



The complete thermochemical
recycling of sewage sludge

Stand der Arbeiten im EU-Projekt FlashPhos

Matthias Rapf, Eva Gerold, Dietmar Zobel, Willem Schipper, Alexander Maurer, Andrea Kotze,
Sander Arnout, Lukas Pohl

Recy&DepoTech 2024, Leoben, 13. bis 15. November 2024

14.11.2024



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020
research and innovation programme under grant agreement No 958267.

© 2021-2025 FlashPhos Consortium Partners



Universität Stuttgart

DAS PROJEKT

- **Grant agreement ID:** 958267
- **Topic:** CE-SC5-07-2020 - Raw materials innovation for the circular economy: sustainable processing, reuse, recycling and recovery schemes
- **Timing:** 05/2021-04/2026 (60 months)
- **Project Budget:** € 15 226 965,71
- **EU contribution:** € 11 897 102,28
- **Coordinator:** University of Stuttgart



ZIELSETZUNG

Das Projekt FlashPhos demonstriert im großen Maßstab ein thermochemisches Verfahren, um aus **Klärschlamm**

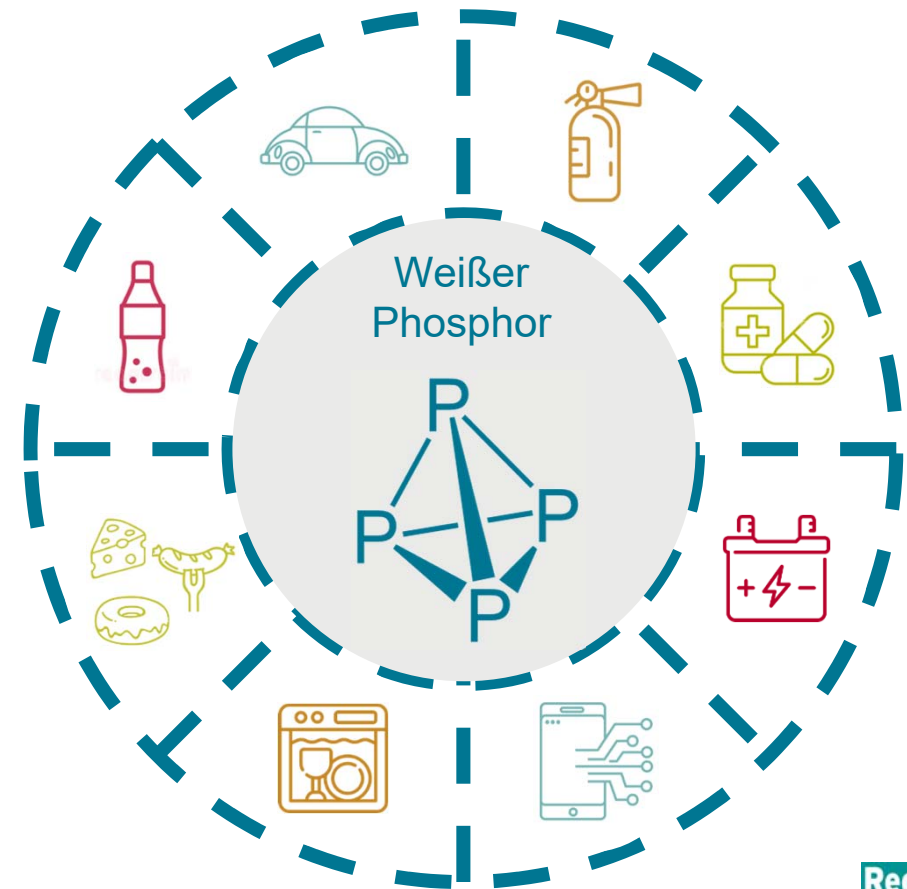
- hochreinen **weißen Phosphor** (P_4),
- klimafreundlichen **Schlackenzement**,
- eine **Eisenlegierung**
- und ein **Metallkonzentrat**



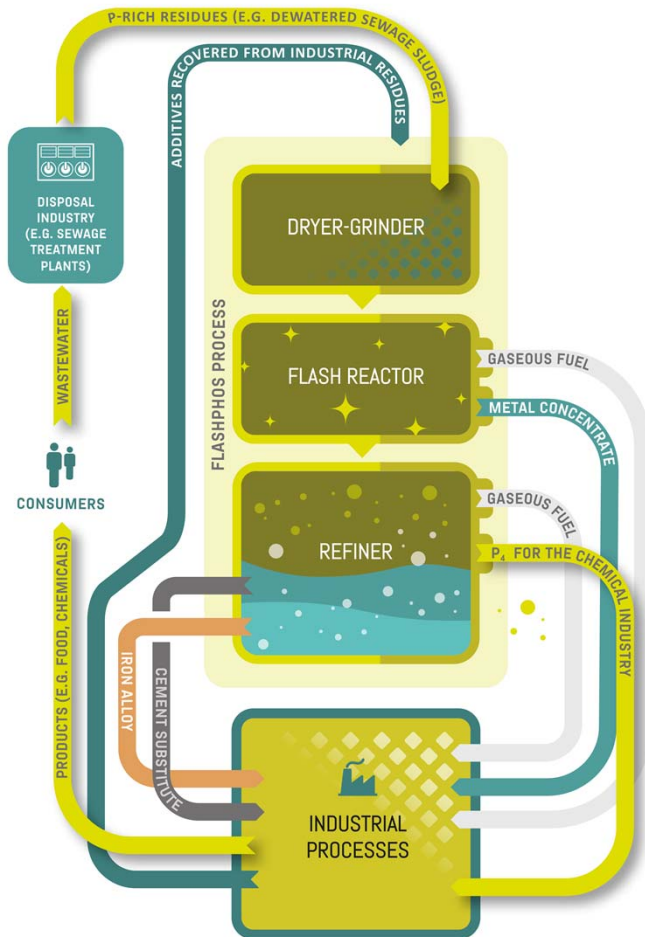
zu gewinnen und dadurch der EU ein wirtschaftliches, umweltfreundliches und sozialverträgliches **Kreislaufkonzept** von **problematischen Abfällen** zu **wertvollen Produkten** bereitzustellen.

WARUM WEISSER PHOSPHOR?

- Aus P_4 werden **thermische Phosphorsäure** (H_3PO_4), **Phosphorchloride, -sulfide** und andere P-Derivate für die **chemische Industrie** hergestellt.
- Weißer Phosphor ist somit ein **kritischer Rohstoff** z. B. für Nahrungsmittel, Elektronik, E-Mobilität, Gebäudebrandschutz und diverse Metallwaren.



FLASHPHOS: KREISLAUF UND TECHNISCHES KONZEPT



INPUT

- Entwässerter Klärschlamm
- Industrieabfälle als Additive
- Prozesswärme
- (Wenig) elektrische Energie

OUTPUT

- **Weißer Phosphor**
- **Klimafreundlicher Zementersatzstoff**
- **Eisenlegierung**
- **Metallhaltige Stäube**
- Brennbares Gas
- Prozesswärme



EISEN IM KLÄRSCHLAMM

- Eisensalze im Klärprozess
 - Phosphorfällung
 - Schlammkonditionierung (Flockung)
 - Bindung von Sulfiden im Faulturn
- Fe-Konzentrationen in Schlamm-Mineralik bis über 10%
- Fe/P-Verhältnis oft >1
- Bei Einsatz alternativer Verfahren weniger

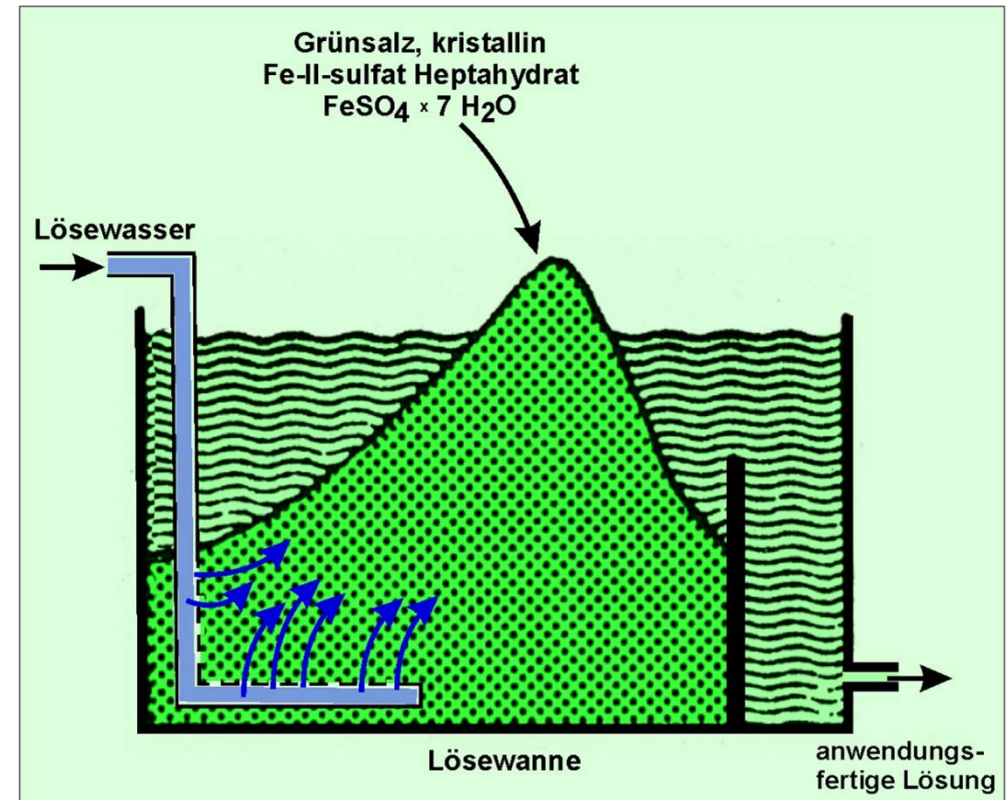
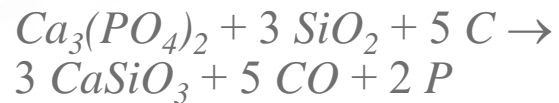


Abbildung: Thomanetz

EISEN IN DER P-INDUSTRIE

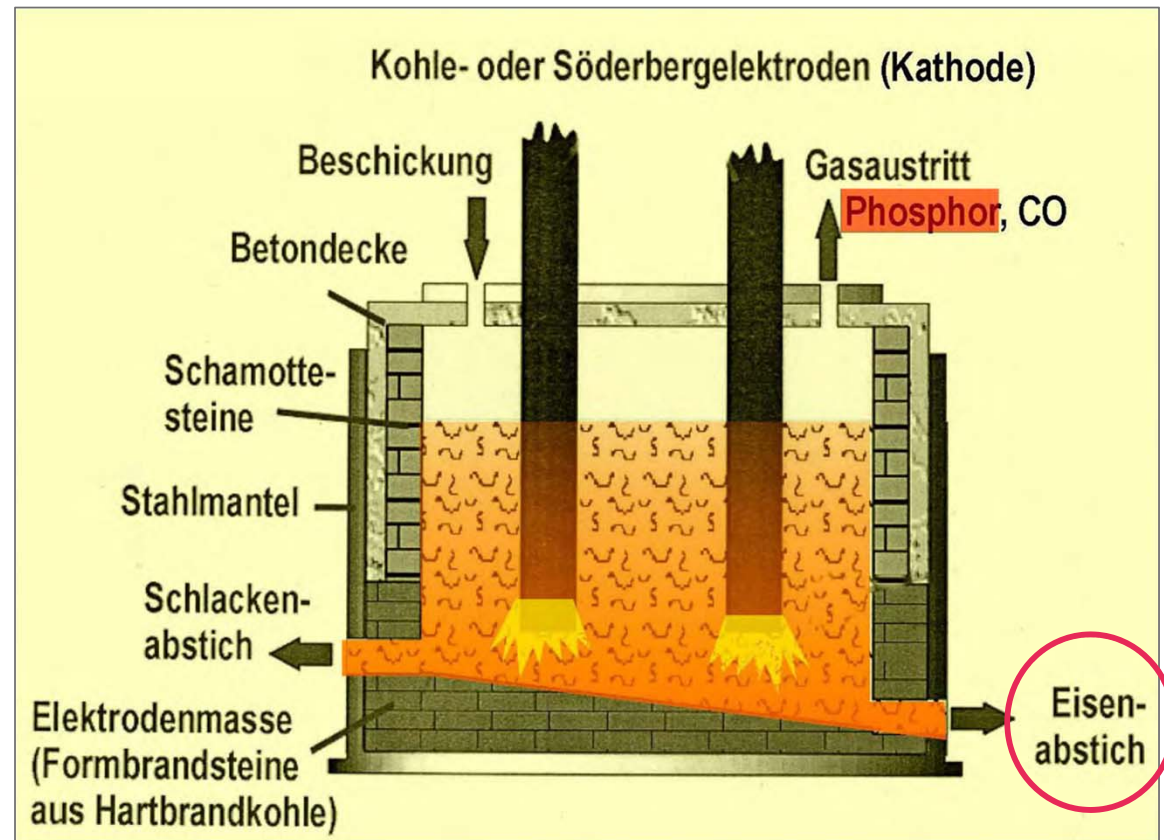
Woehler-Prozess:



- Rohphosphat <1% Fe
- Reduktion bei P₄-Erzeugung unspezifisch
 - → Fe (und andere Metalle) werden auch reduziert
- P (g) löst sich in Fe (s)
 - → Legierung „Ferrophos“ Fe_xP (20 bis 28% P)

Skizze eines Elektroofens zur Herstellung von weißem Phosphor

(Abbildung: Thomanetz)



FERROPHOS VERWENDUNG

- Hauptkonsument:
Stahlindustrie für Spezialstähle
 - Verschlackungsmittel
 - Einstellung von Härte und magnetischen Eigenschaften
 - Flussmittel
- Fe-P-Legierung meist nahe an Sättigung
- Marktgängige P-Gehalte 20 bis 28%
- Schwermetalle und Silizium beeinträchtigen Verwendbarkeit
- In Legierung Si in Konkurrenz zu P (je mehr Si desto weniger P)

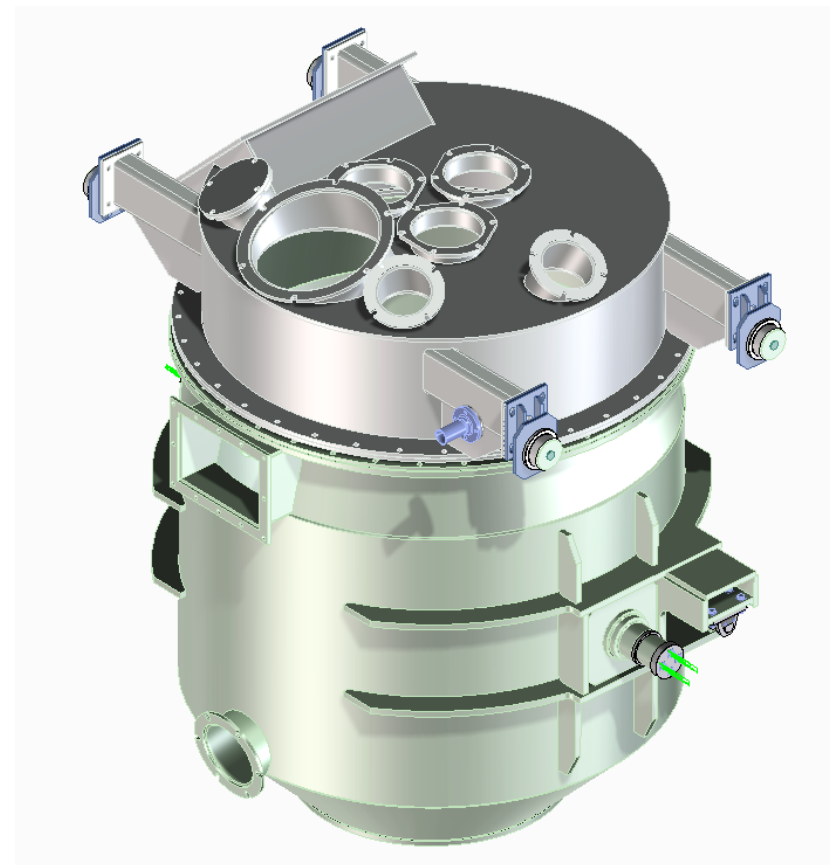


Picture: Alcornbiz.com



FERROPHOS IN FLASHPHOS

- P-Konzentration in **Ferrophos** abhängig von
 - Fe-P-Verhältnis im Schlamm
 - Schlackenchemie
 - Grad der Reduktion
- **P-Konzentrationen >25%** und <<20% möglich, Si-Gehalt gegenläufig
- Konkurrenz zwischen P_4 -Ausbeute und Marktfähigkeit von Fe_xP
- Schwankungen im Schwermetallgehalt (v. a. Co, Cr, Cu, Mo, Ni und V)
- **Einsatz in Stahlindustrie denkbar**
- High-Tech-Anwendungen schwierig
- Neue Entwicklung von MITechnology: Fe_xP zu P_2O_5 und Brownmillerit



Picture: Rumpier, Ialmatch

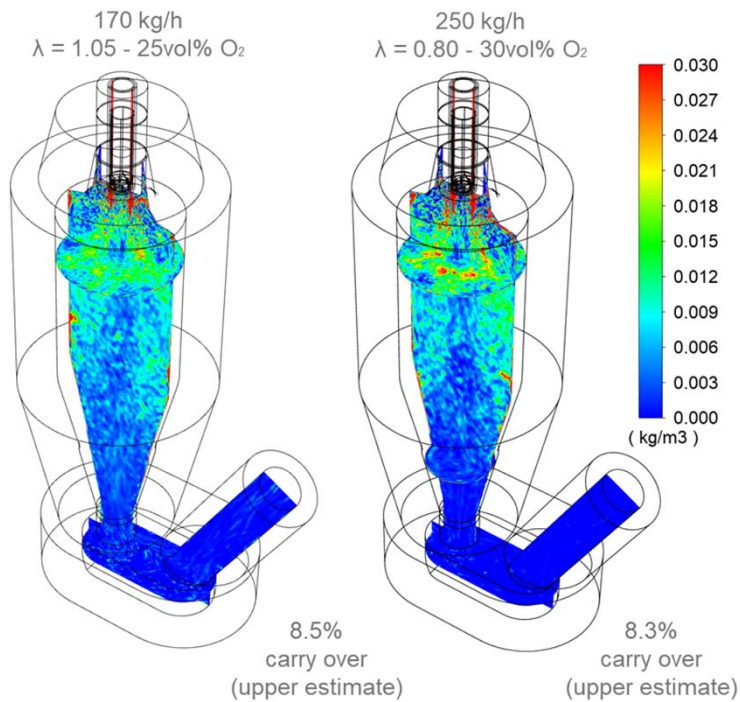
- Klärschlamm-Mineralik:
 - Zn bis 2500 mg/kg
 - Cu bis 1000 mg/kg
 - Pb bis 100 mg/kg
 - Cr bis 100 mg/kg
 - Ni bis 70 mg/kg
 - Cd, Hg, Sb, Sr, jeweils wenige mg/kg oder weniger

! Schwermetall-Entfernung in FlashPhos:

- **Reinheit des P₄**
- **Metall-Rückgewinnung**



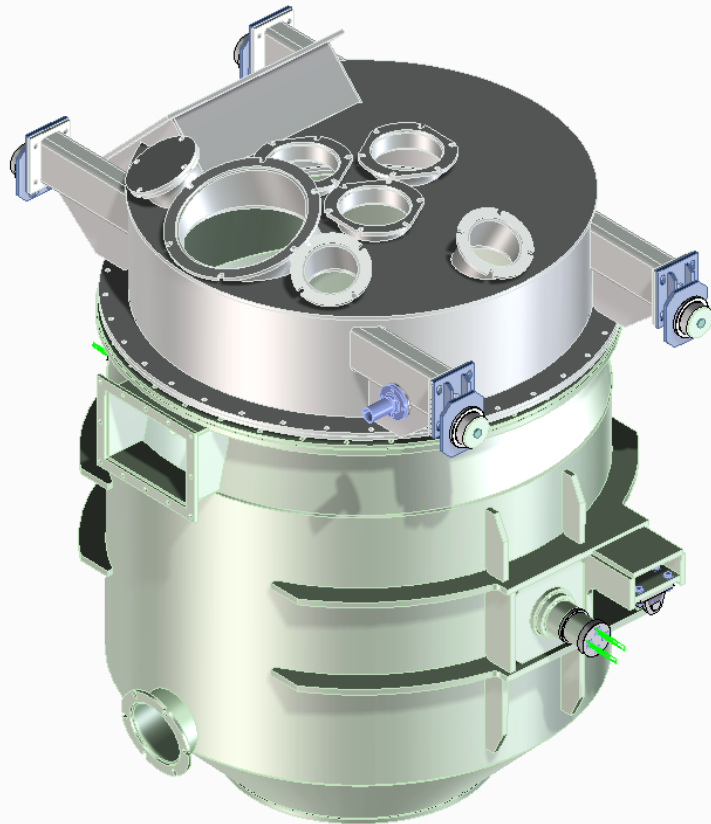
Foto: Nicolas Amer/dpa



Calculated particle concentrations for the combustion case (left) and gasification case (right)

- **Flash-Reaktor:** leicht reduzierende oder leicht oxidierende Bedingungen
- Simulationen und Vorversuche:
 - Volatilisierung v. a. von **Hg, Sb und Sr**
 - Teile von **Pb und Cd**
 - Staub-Austrag aus Reaktor
 - **Einfluss volatilisierter SM gering**
 - **Rückführung in den Prozess denkbar**
 - Eventuelle Akkumulationen berücksichtigen!

CFD pictures: Ortner et al., TU Graz



- **Refiner:** stark reduzierende Bedingungen
- Simulationen, Vorversuche, Literatur:
 - Wenig Staubaustrag
 - Volatilisierte Substanzen in Gasphase:
 - Reduzierte Metalle: **Zn**, Pb, Cd, As
 - Sekundäre Reaktionsprodukte:
SiO₂, Ruß, **P-Oxide**, CaO, Alkalioxide
- **Zn bis 25% für Rückgewinnung interessant**
- Tatsächliche Zusammensetzung unsicher
- Pilotversuche abzuwarten

STÄUBE IN DER METALLINDUSTRIE

- **Verzinkte Stähle** als Sekundärrohstoffe
- Zink verdampft beim Schmelzen und wird im Abgas oxidiert
- Stahlwerksstäube v. a. FeO mit **bis 30% ZnO**
- Zn-Rückgewinnung überwiegend durch **Wälzverfahren**:
 - Reduktion des Zn mit Kohlenstoff im Drehrohrofen, Oxidation, Filtration
→ ZnO ~ 60% → Hydrometallurgie
 - Blei und andere Schwermetalle mobilisierbar; über Hydrometallurgie zu entfernen
 - **Prozess-kritische Metalle Hg, Cd, Sb** (kaum im Klärschlamm)
- Neuere Entwicklungen:
 - RecoDust (**MITechnology**, MU Leoben, K1-MET GmbH)
 - 2SDR – 2-step direct reduction (**ARP**, Primetals)

Picture: Deha Tech



STÄUBE IN DER METALLINDUSTRIE



Picture: Delha Tech



ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

- **Metallabscheidung über Gas** aus Flash und Refiner
- Metallkonzentration in **Flash**-Staub gering (Carry-Over)
 - Eher keine Metall-Rückgewinnung vom Flash-Staub
 - **Verwertbarkeit im Flash-Input zu prüfen**
- Zink-Abscheidung v. a. im **Refiner**
 - **Recyclingwürdige Zn-Konzentration** erwartet
 - Nebenbestandteile teilweise im Recycling unbekannt
 - Genauere Daten erforderlich

- **Ferrophos** aus Refiner
 - P-Gehalt abhängig von Schlamm und Fahrweise
 - Schwermetallgehalte schwanken
 - **Grundsätzlich Einsatz in Stahlindustrie denkbar**



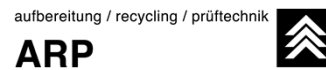
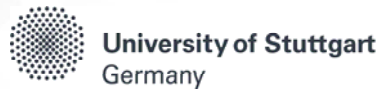
AUSBLICK



- Daten aus Versuchen mit Pilotanlagen
- Gezielte Verwertungsversuche für Stäube und Legierung
- Ressourcenmanagement für Optimum zwischen P-Ausbeute und -qualität sowie Vermarktbarkeit der Nebenprodukte
- Suche nach alternativen Verwertungswegen



FLASHPHOS CONSORTIUM



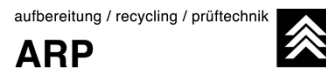
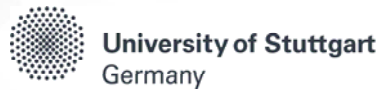
MITechnology of Austria



phosphorus chemistry, phosphorus production engineering, phosphorus economy, cement technology, cement production, recycling technology, alternative fuel engineering, drying technology, metallurgy, slag chemistry, refractory engineering, thermal process engineering, process modelling and simulation, plant modelling and simulation, safety engineering, industrial plant engineering, thermal plant construction, gas treatment, slag treatment, slag valorisation, performance of laboratory and pilot scale experiments, chemical analytics, industrial economy, circular economy, waste and resources management, material flow analysis, geoinformation systems, environmental and socio-economic impact assessment, ...



FLASHPHOS CONSORTIUM



MITechnology of Austria



Ein großer Dank gilt Frau Dr. Eva Gerold vom Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie der Montanuniversität Leoben für ihren wertvollen Input, besonders aber für ihre Funktion als Katalysator für diese Arbeit.



ENTER THE FLASHPHOS WORLD



flashphos-project.eu
Latest info via blog,
project deliverables



Newsletter
Subscription
on website



LinkedIn
EU-Project-
FlashPhos



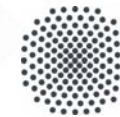
X (Twitter)
@FlashPhos



FLASHPHOS



The complete thermochemical recycling of sewage sludge



Universität Stuttgart



Matthias Rapf

Universität Stuttgart



matthias.rapf@iswa.uni-stuttgart.de



+49 173 567 1548



www.flashphos-project.eu



EU Project FlashPhos



@FlashPhos

© 2021-2025 FlashPhos Consortium Partners. All rights reserved. FlashPhos is a HORIZON 2020 project supported by the European Commission under grant agreement No 958267. All information in this presentation may not be copied or duplicated in whole or part by any means without express prior agreement in writing by the FlashPhos partners. All contents are reserved by default and may not be disclosed to third parties without the written consent of the FlashPhos partners, except as mandated by the Grant Agreement with the European Commission, for reviewing and dissemination purposes. All trademarks and other rights on third party products mentioned in this document are acknowledged and owned by the respective holders. The FlashPhos consortium does not guarantee that any information contained herein is error-free, or up-to-date, nor makes warranties, express, implied, or statutory, by publishing this document. This document reflects only the author's view and the European Health and Digital Executive Agency (HaDEA) and the European Commission are not responsible for any use that may be made of the information it contains. For more information on the project, its partners and contributors, please see the FlashPhos website (www.flashphos-project.eu).

