

---

# Eine saubere Sache - der nachhaltige Phosphorkreislauf

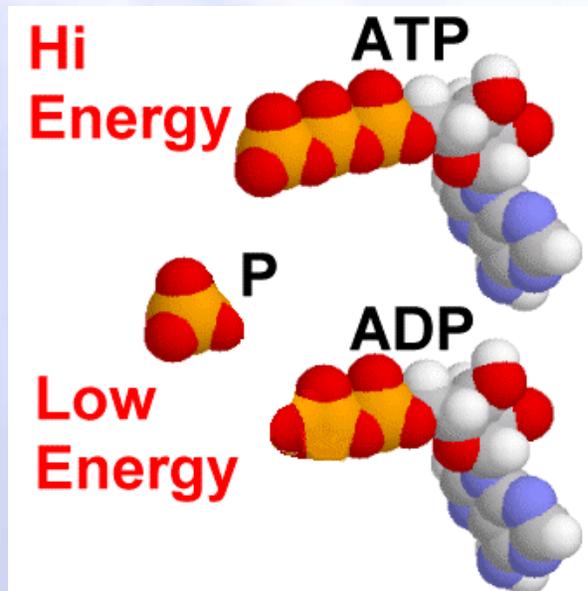
---

Christian Adam, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

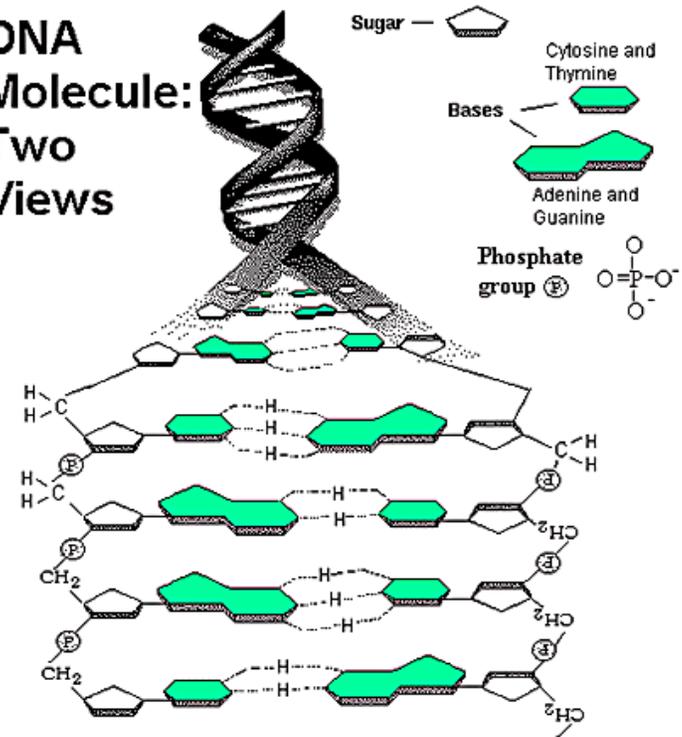
1. Phosphor - Ein wichtiges Element
2. Phosphorbilanz in der Landwirtschaft (BRD)
3. Endlichkeit der Phosphorressourcen
4. Potential P-Recycling in Deutschland
5. Unser Konzept für die Klärschlammaufbereitung
6. Das EU-Projekt SUSAN
  - i. Ziele
  - ii. Arbeitspakete
  - iii. Das Konsortium
  - iv. Erste Ergebnisse
7. Zusammenfassung / Ausblick

- Phosphor ist essentiell für alle Formen des Lebens und ist nicht substituierbar !
- Der menschliche Körper besteht zu etwa 3 % P/TS aus Phosphor.
- Phosphorverbindungen übernehmen in Lebewesen wichtige Funktionen (siehe Abb.).

⇒ **Die wichtigen Funktionen des Phosphors bedingen den verantwortungsvollen Umgang mit dieser endlichen Ressource !**



## DNA Molecule: Two Views



Phosphatgruppen sind essentieller Bestandteil der DNA

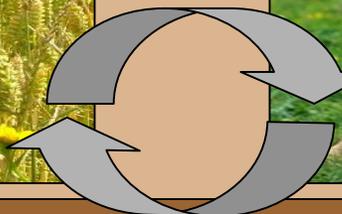
Phosphatgruppen nehmen eine Schlüsselfunktion beim Energiestoffwechsel ein (AMP, ADP, ATP)

Externe Zufuhr (Netto-Input) = **280.859 t P**

Mineralische Pflanzendünger, Sekundärrohstoffdünger  
Mineralfuttermittel, Futtermittel aus Importen

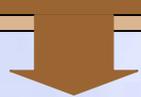


## Bilanzraum Landwirtschaft



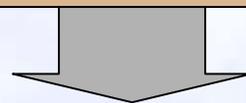
Überschuss (gesamt) = **127.371 t P**

P-Anreicherung im Boden



Verluste

- Erosion
- Tierische Abfälle
- .....



Externe Verwertung

(Netto-Output) = **153.489 t P**

Pflanzliche und tierische Marktprodukte



- Auf dem heutigen Produktionsniveau reichen die abbauwürdigen Reserven für ca. 80-90 Jahre.
- Die Vorräte liegen vor allem in Marokko, Südafrika und den USA und reichen für ca. 250 Jahre.
- Rohphosphate sind häufig mit Cadmium und Uran belastet.
- Die Gewinnung des Rohphosphats geht oftmals mit erheblicher Umweltzerstörung/Flächenverbrauch einher (Beispiel: Insel Nauru im Südpazifik).



Folgen des intensiven Abbaus von Guano auf der Insel Nauru

Quelle: <http://micronesia.freeservers.com/nauru.htm>

## Bedarf der Landwirtschaft

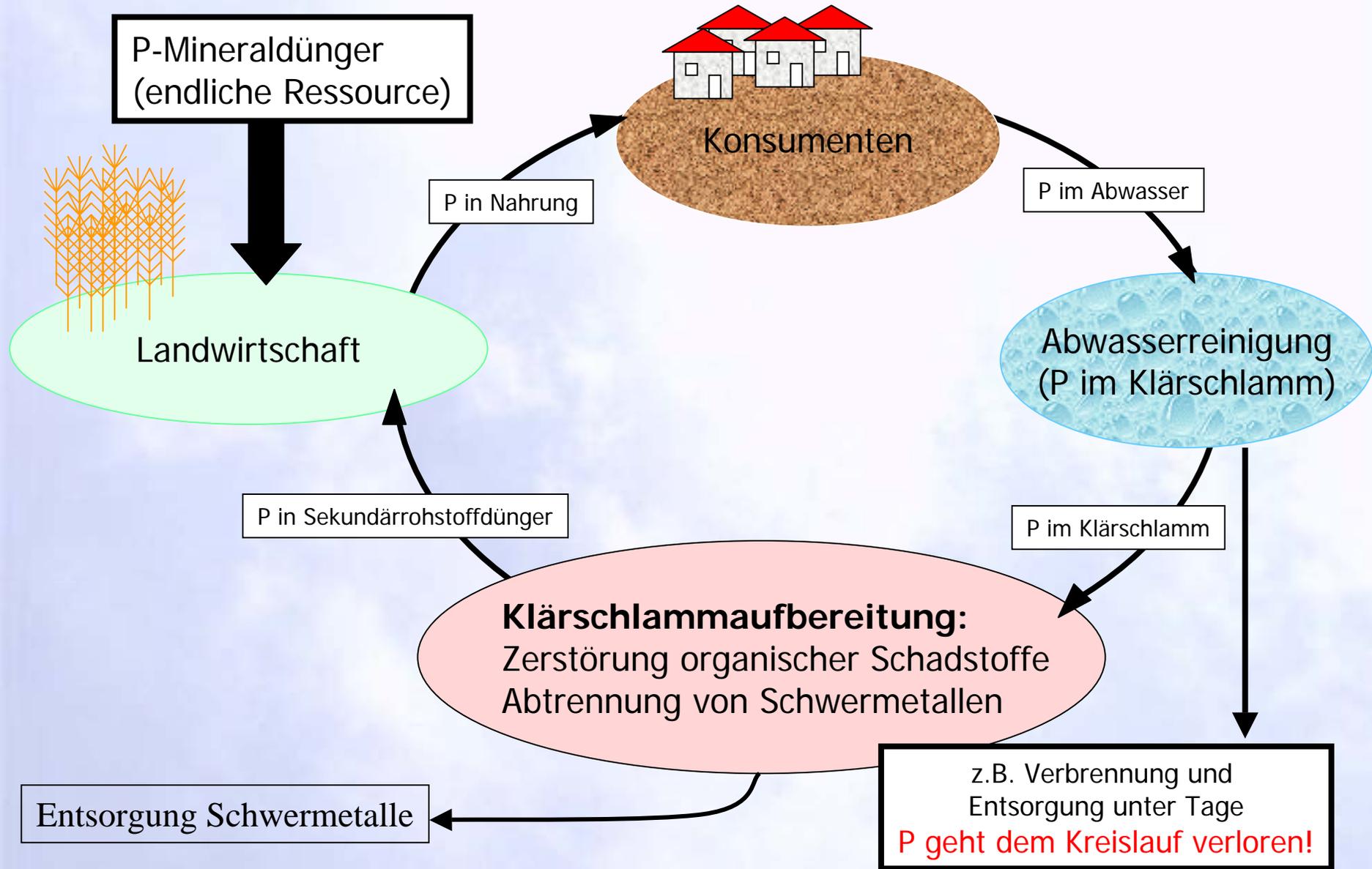
Externe Verwertung (Netto-Output): **153.489 t P/a**  
 Pflanzliche und tierische Marktprodukte

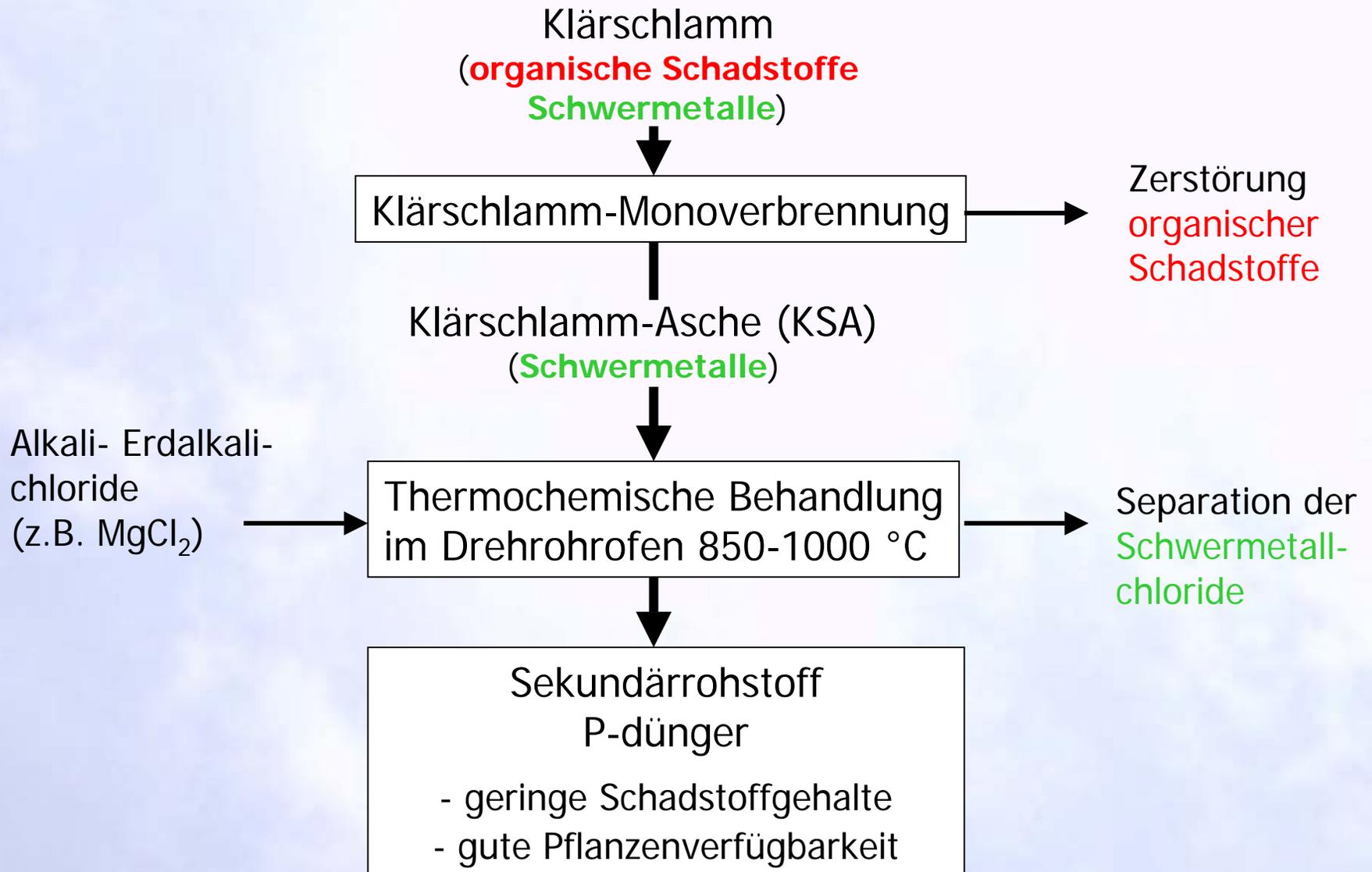
## Abfallmengen und deren Phosphorpotential (nach Fricke 2003):

• Klärschlamm	2,7 Mio. t TS/a	56.700 t P/a
• Fleischknochenmehl	0,2 Mio. t TS/a	17.786 t P/a
• Bioabfall	3,5 Mio. t TS/a	15.261 t P/a
• Papier/Pappe	13,5 Mio. t TS/a	13.500 t P/a
• Tiermehl	0,4 Mio. t TS/a	12.491 t P/a
• Schlachthofabfälle	1,4 Mio. t TS/a	5.460 t P/a
• Andere...		7.499 t P/a
Summe P aus Abfallstoffen in Deutschland:		<b>128.697 t P/a</b>

- ⇒ Es steht ein Potential zur Verfügung, welches genutzt werden sollte !
- ⇒ Die Aufbereitung dieser Ressourcen ist jedoch notwendig !

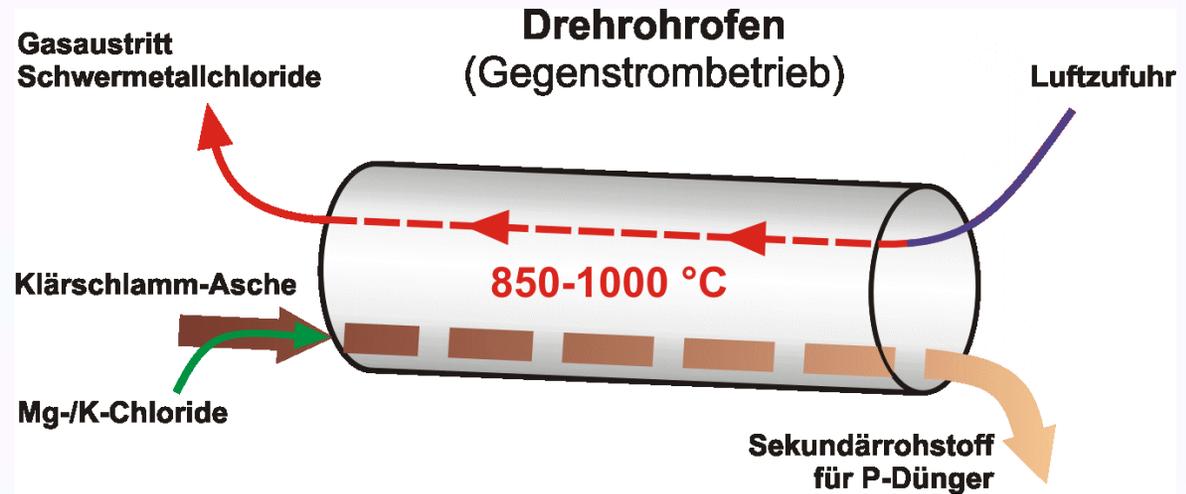
# Vereinfachter Phosphorkreislauf für Klärschlamm als P-haltiger Sekundärrohstoff



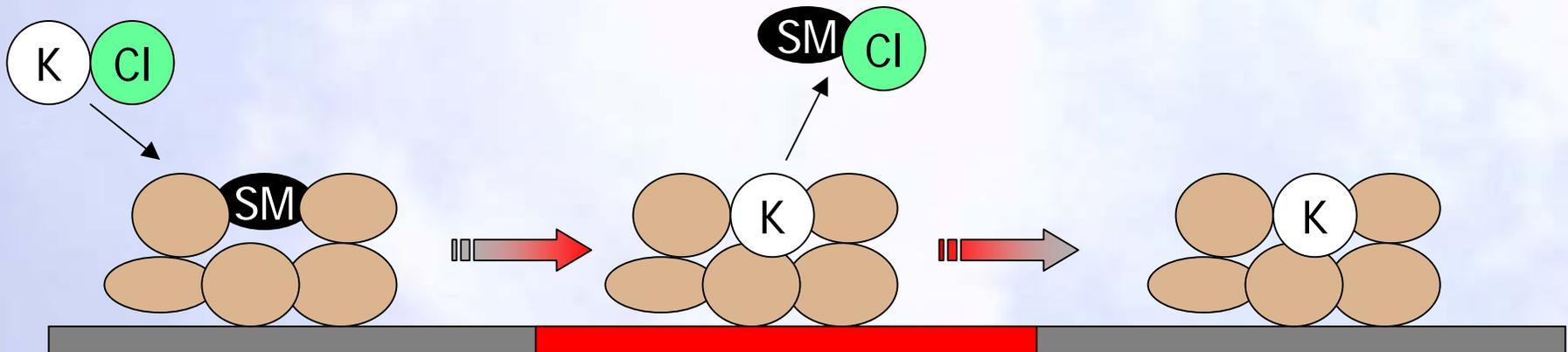


## Prinzip des Prozesses

- Zugabe von Alkali- oder Erdalkalichloriden zu der Klärschlammmasche
- Bildung und Verdampfung von Schwermetallchloriden bei 850-1000°C
- Die Schwermetallchloride werden aus der Gasphase separiert



## Beispiel: Drehrohrofen



„Sustainable and Safe Re-use of Municipal Sewage Sludge for Nutrient Recovery“



EU-Projekt im 6. Rahmenprogramm  
Nov. 2005 - Oktober 2008  
EU-Förderung: ca. 1,2 Mio. EUR



## Hintergrund:

- Klärschlämme enthalten Nährstoffe und Schadstoffe
- Landwirtschaftliche Nutzung ist aufgrund der Schadstoffbelastung problematisch
- Entsorgung durch Verbrennung/Deponierung oder in Zementwerken führt zu Kreislaufverlusten an Phosphor
- Kreislaufführung des Phosphors wird jedoch angestrebt, da Phosphor eine endliche Ressource ist
- Politisch wird dies zukünftig im Rahmen der Abwasserverordnung forciert
- Ökologisch und ökonomisch sinnvolle Verfahren sind bisher nicht etabliert

## Die Ziele des SUSAN-Projekts

Entwicklung eines thermochemischen Verfahrens zur Aufbereitung von Klärschlammmaschen zu Düngemitteln.

- Produkte mit guter Düngewirkung
- Schadstoffgehalte unterhalb der Grenzwerte nach Düngemittelverordnung
- Marktfähigkeit der Produkte
- Ökonomischer und sicherer Betrieb großtechnischer Anlagen
- Gesamtkonzept muss nachhaltig sein !!

Die Ergebnisse des SUSAN-Projekts sollen großtechnisch umgesetzt werden, um ein ökologisch und ökonomisch sinnvolles Phosphorrecycling zu ermöglichen.

- Technische Entwicklung

Thermochemische Versuche, Labor-/Kleintechnischer Maßstab

Abgasbehandlung, Umgang mit dem Schwermetallkonzentrat

Screening mit verschiedenen Klärschlammmaschen (breite Anwendbarkeit)

Konditionierung der Produkte

Materialoptimierung für den thermochem. Reaktor

- Planung der großtechnischen Anwendung

Engineering für Pilot- und Großanlagen

Kostenkalkulationen (Invest- und Betriebskosten)

- Landwirtschaftliche Untersuchungen

Agro-chemische Untersuchungen

(z.B. Löslichkeiten von Nährstoffen und Schadstoffen)

Wachstumsversuche

Versuche zum insitu-Aufschluss mit Schwefel

Düngemittelzulassung



● Marktanalyse

Markt der Klärschlammasche  
 Düngemittelmarkt (P-, PK-, NPK-Dünger)  
 Produktdesign

● Untersuchungen zur Nachhaltigkeit

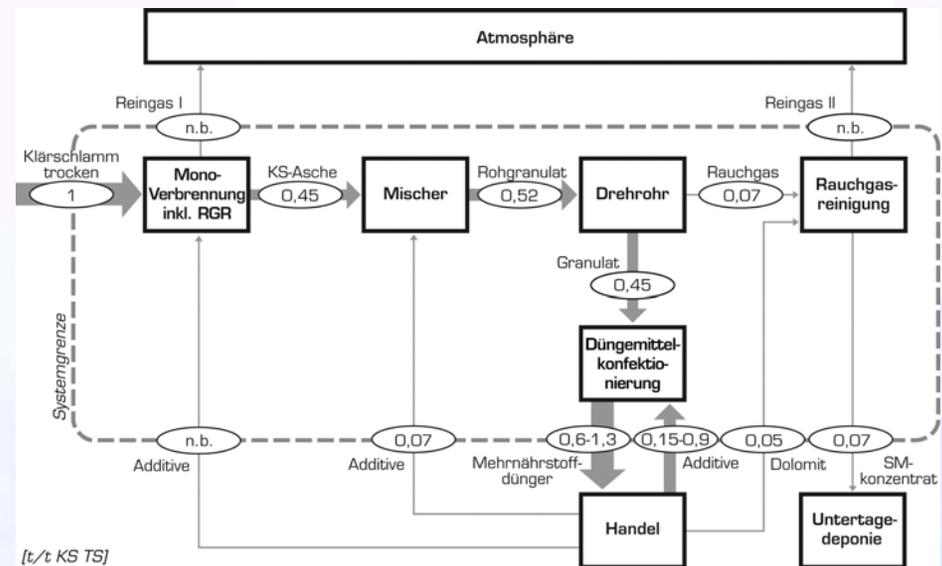
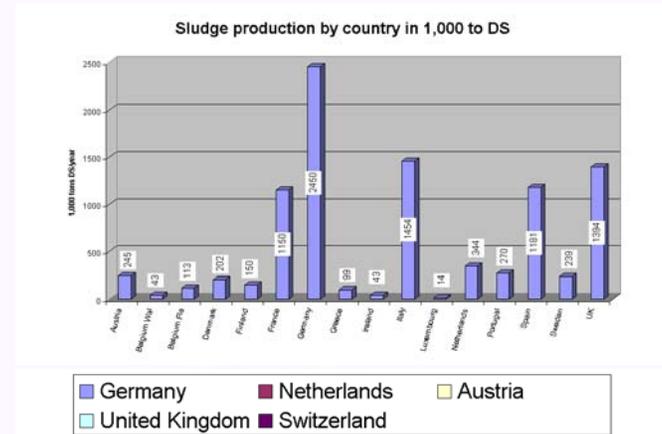
Bewertung unterschiedlicher Verwertungsoptionen  
 für Klärschlämme bezüglich

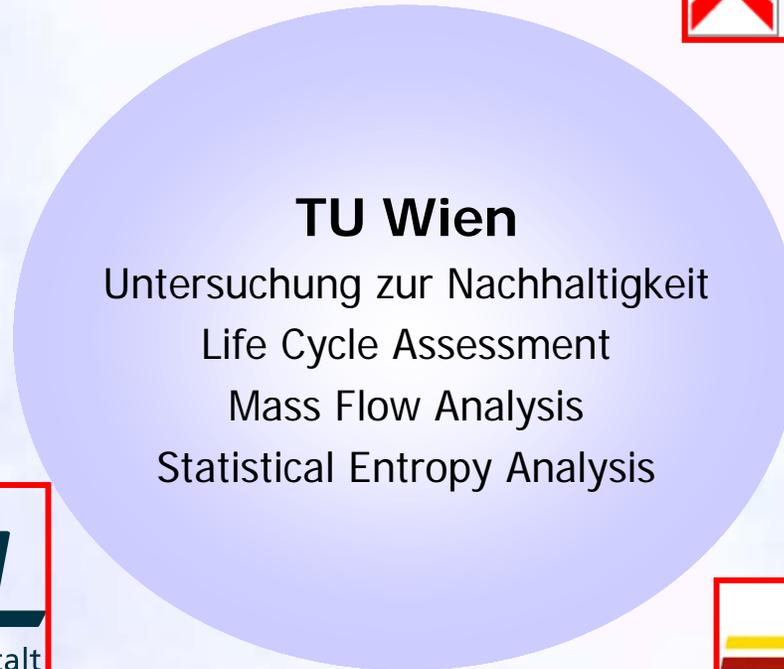
- Umweltrelevanz
- Schonung bestehender Ressourcen

Stoffstromanalyse (MFA)

Lebenszyklus-Analyse (LCA)

Statistische Entropie Analyse (SEA)





## ● **Vorgeschaltete Wirtschaftlichkeits- und Marktstudie**

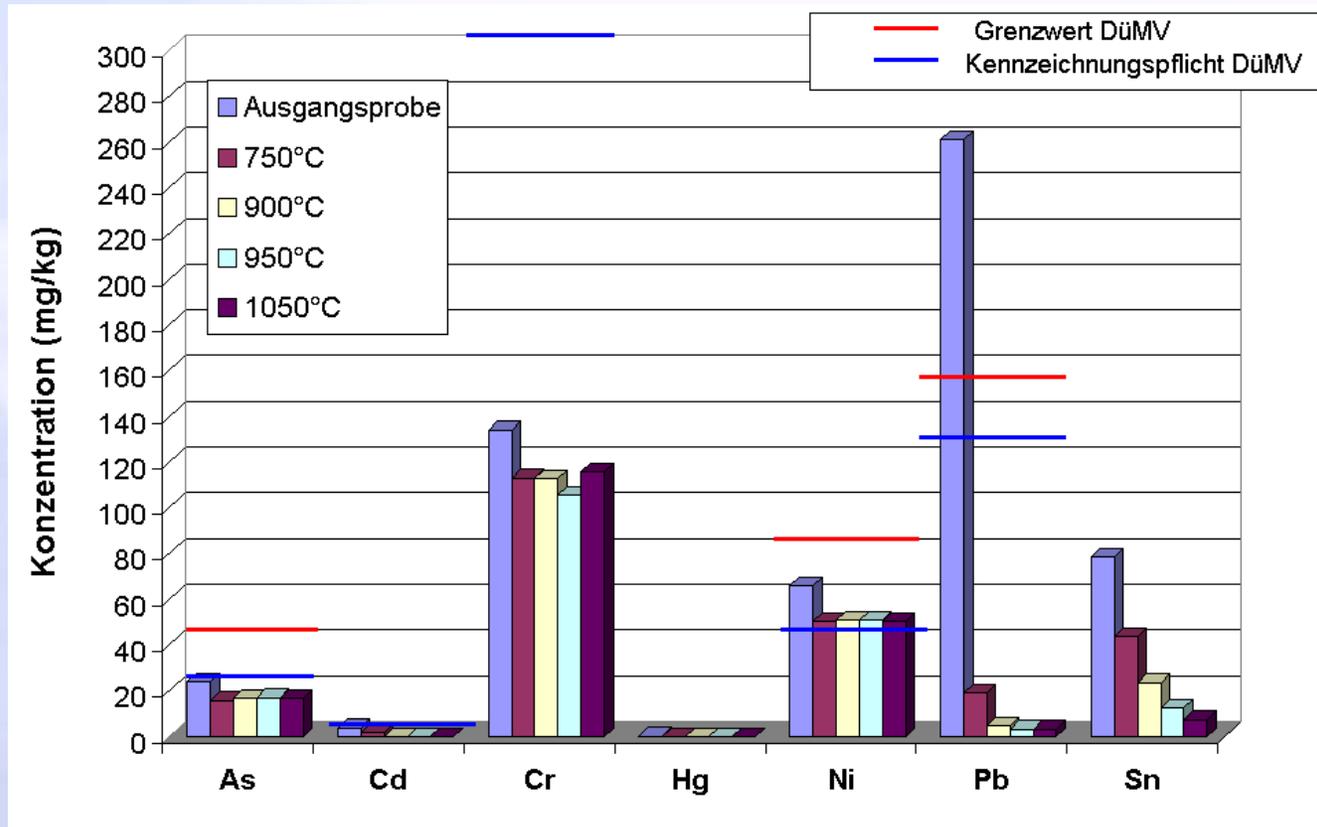
- Potential in Europa (EU-15): knapp 300.000 t P/a in Klärschlämmen
- Verbrauch an Dünger (EU-15): 1.282.000 t P/a in Düngemitteln
- PK- und NPK-Dünger verschiedener Zusammensetzung müssen anvisiert werden
- Von 32 befragten Klärschlammverbrennern (von etwa 80 in der EU) waren 30 an einer Kooperation interessiert, 2 waren nicht interessiert
- Erste Abschätzung: Gewinnmarge ca. 18 EUR/t, Amortisation 5-6 Jahre

## ● **Thermochemische Versuche**

- Schwermetallkonzentrationen wurden unter die Grenzwerte nach Düngemittelverordnung abgesenkt
- Vollständige P-Citratlöslichkeit der Produkte wurde erzielt

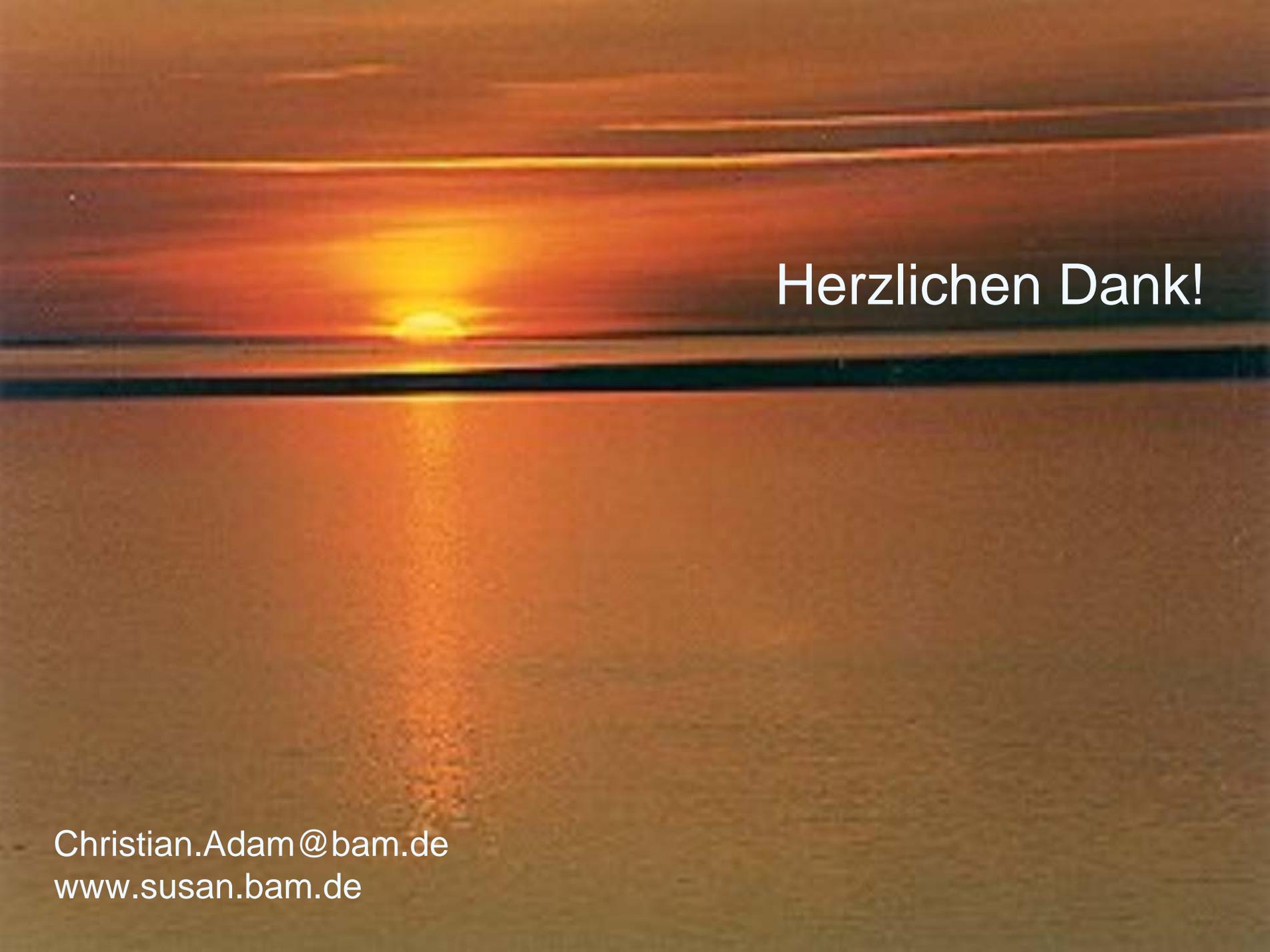
### Thermochemischer Versuch im Tiegel (statisch)

Aschetyp: SNB (eisenreich)  
 Chlordonator:  $MgCl_2$  (ca. 150 g Cl/kg Asche)  
 Verweilzeit: 2 h



- Phosphor ist essentiell für alle Formen des Lebens und ist in seinen Funktionen durch kein anderes Element zu ersetzen !
- Phosphor ist eine endliche Ressource:  
Reserven 80-90 Jahre, Vorräte bis 250 Jahre.
- Phosphorrecycling ist sinnvoll und politisch gewollt.
- P-Sekundärrohstoffquellen sind vorhanden und sollten genutzt werden, eine Aufbereitung ist jedoch unerlässlich.
- Im Rahmen des EU-Projekts SUSAN wird ein thermochemisches Verfahren zur Behandlung von Klärschlämmen entwickelt (und optimiert), aus denen phosphorhaltige Düngemittel (PK- und NPK-Dünger) hergestellt werden sollen.

- Momentan wird ein breites Screening mit verschiedenen Klärschlammmaschen unter Variation von Art und Menge des Chlordonators, der Behandlungstemperatur und der Verweilzeit durchgeführt.
- Die resultierenden Produkte werden hinsichtlich ihrer Schadstoffgehalte und der Düngewirkung untersucht. Daraus werden sich Rückschlüsse zum thermochemischen Verfahren, der vorausgegangenen Verbrennung bis hin zum Ausgangspunkt, der Abwasserreinigung, ergeben.
- Es werden Untersuchungen zum optimalen Reaktordesign und zum Material des thermochemischen Reaktors durchgeführt um die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu erhöhen.
- ASH DEC wird im Jahr 2007 eine Pilotanlage zur thermochemischen Aufbereitung von Klärschlammasche zu Düngemitteln am Standort Eferding (A) realisieren. Die Anlage wird für die Behandlung von ca. 6.000 t Asche pro Jahr bzw. für die Produktion von etwa 11.000 t Mehrnährstoffdünger ausgelegt.



Herzlichen Dank!

Christian.Adam@bam.de  
www.susan.bam.de