-TORCH-METALLURGIE FÜR DIE DEKARBONISIERUNG IN DER KUPFER-PRODUKTION

innerhalb der Forschungsförderung des BMFTR zum Thema:  
Vermeidung von klimarelevanten Prozessemissionen in der Industrie (KlimPro-Industrie II)

Projektlaufzeit: 01.11.2025 – 31.10.2028

Marcel Mallah<sup>1</sup>, A. Charitos<sup>2</sup>, M. Szucki<sup>3</sup>, A. Richter<sup>4</sup>,

A. Klement<sup>1</sup>, P. Schönherr<sup>2</sup>, M. Sajjad<sup>2</sup>, T. Wanner<sup>3</sup>, A. Kessler<sup>3</sup>, E. Schramm<sup>3</sup>, S. Rodmacher<sup>4</sup>, L. Etzold<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Fricke und Mallah Microwave Technology GmbH

<sup>2</sup> Institut für Nichteisenmetallurgie und Reinststoffe (INEMET), TU Bergakademie Freiberg

<sup>3</sup> Gießerei-Institut (GI), TU Bergakademie Freiberg

<sup>4</sup> Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (IEC), TU Bergakademie Freiberg

# Motivation und Einleitung

## Warum Plasmaforschung?

Elektrifizierung von Hochtemperaturprozessen



Einkopplung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen



Neue Möglichkeiten der Prozessgestaltung



## Warum Plasmamodellierung?

Grundlagenverständnis der thermochemischen und elektrochemischen Prozesse



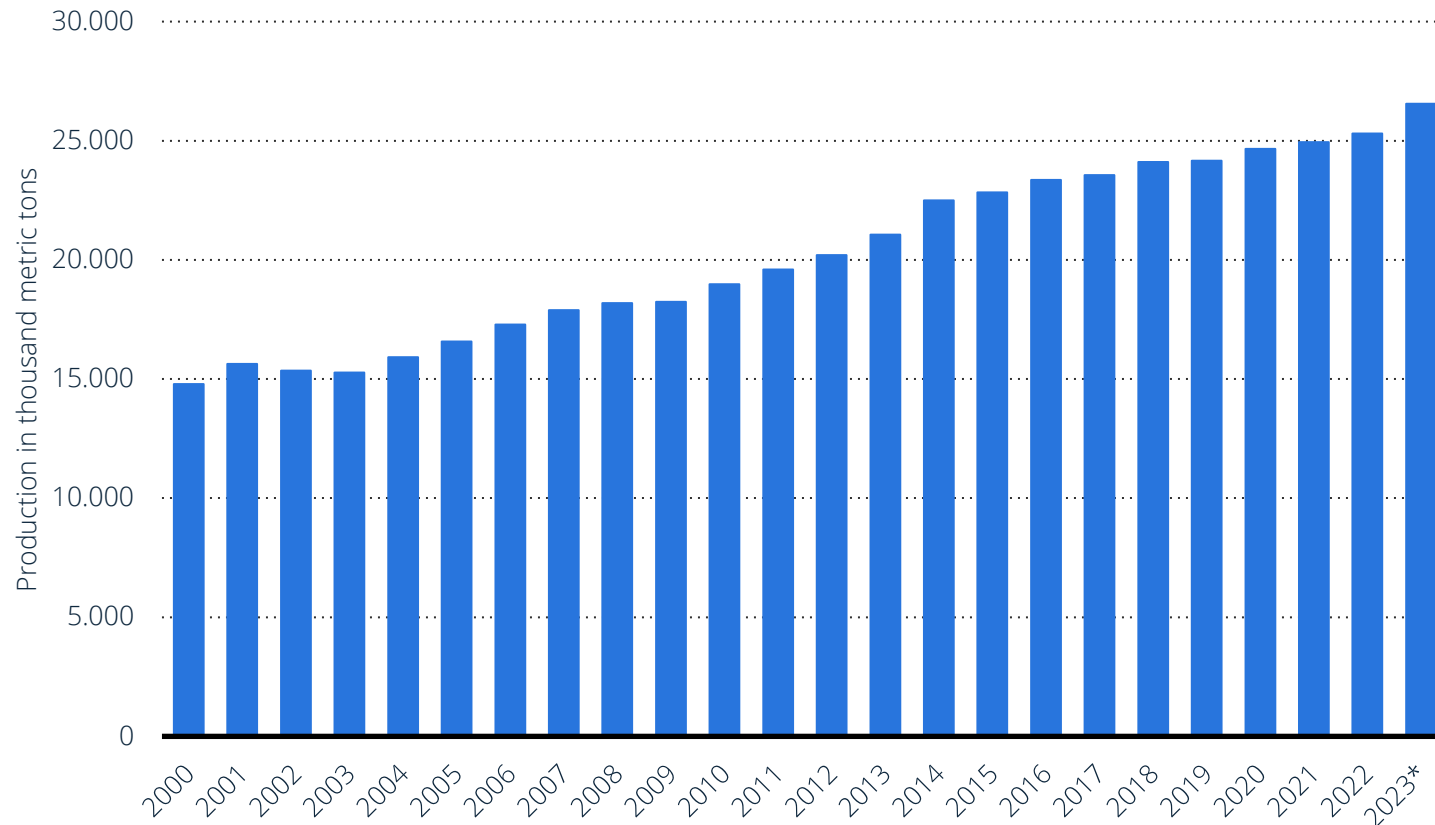
Virtuelle Erforschung neuer Reaktorkonzepte und Konzeptüberprüfung



Skalierung neuer technologischer Ansätze auf Industriemaßstab

# Motivation und Einleitung

## PLATOM-Ziel: Plasmatechnologie zur Dekarbonisierung der Primär- und Sekundärkupferproduktion



- **Globale Kupferproduktion stetig ansteigend<sup>1</sup>**

⇒ Treibende Faktoren:  
Elektromobilität und Energiewende

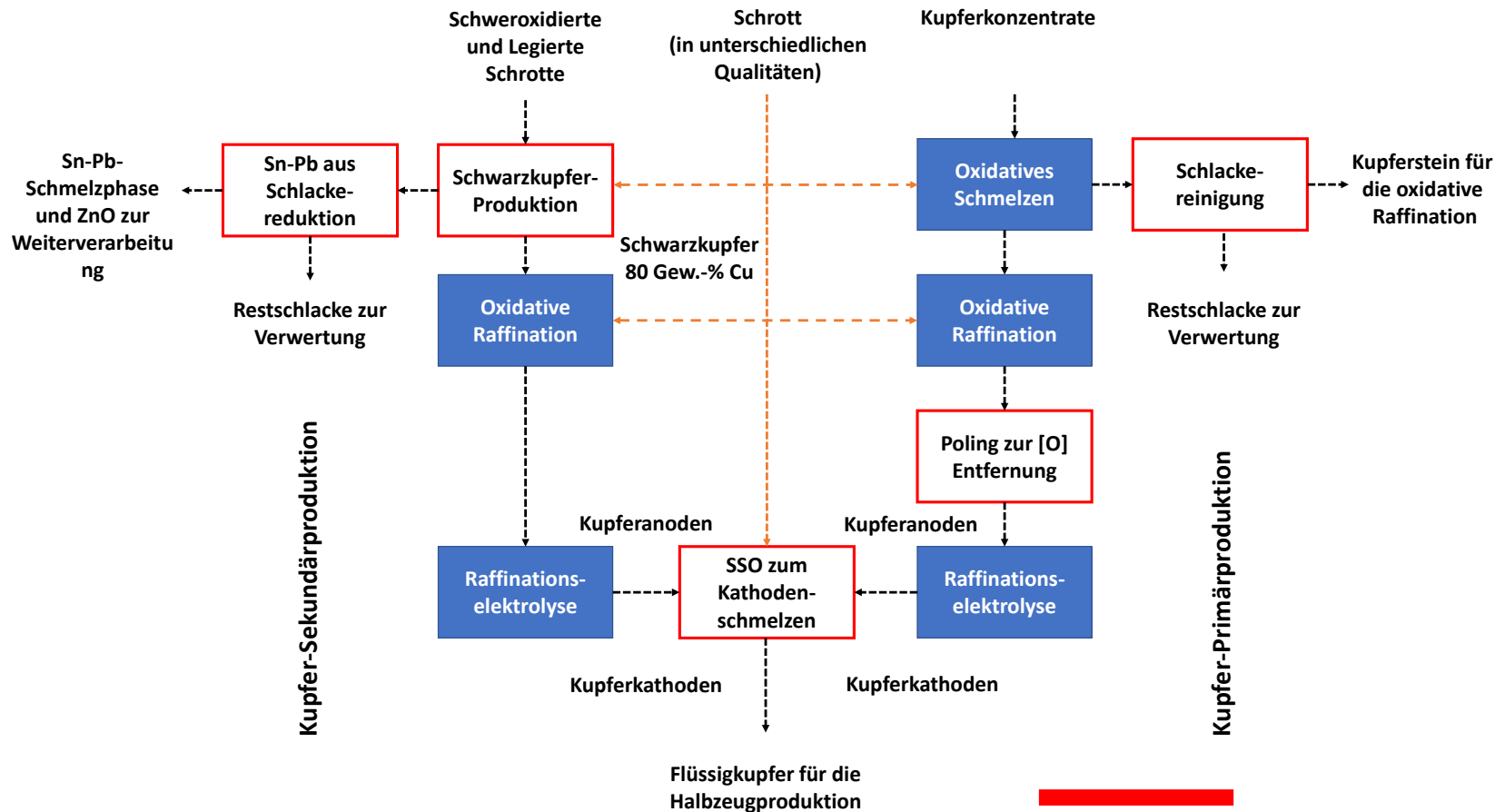
- **Kupferpreis > 11T. €/t**  
(2020: < 6T. €/t)

- **CO<sub>2</sub>-Emissionen** – für  
⇒ Nichteisenmetallurgie in Dtl.:  
2,1 Mt CO<sub>2</sub>-Äquivalente<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: ICSG; [ID 254917](#), <sup>2</sup>: Statista 2024, <sup>3</sup>: PLATOM-Vollantrag

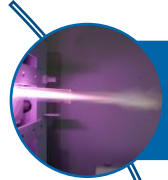
# Motivation und Einleitung

## PLATOM-Ziel: Plasmatechnologie zur Dekarbonisierung der Primär- und Sekundärkupferproduktion



- **Reduktions- und Schmelzprozesse** sind für die CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich.
- **PLATOM-Ansatz:**  
⇒ **Energieeintrag** durch **Plasmainjektionsgas**
- **Reduktionsmittel:** H<sub>2</sub> über die **Plasmafackel** (Reduktionspotenzial ↑ durch atomarem H)
- **Kopplung von Plasmafackel-Öfen**  
Fackelleistung max.: 120 kW (bei 15–150 kg Badschmelzanlagen)

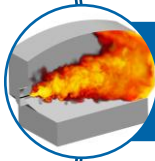
# PLATOM Arbeitspakete



AP1 – Dekarbonisierung der metallurgischen Raffination (AP-Leitung: Fricke und Mallah, INEMET)



AP2 – Dekarbonisierung von Kupferschmelzen im Schachtschmelzofen (AP-Leitung: GI)



AP3 – Thermochemische Modellierung und Strömungsberechnung der Reduktionsprozesse und des Kupferschmelz-Schachtschmelzofens (AP-Leitung: IEC)



AP4 – Fließbildmodellierung, Ökobilanz (LCA) und Exergieanalyse (AP-Leitung: INEMET)

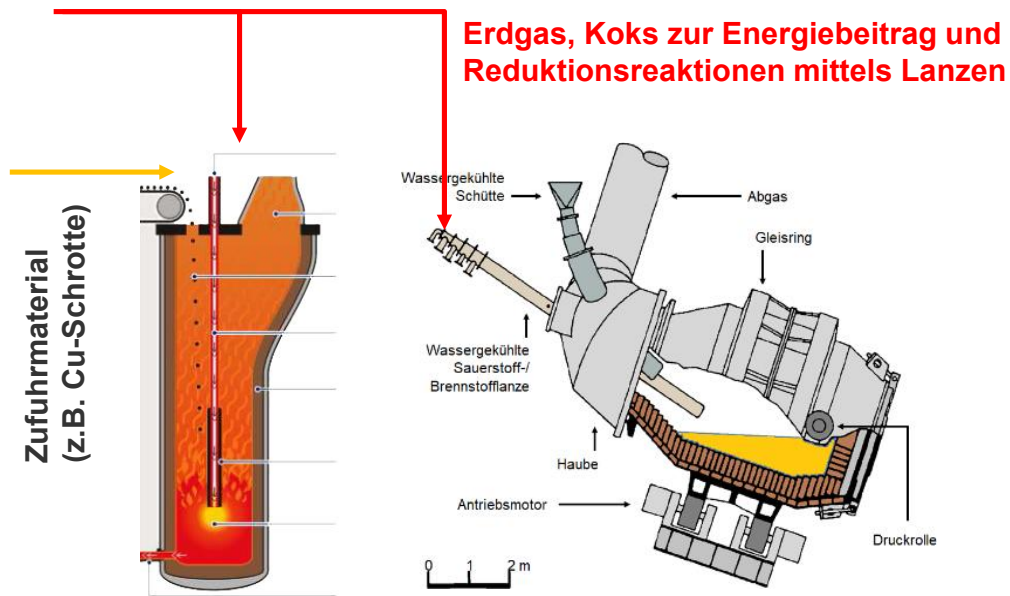


AP5 – Scale-up-Integration bei der Cu-Produktion (AP-Leitung: Fricke & Mallah)

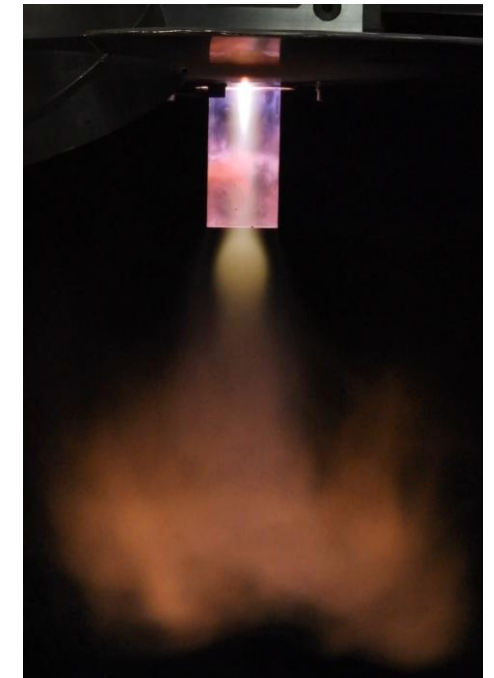
# AP1: Dekarbonisierung der metallurgischen Raffination (Fricke & Mallah, INEMET)

## Ausgangsbasis

- Betrieb von fossilgefeuerten Badschmelzöfen am INEMET (15 bis > 150 kg Schmelzphasen)
- Plasmafackeltechnologie mit  $H_2$   
 $H_2/N_2$ : 60%/40%, Leistung: 10 kW



> 150 kg Schmelzphasen an der INEMET-Badschmelzanlage



# AP1: Dekarbonisierung der metallurgischen Raffination (Fricke & Mallah, INEMET)

## Ziele

### Anlagentechnische Ziele

**AP1.1:** 120 kW-Plasmafackel entwickeln (Fricke & Mallah)

**AP1.1:** Plasmafackelkopplung mit 15 kg- bzw. >150 kg-Badschmelzanlage

### Prozessziele

**AP1.2–AP1.4:** H<sub>2</sub>-Plasmafackelgestützte Durchführung von Cu-Raffinationsprozessen

⇒ Recycling:

**AP1.2:** Cu-Schrott → Schwarzkupfer (Zwischenprodukt)

**AP1.3:** SnO-Schlacke (Zwischenprodukt) → Sn-Legierung

⇒ Primärmetallurgie:

**AP1.4:** Fayalitische Schlacke (Endprodukt) → Cu-Fe-Legierung (Cu-Industrie), Roheisen (Stahl-Industrie), Sekundärschlacke für Zement- oder Glasfaserproduktion

# AP2: Dekarbonisierung von Kupferschmelzen im Schachtschmelzofen (GI)

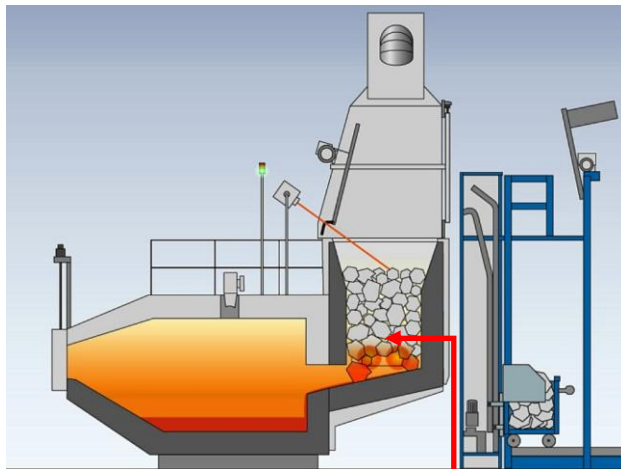
## Ausgangsbasis

Kupferkathoden nach der Elektrolyse →  
Einschmelzen im Schachtschmelzofen (SSO)

Cu-Kathodenplatten bereits von GI mit einer 6 kW-  
Mikrowellen-Plasmafackel eingeschmolzen:



Skalierter Stapel Cu  
Kathodenplatten



**Erdgas, Energiebeitrag und  
Reduktionsreaktionen mittels Brenner**



## AP2 Ziele:

**AP2.1:** Konstruktion von Prüfstand auf  
Basis kalorimetrischer Systeme

⇒ Bestimmung von Wärmestrom,  
Leistung, Wirkungsgrad sowie  
optimalem Betriebspunkt des  
Plasmapbrenners.

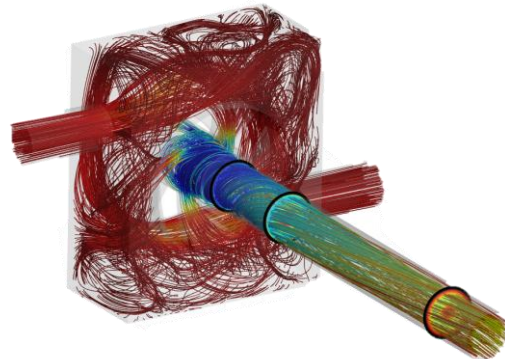
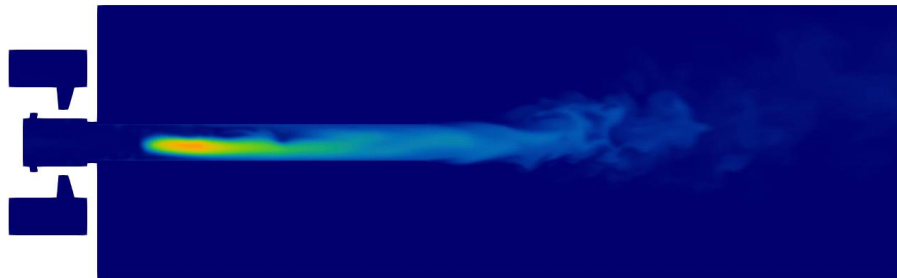
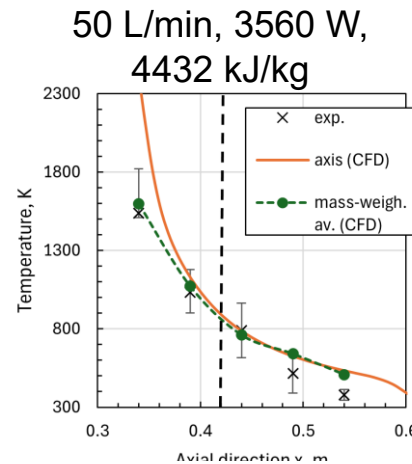
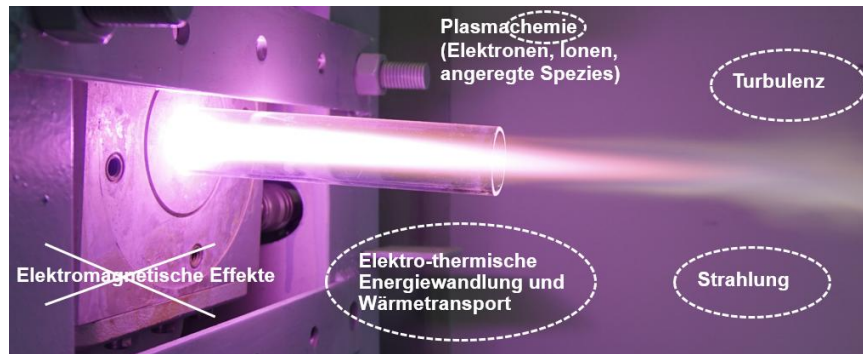
**AP2.2–2.3:** Bau von Plasmapfackel SSO  
(<30 kW)

⇒ inkl. Integration von drei Brennern,  
Optimierung der Ofengeometrie &  
Materialien sowie  
Prozessdatenerfassung

# AP3: Thermochemische Modellierung und Strömungsberechnung der Reduktionsprozesse und des Kupferschmelz-Schachtschmelzofens (IEC)

## Ausgangsbasis

Erste validierte Modelle für Mikrowellen-Luft-Plasmafackel liefert Einblicke in die thermochemischen Prozesse in und um die Fackel



## Ziele

**AP3.1:** Entwicklung eines H<sub>2</sub>-Plasmafackelmodells zur Analyse von Strömung, Reaktionen und Eindringtiefe atomarer Bestandteile (z.B. H) (IEC)

**AP3.2:** Analyse von Plasmafackel-Schmelze-Interaktionen für Reduktionsprozesse (IEC)

**AP3.3:** Erweiterung des Plasmafackelmodells zu einem SSO-Modell zur Simulation von Schmelzprozess (IEC)

**AP3.4:** Thermochemische Prozesssimulation (INEMET)

# AP4: Fließbildmodellierung, Ökobilanz (LCA) und Exergieanalyse (INEMET)

## AP5: Scale-up-Integration bei der Cu-Produktion (Fricke & Mallah)

### AP4 Ziele

**AP4.1:** Fließbildmodellierung und simulationsbasierte Ökobilanz, Vergleich von Energie- und Ressourcenbedarf konventioneller Prozesse mit PLATOM inkl. CO<sub>2</sub>-Bilanz

**AP4.2:** Exergieanalyse, Identifikation Irreversibilitäten zur Aufdeckung von Optimierungspotenzialen

### AP5 Ziele

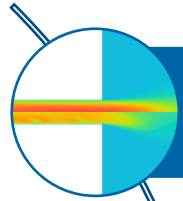
**AP5.1 (Scale-Up):** Definition von Anordnung, Anzahl und Leistung der Plasmafackeln zur Deckung des Energiebedarfs und Einstellung einer geeigneten Atmosphäre

**AP5.2 (Integration in Kupferhütten und Gießereien):** Technoökonomische Analyse zur Bewertung des Umstiegsszenarios und Entwicklung von Integrationsstrategien für PLATOM

**AP5.3 (Weitere Anwendungen):** Erstellung eines Prozesskatalogs potenzieller PLATOM-Anwendungen (Stahl, Blei, Zink, Nickel, Ferronickel)



# PLATOM – Zusammenfassung



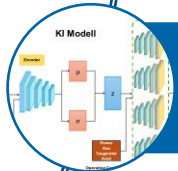
H<sub>2</sub>-Plasmafackeln werden als Dekarbonisierungsmedium der Kupfermetallurgie betrachtet, systematisch untersucht, modelliert und hochskaliert.



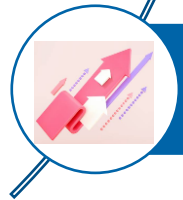
Mikrowellen-Plasmafackel mit >95 % el. Wirkungsgrad, kein Elektrodenabbruch, skalierbar bis 1 MW wird bis 120 kW hochskaliert.



Hochskalierung von Raffinationsprozessen und Cu-Kathoden im Schachtschmelzofen: 120 kW-Plasmafackel im Badschmelzofen, Mini-Schachtschmelzofen in Betrieb.



Die detaillierte strömungsmechanische und thermochemische Prozessmodellierung plus die Exergie- und technoökonomische Analyse diente als Basis für Scale-Up und Übertragung.



Potenzial: CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung und Effizienzsteigerung, Scale-Up, zukünftige Technologieimplementierung, wissenschaftliche Publikationen und Patente.

# Vielen Dank!

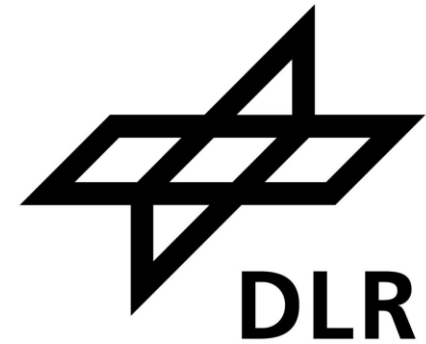
Gefördert durch:



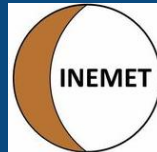
Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt



Finanziert von der  
Europäischen Union  
NextGenerationEU



**TUBAF**  
Die Ressourcenuniversität.  
Seit 1765.



INSTITUT FÜR  
ENERGIEVERFAHRENSTECHNIK UND  
CHEMIEINGENIEURWESEN