

**JenaBios GmbH**

**Löbstedter Straße 80  
07749 Jena**

**Dr. Thomas Werner  
Robert Hänsge**

**Tel.** (03641) / 3096 502  
**Fax.** (03641) / 3096 550

**Email:**  
[t.werner@jenabios.de](mailto:t.werner@jenabios.de)  
[r.haensge@jenabios.de](mailto:r.haensge@jenabios.de)

# **Phosphor aus Sekundärrohstoff-Düngern**

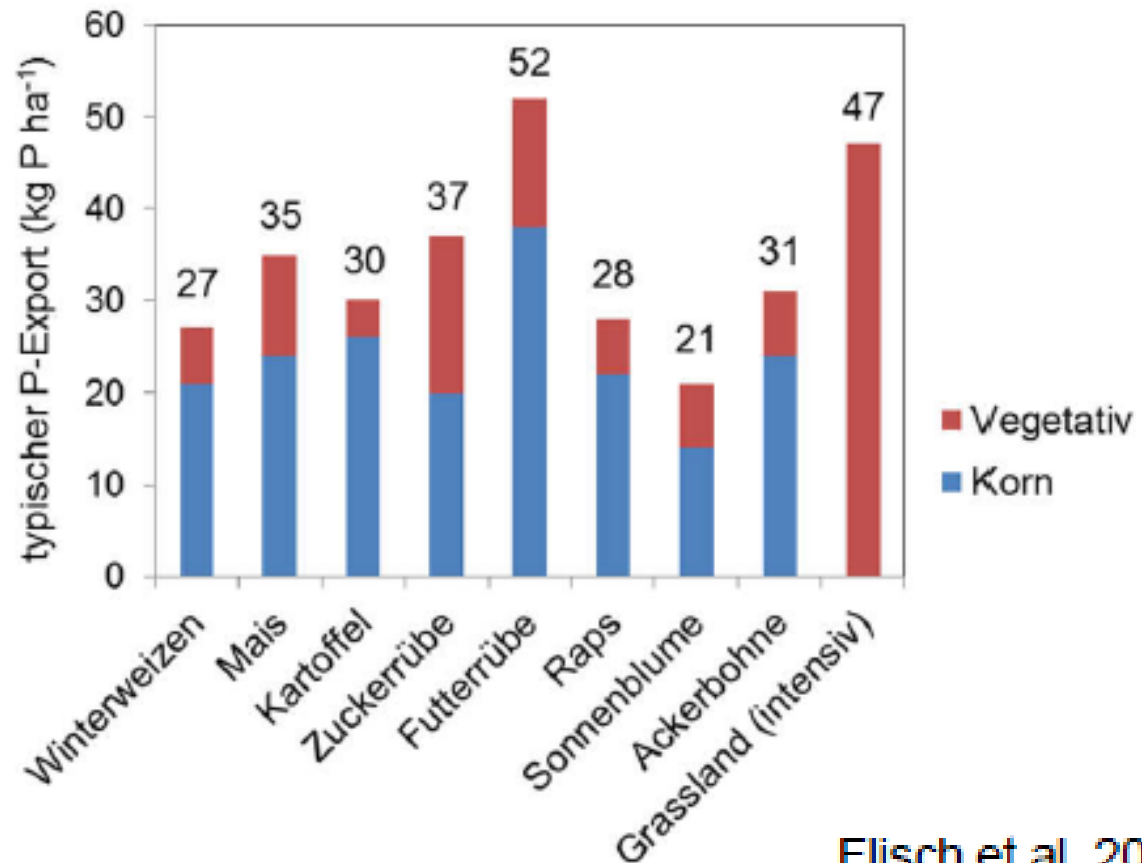
## **P-Gehalte, Eigenschaften und Pflanzenverfügbarkeit**



# GLIEDERUNG

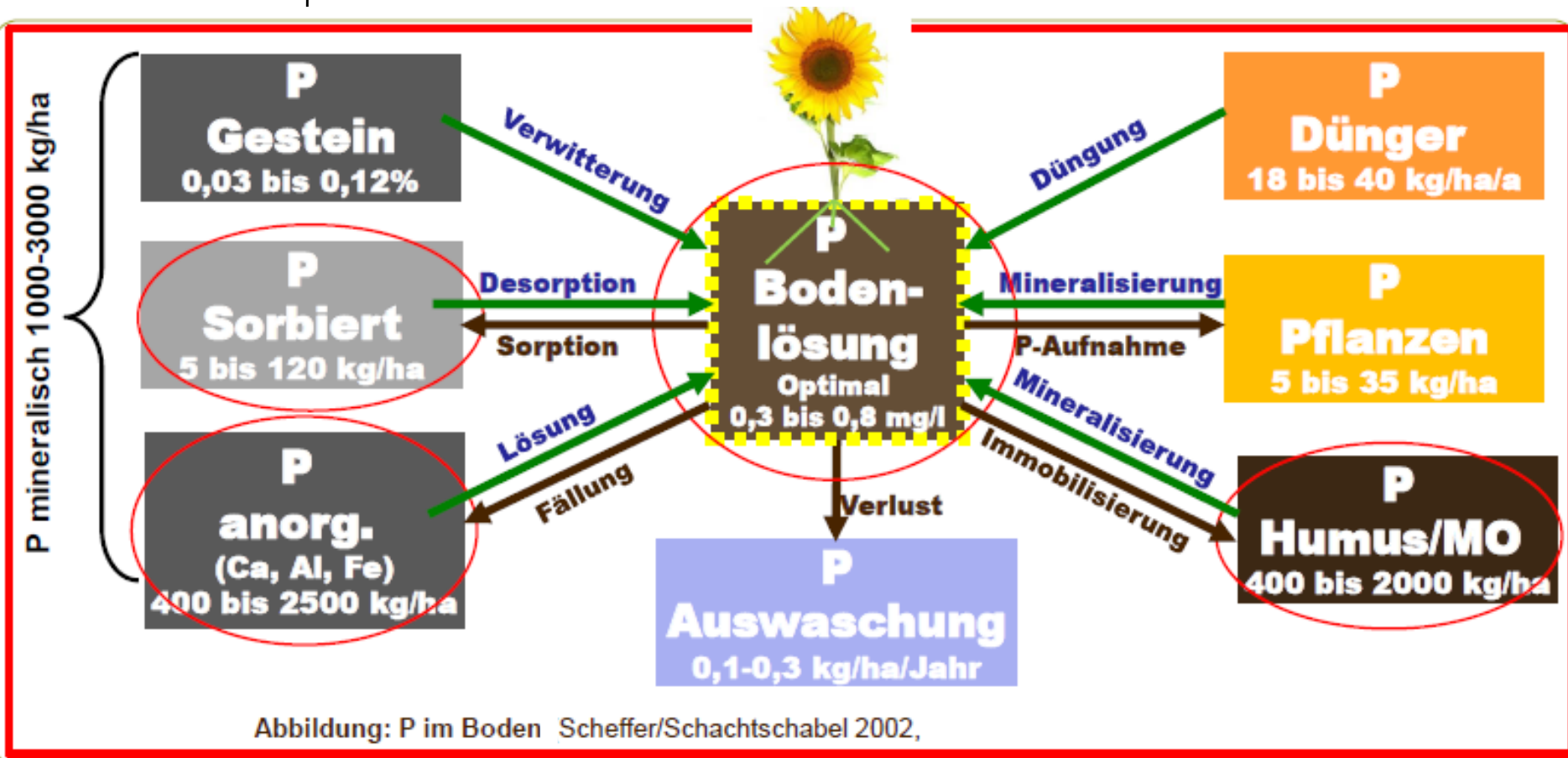
1. Der Nährstoff Phosphor im Boden
2. Möglichkeiten der P- Zufuhr zu landwirtschaftlich genutzten Böden
3. Methoden zur Beschreibung des (potenziell) pflanzenverfügbaren Phosphors in Düngemitteln
4. Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in Sekundärrohstoff-Düngern mit besonderem Fokus auf Aschen (Klärschlamm)
5. Ausgewählte Versuchsergebnisse
6. Zusammenfassung

## P-Export mit Ernteprodukten

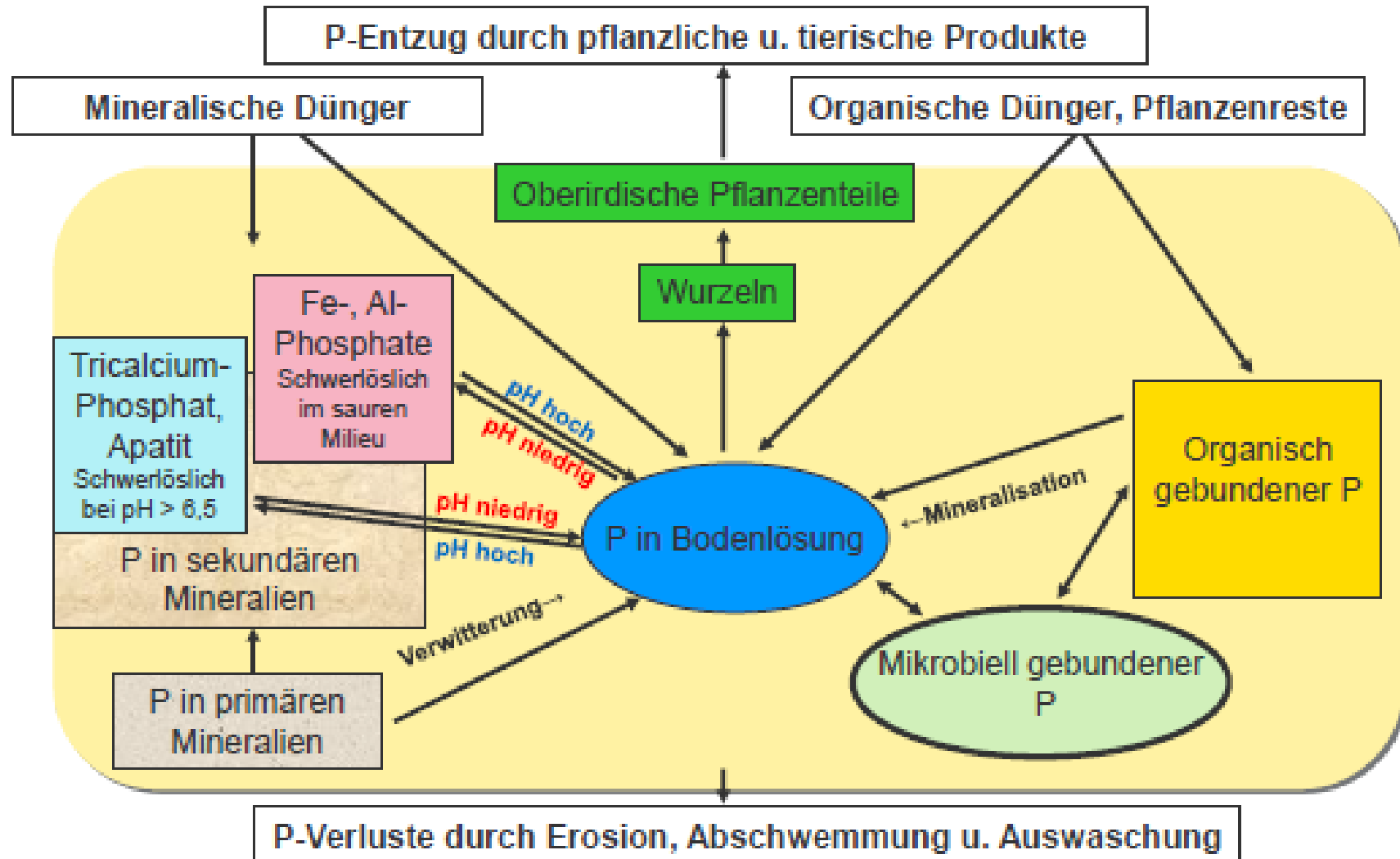


Flisch et al. 2009

# ÜBERBLICK PHOSPHOR IN LANDWIRTSCHAFT



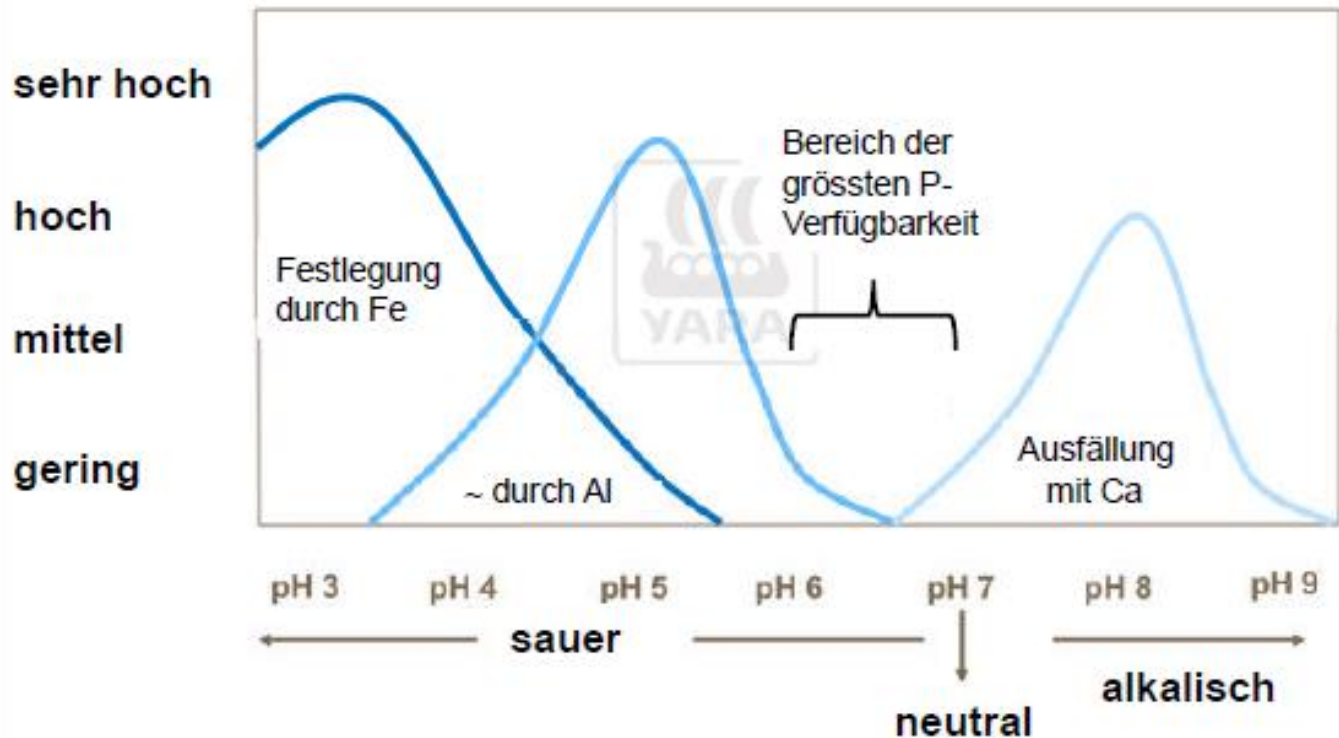
# Die P-Formen im Boden (Allgemein)



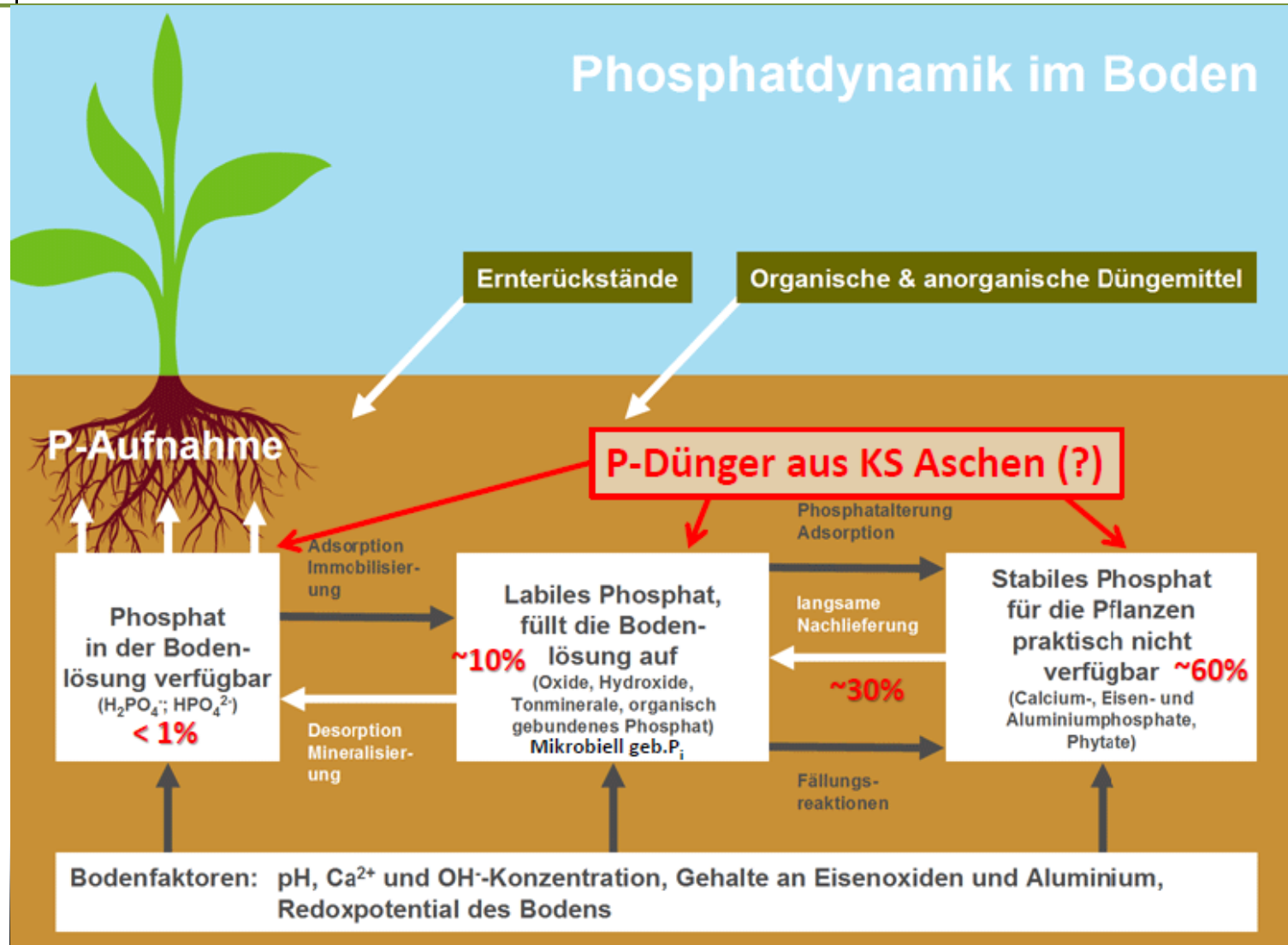
# ÜBERBLICK PHOSPHOR IN LANDWIRTSCHAFT

## Anorganische P-Bindung ist abhängig vom pH des Bodens

### P-Festlegung

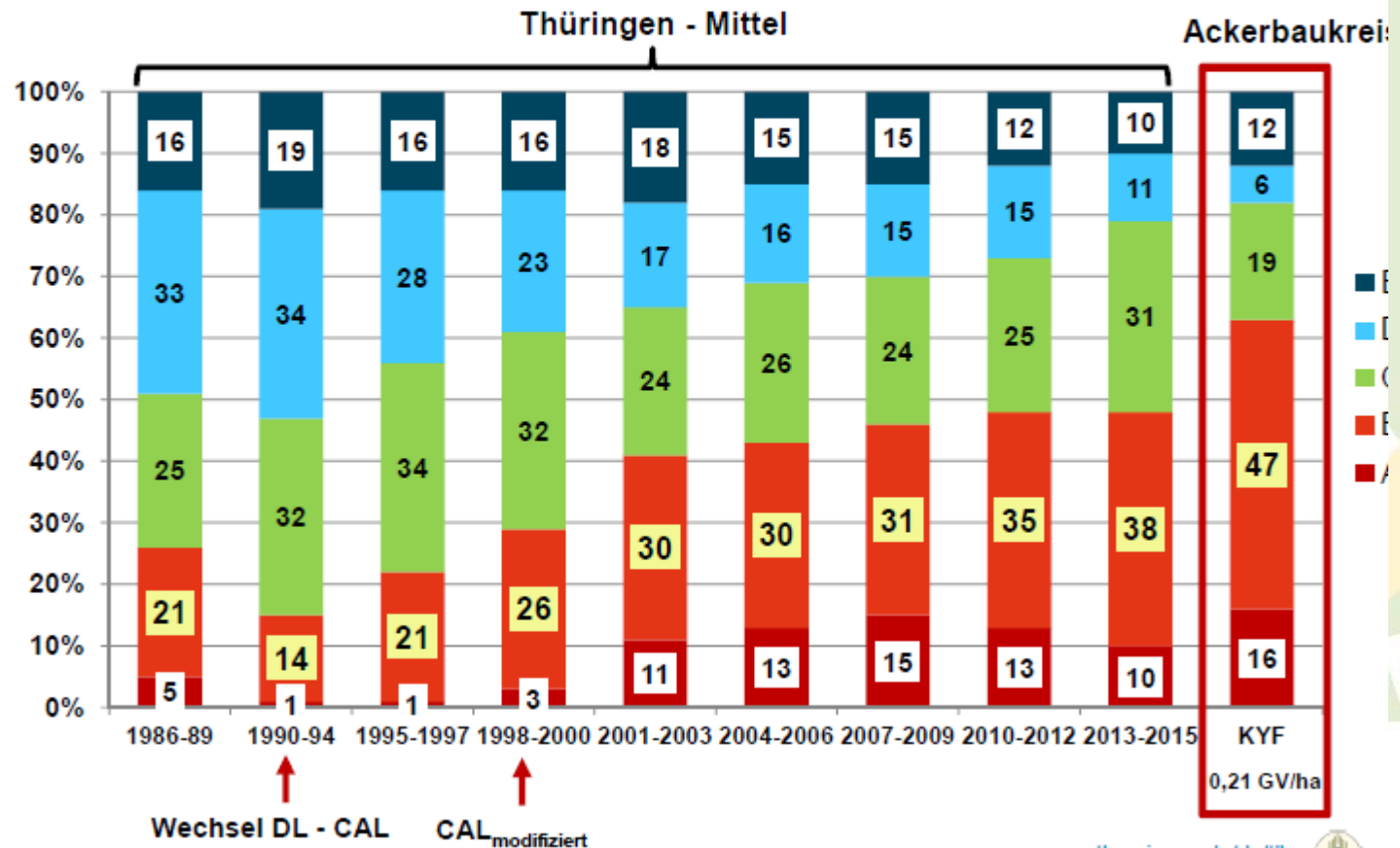


# P – POOLS IM BODEN



# ENTWICKLUNG DER PFLANZENVERFÜGBAREN P-GEHALTE IM BODEN IM FREISTAAT THÜRINGEN

## P-Versorgung Thüringer Ackerböden 2013 - 2015



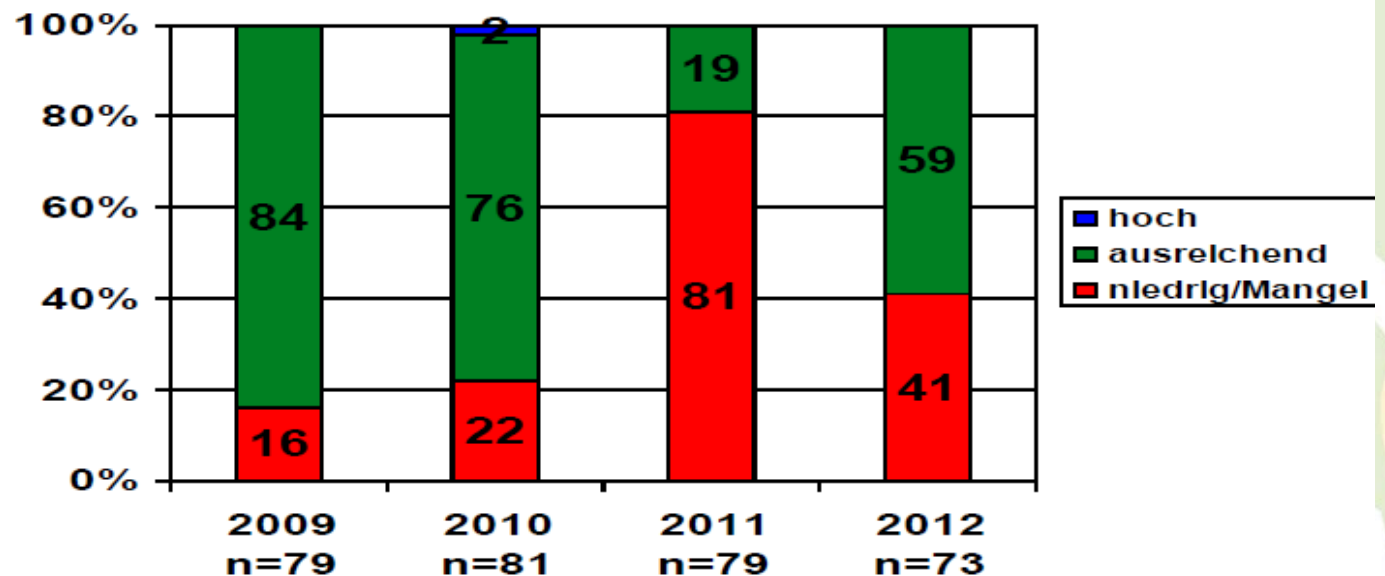


# BEEINFLUSSUNG DER PFLANZENVERFÜGBARKEIT VON PHOSPHOR IM BODEN DURCH ÄUßERE FAKTOREN - TROCKENHEIT

Schwerpunkte für weitere Bewertungen  
**Trockenheit**

Freistaat  
**Thüringen**  
Thüringer  
Landesanstalt  
für Landwirtschaft

**P-Ernährungszustand von Winterweizen (BBCH 33-36) in Thüringen 2009 – 2012**



| Niederschlag in Dornburg (mm) |     |     |    |    |
|-------------------------------|-----|-----|----|----|
| Februar - April               | 147 | 76  | 46 | 30 |
| Mai                           | 71  | 101 | 30 | 48 |

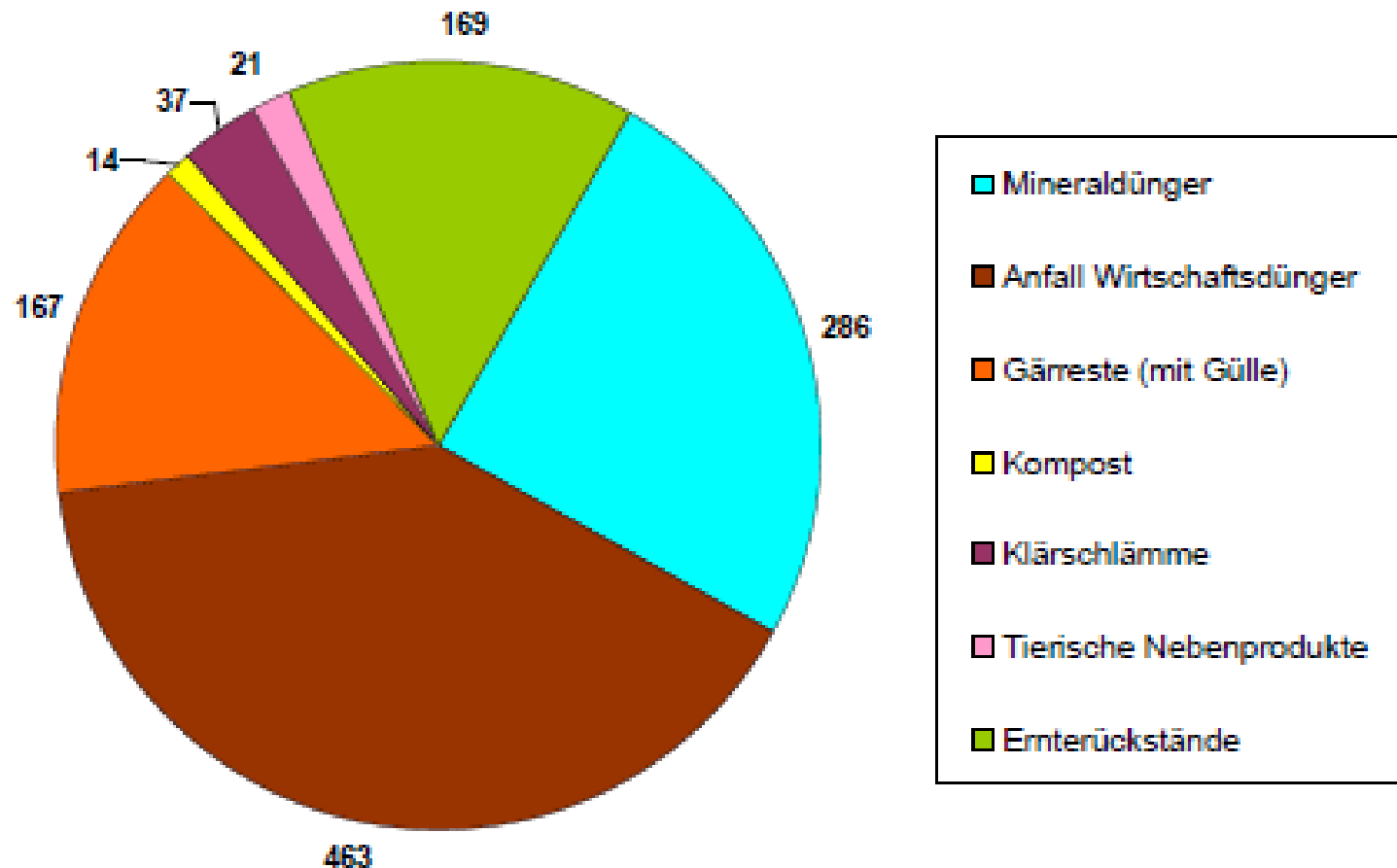
**Trockenheit hemmt die P-Aufnahme!**

# P- ZUFUHR vs. P- ABFUHR

**Tabelle 4.10: In- und Outputströme des Prozessaggregats Landwirtschaftliche Pflanzenproduktion (GETHKE, 2011)**

| INPUT        |                              | [Mg P/a] | Quellen                      |
|--------------|------------------------------|----------|------------------------------|
| 4            | Mineraldünger                | t P/Jahr |                              |
| 4A           | aus deutscher Produktion     | 75.983   | IVA(2009)                    |
| 4C           | Import                       | 71.616   | IVA (2009)                   |
| 19A          | Wirtschaftsdünger            | 227.000  | FREDE (2003)                 |
| 17           | Kompost                      | 16.000   | GUTSER und EBERTSEDER (2006) |
| 26A          | Klärschlamm                  | 15.315   | s. Kap. 4.2.12               |
| 21A          | Gärrückstand                 | 160.622  | s. Kap. 4.2.10               |
| SUMME INPUT  |                              | 568.535  |                              |
| OUTPUT       |                              | [Mg P/a] | Quellen                      |
| 15           | Erntegut                     |          |                              |
| 15A          | Grünfutter                   | 288.000  | FREDE (2003)                 |
| 15B          | zur Nahrungsmittelproduktion | 61.000   | FREDE (2003)                 |
| 15C          | zur Futtermittelproduktion   | 35.000   | FREDE (2003)                 |
| 15D          | zur Sonstigen Industrie      | 35.000   | Berechnung                   |
| 15E          | NaWaRo                       | 68.777   | s. Kap. 4.2.10               |
| 16           | Gewässer                     | 24.063   | BEHRENDT et al. (2003)       |
| 20A          | Speicherung im Boden         | 54.695   | Bilanzausgleich              |
| SUMME OUTPUT |                              | 568.535  |                              |

## Zufuhr an Phosphat ( $P_2O_5$ ) über Düngemittel und Sekundärrohstoffe in die deutsche Landwirtschaft in 1.000 t



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen (2015) und des Statistischen Bundesamtes (2015a) Fachserie 4, Reihe 8.2, Düngemittelversorgung (Wirtschaftsjahr 2014/2015).

# POTENTIALE DER P-ZUFUHR AUS SEKUNDÄRROHSTOFF-DÜNGERN (OHNE KOMPOSTE)

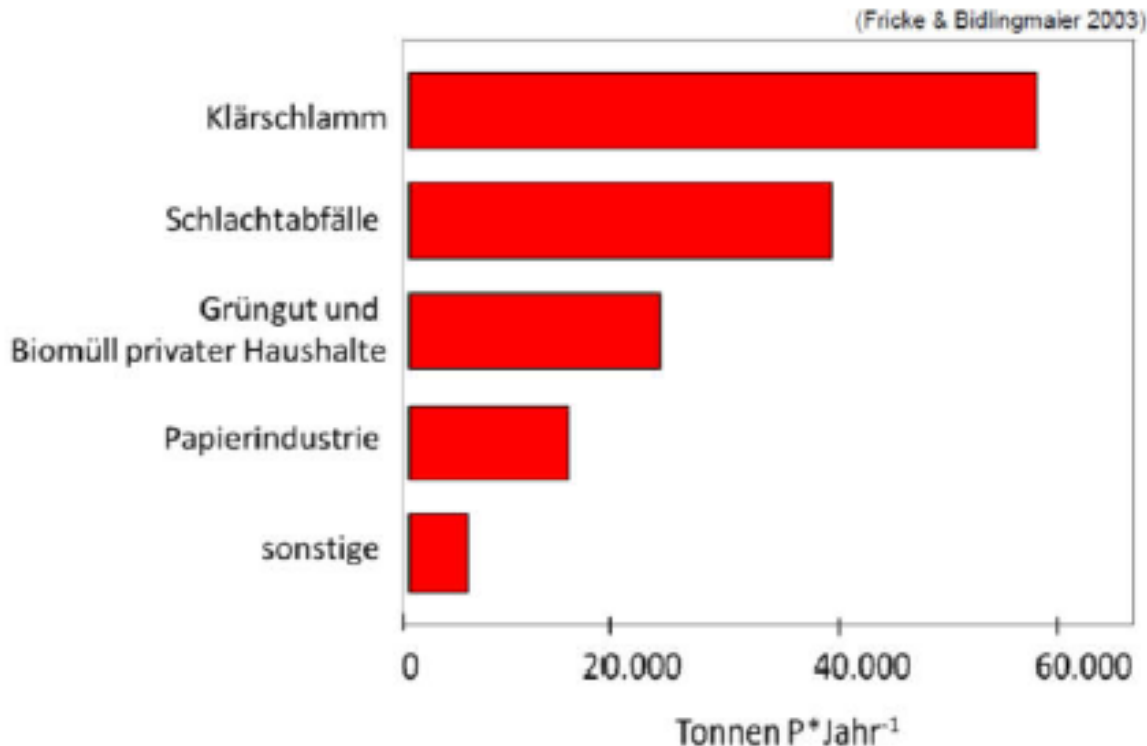
## ➤ Übersicht 1: P-haltige Abfälle in Deutschland pro Jahr\*

| P-haltiger<br>Abfall          | TM/Jahr<br>(t)             | P-Gehalt<br>(%) | P-Menge<br>(t)     |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------|
| Klärschlamm                   | 2,4 Mio.                   | 2               | 48 000             |
| Tiermehle                     | 400 000                    | ca. 3           | 12 000             |
| Fleischknochen-<br>mehl       | 160 000                    | ca. 6           | 9 600              |
| <b>Summe</b>                  |                            |                 | <b>ca. 70 000</b>  |
| Aufwand an<br>Mineraldünger-P | 2006/2007**<br>2009/2010** |                 | 116 000<br>103 000 |

\* nach DWA, 2005; [www.fleischindustrie.de](http://www.fleischindustrie.de), STN, 2007

\*\* Statistisches Jahrbuch 2011 für die BRD

## P-Mengen in potentiellen alternativen P-Quellen (Zahlen für Deutschland)



**Klärschlamm ist die wichtigste potentielle P-Recyclingquelle  
(Schweiz: ca. 6000 t P im Jahr im Abwasser;  
Rückgewinnung von P ab 2026 Pflicht)**

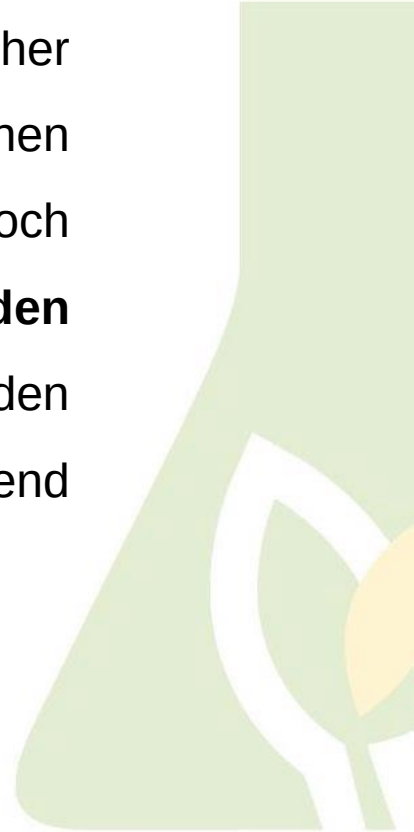
# P – BESTIMMUNGSMETHODEN

Tab. 2. Mit verschiedenen Extraktionsmitteln gelöste P-Formen, nach Angaben aus der Literatur

| Extraktionsmittel                                                | Extrahierte P- Fraktion / -Bindungsform                                                                                                                                                                                                                                                           | Referenz                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Wasser (W)                                                       | Monocalciumphosphat (MCP)<br>$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,<br>Ammoniumphosphat                                                                                                                                                                                  | SCHEEL (1968b), BRAITHWAITE (1987),<br>HIGNETT und BRABSON (1961)                                                                                                              |
| Alkalisches Ammoncitrat (AAC)                                    | Dicalciumphosphat (DCP) $\text{CaHPO}_4$ bzw. „nicht wasserlösliche, aber pflanzenverfügbare P-Fraktion“, d. h. auch pflanzenverfügbare Fe-Al-Phosphate                                                                                                                                           | HIGNETT und BRABSON (1961), WERNER (1967), JUNGE und WERNER (1989)                                                                                                             |
| Neutrales Ammoncitrat (NAC) bzw. sequentielle Extraktion (W+NAC) | MCP, DCP,<br>ca. 80% der Al-/Fe-Phosphate,<br>basisches Ca-Phosphat (Hydroxylapatit/Tricalciumphosphat) bzw. ungelöster oder bei der Ammonisierung rückgebildeter RP-Rückstand,<br>Apatit in Abhängigkeit von der Carbonatsubstitution im Apatitkristall bzw. dem Anteil an freiem Carbonat im RP | BRAITHWAITE (1987), HAMMOND et al. (1989), HIGNETT und BRABSON (1961), SCHMITT (1969b)<br><br>CHIEN und HAMMOND (1978), LÉON et al. (1986), (strittig, a.A. BRAITHWAITE, 1987) |
| Zitronensäure (CA)                                               | MCP, DCP,<br>ca. 20% der Al-/Fe-Phosphate,<br>ca. 20% der ungelösten RP-Rückstände in teilaufgeschlossenem RP,<br>kieselsäurehaltige P-Verbindungen, z. B. Kalk-Siliko-Phosphat (Silicocarnotit, $5\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$ Mischkristall)                       | BRAITHWAITE (1987),<br><br>MAERCKER (1895), MARTENS (1943),<br>GERICKE (1952, 1968)                                                                                            |
| Ameisensäure (FA)                                                | Apatit in Abhängigkeit von der Carbonatsubstitution im Apatitkristall bzw. dem Anteil an freiem Carbonat im RP                                                                                                                                                                                    | CHIEN und HAMMOND (1978), LÉON et al. (1986)                                                                                                                                   |
| Mineralsäure                                                     | Gesamtposphat                                                                                                                                                                                                                                                                                     | FINCK (1992)                                                                                                                                                                   |

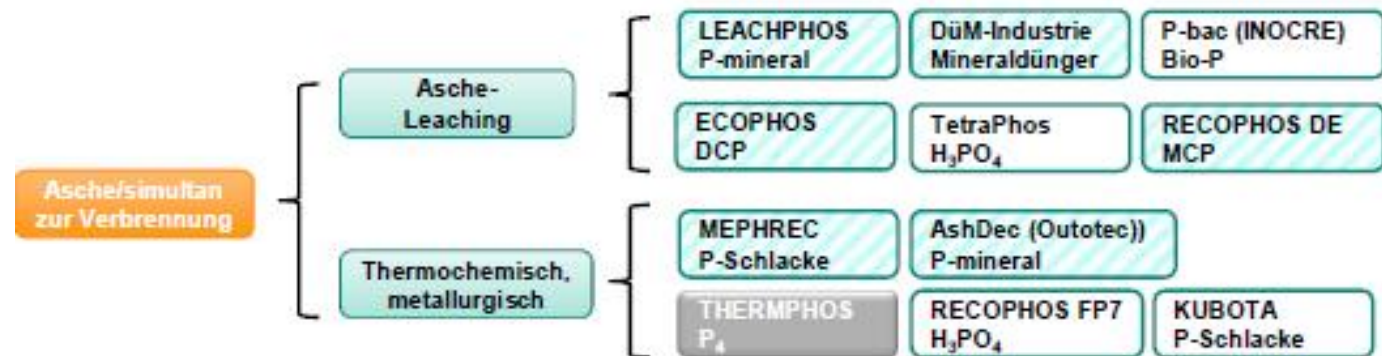
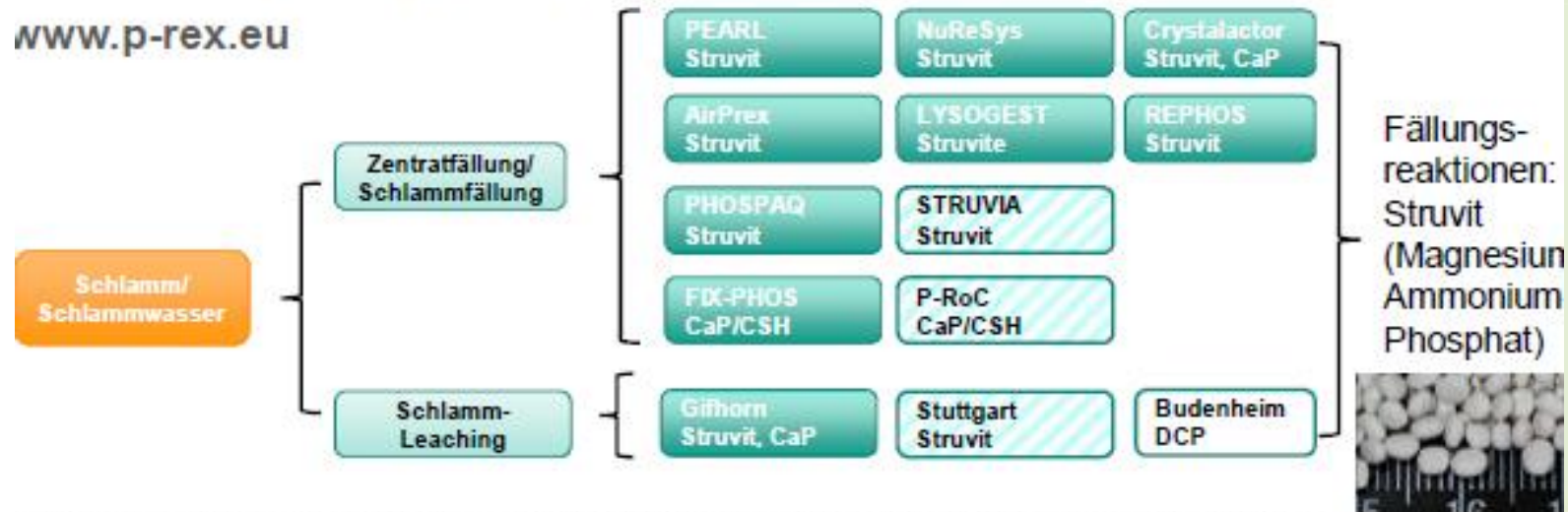
## P – BESTIMMUNGSMETHODEN

Die Aussagefähigkeit solcher chemischer Extraktionsverfahren hinsichtlich der tatsächlichen Pflanzenverfügbarkeit eines Düngemittels ist jedoch begrenzt, da es sich um **statische Methoden** handelt, welche die im Boden stattfindenden **dynamischen Lösungsprozesse** nur unzureichend abzubilden vermögen.



## P-Recycling aus Klärschlamm

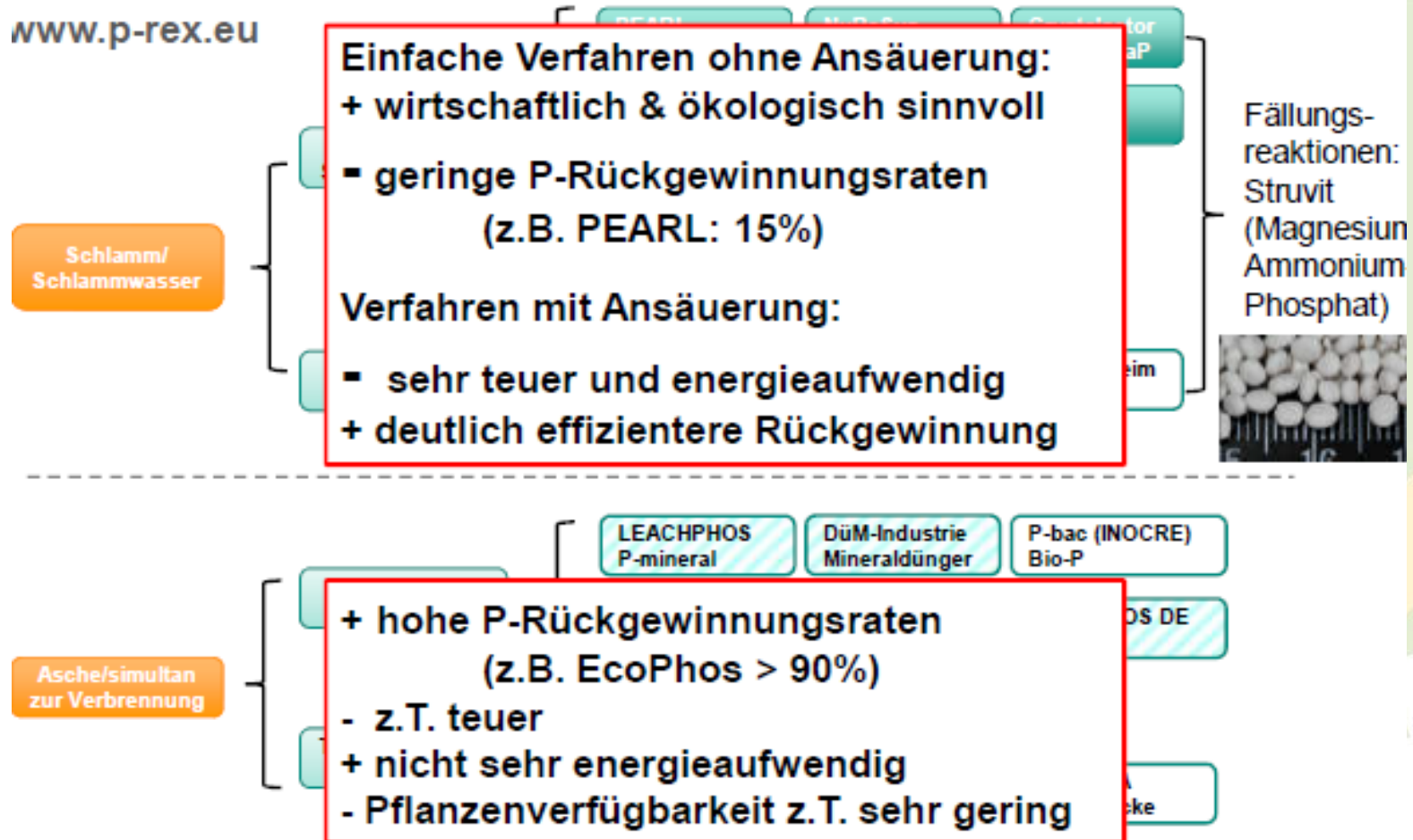
[www.p-rex.eu](http://www.p-rex.eu)





## P-Recycling aus Klärschlamm

www.p-rex.eu



# Pflanzenverfügbarkeit von P in den Produkten

www.p-rex.eu

|                                      |                    | Soil pH 7.1 |      |            |
|--------------------------------------|--------------------|-------------|------|------------|
| P-product                            |                    | 2013        | 2014 | Mean value |
| <b>Schlamm</b>                       | Bio-P-sludge       | 60          | 86   | 73         |
|                                      | Bio-P-sludge dew.  | 94          | 108  | 101        |
|                                      | Fe-sludge dew.     | 54          | 82   | 68         |
| <b>Struvit</b>                       | Pearl              | 113         | 86   | 100        |
|                                      | AirPrex            | 110         | 92   | 101        |
|                                      | Stuttgart          | 106         | 106  | 106        |
| <b>behandelte Klärschlamm- asche</b> | Raw ash            | 13          | 24   | 19         |
|                                      | Ash Dec $MgCl_2$   | 5           | 9    | 7          |
|                                      | Ash Dec $Na_2CO_3$ | 98          | 84   | 91         |
|                                      | Mephrec            | 23          | 75   | 49         |
|                                      | LeachPhos          | 72          | 100  | 86         |
| <b>Amorphes Calciumphosphat</b>      | TSP                | 100         | 100  | 100        |

Calculation: yield increase compared to P-untreated control

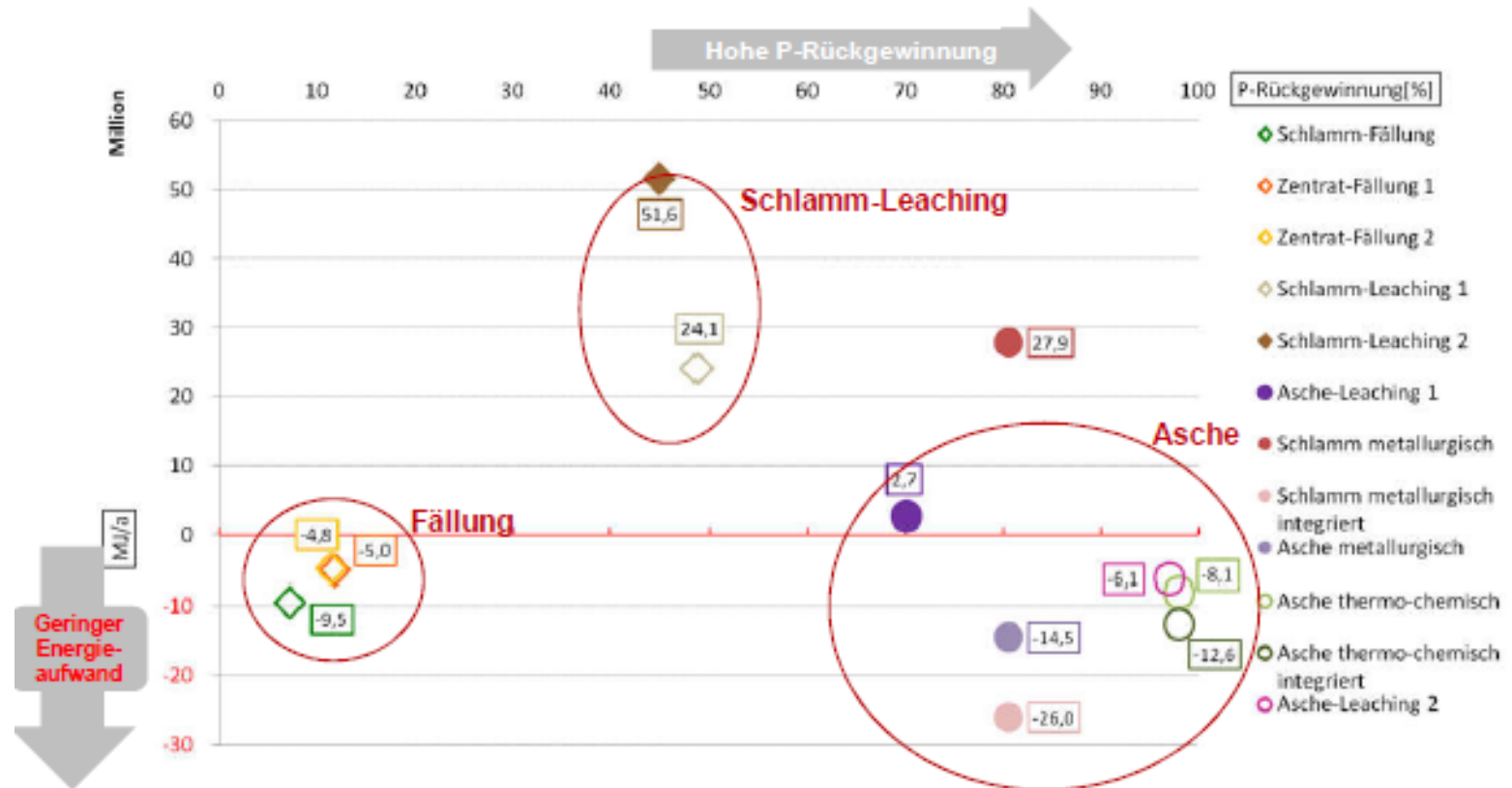
■ RFE ≥ 80    ■ RFE ≥ 50    ■ RFE < 50

## Versuchsbedingungen:

- Gewächshaus
- Boden/Sand (pH 7.1)
- 3 Maispflanzen / Topf
- 4 Wiederholungen
- 750 mg P / Topf
- 2-Jahresversuch (2013+2014): Keine neue P Zugabe in 2014, um die langfristige Verfügbarkeit zu untersuchen.
- RFE = Relative Düngerausnutzung (TSP = 100)

# Energieaufwand für P-Rückgewinnung

www.p-rex.eu



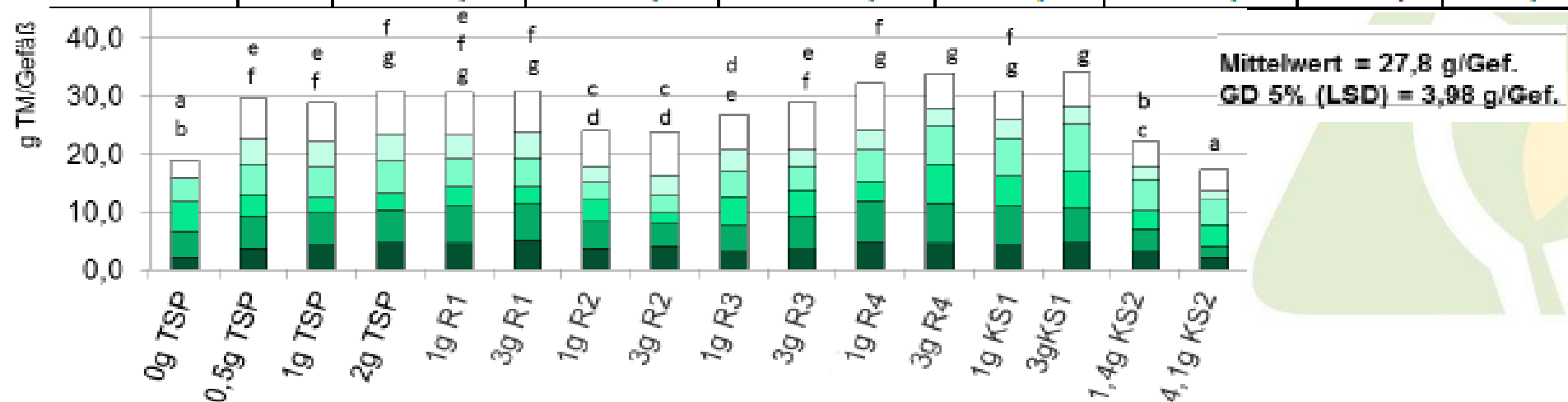
**Höchste P-Rückgewinnung und geringster Energieaufwand bei Klärschlammmaschen**

Remy & Jossa, 2015

## P - PFLANZENVERFÜGBARKEIT

**Tabelle 1:** Untersuchungen der Klärschlämme und der Rezyklate. Nährstoffgehalte und P-Verfügbarkeiten. Angaben in % TM

|      |    | <b>Ges.-N</b> | <b>Ges.-P</b> | <b>ammoncitratl.</b> | <b>citronsrel.</b> | <b>wasserlösl.</b> | <b>Fe</b> | <b>Fe/P</b> |
|------|----|---------------|---------------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------|-------------|
| KS 2 | Fe | 4,25          | 3,95          | 3,13                 | 0,54               | <0,05              | 6,85      | 3,9         |
| KS 1 | Al | 6,14          | 2,66          | 1,94                 | 1,13               | 0,21               | 1,05      | 0,2         |
| R 1  |    | <0,05         | 6,93          | 5,5                  | 5,85               | 0,20               | 5,1       | 1,3         |
| R 4  |    | 5,39          | 12,7          | 11,5                 | 12,4               | 0,21               | 0,063     | <0,1        |
| R 3  |    | 0,25          | 7,29          | 2,57                 | 4,49               | <0,05              | 15,7      | 3,8         |
| R 2  |    | 2,46          | 5,71          | 2,63                 | 2,79               | <0,05              | 10,1      | 3,1         |



**Abbildung 2:** Kumulierte Trockenmasseerträge für den Boden P<sub>niedrig</sub>, Weidelgras-schnitte 1-6 inkl. einer varianzanalytischen Absicherung. Angaben in g/Gefäß. Bei Prüflglied KS2 wurden in beiden Gaben abweichend von den anderen Versuchsgliedern dem 1,4 g bzw. 4,1 g appliziert.

# P - PFLANZENVERFÜGBARKEIT

| P-Verbindung                                                  | Herkunft                | Netto-P-Aufnahmen <sup>1)</sup> |                |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------|
|                                                               |                         | [mg P/<br>Gefäß]                | relativ<br>[%] |
| $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | Fluka                   | 13,6                            | 100            |
| $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$          | Merck                   | 12,7                            | 93             |
| $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$         | Budenheim <sup>2)</sup> | 8,2                             | 60             |
| Apatit                                                        | Kola-Halbinsel          | 1,4                             | 10             |
| $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$                          | Budenheim <sup>2)</sup> | 13,2                            | 97             |
| $\text{MgHPO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$                   | Budenheim <sup>2)</sup> | 16,0                            | 117            |
| $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$       | Budenheim <sup>2)</sup> | 13,8                            | 101            |
| $\text{FePO}_4$                                               | Budenheim <sup>2)</sup> | 0,1                             | < 1            |
| $\text{AlPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$                      | Budenheim <sup>2)</sup> | 6,8                             | 47             |
| Mg-Phosphat                                                   | Seaborne <sup>3)</sup>  | 15,9                            | 110            |
| Ca-Phosphat                                                   | Seaborne <sup>3)</sup>  | 9,0                             | 63             |
| Fe-Phosphat                                                   | Seaborne <sup>3)</sup>  | 1,8                             | 13             |
| GD <sub>5%</sub> Tukey                                        |                         | 3,3                             | 24             |

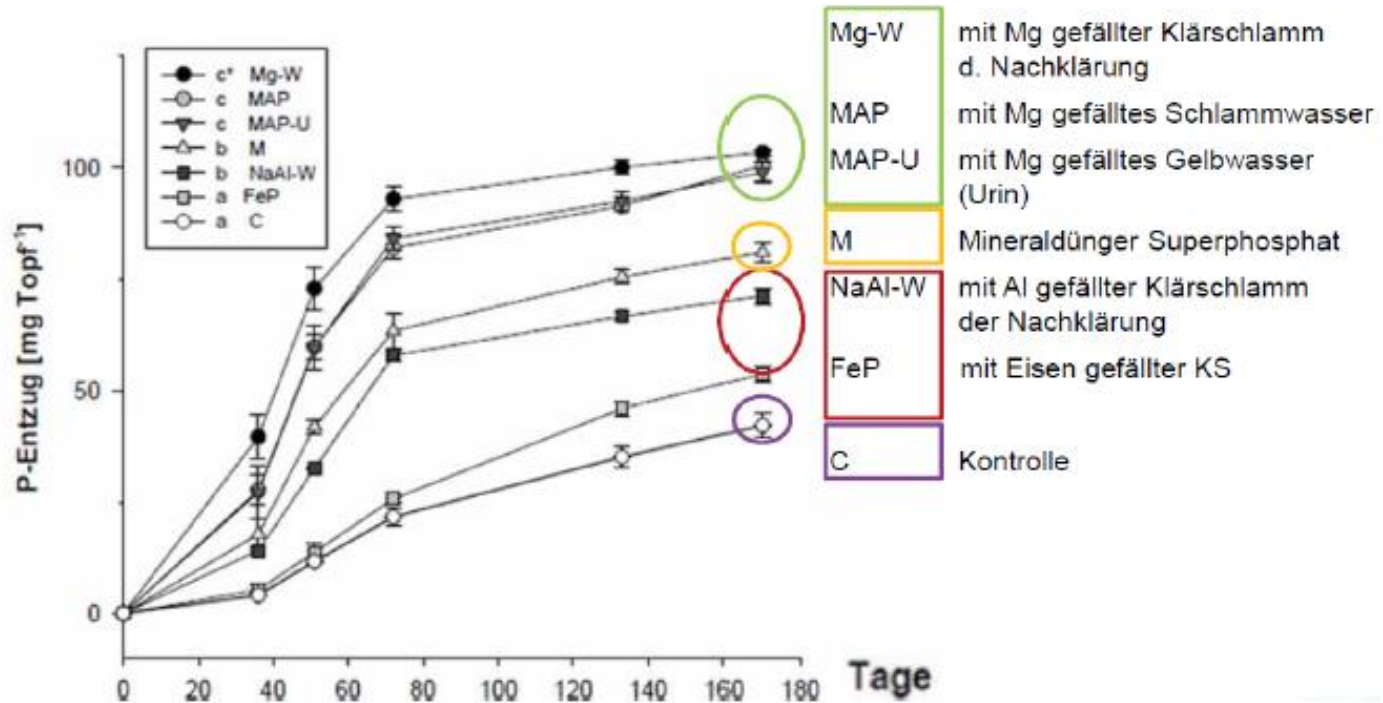
1) Differenz aus der P-Aufnahme der gedüngten und ungedüngten Pflanzen

2) Chemische Fabrik Budenheim

3) Seaborne/Owschlag (Schleswig-Holstein)



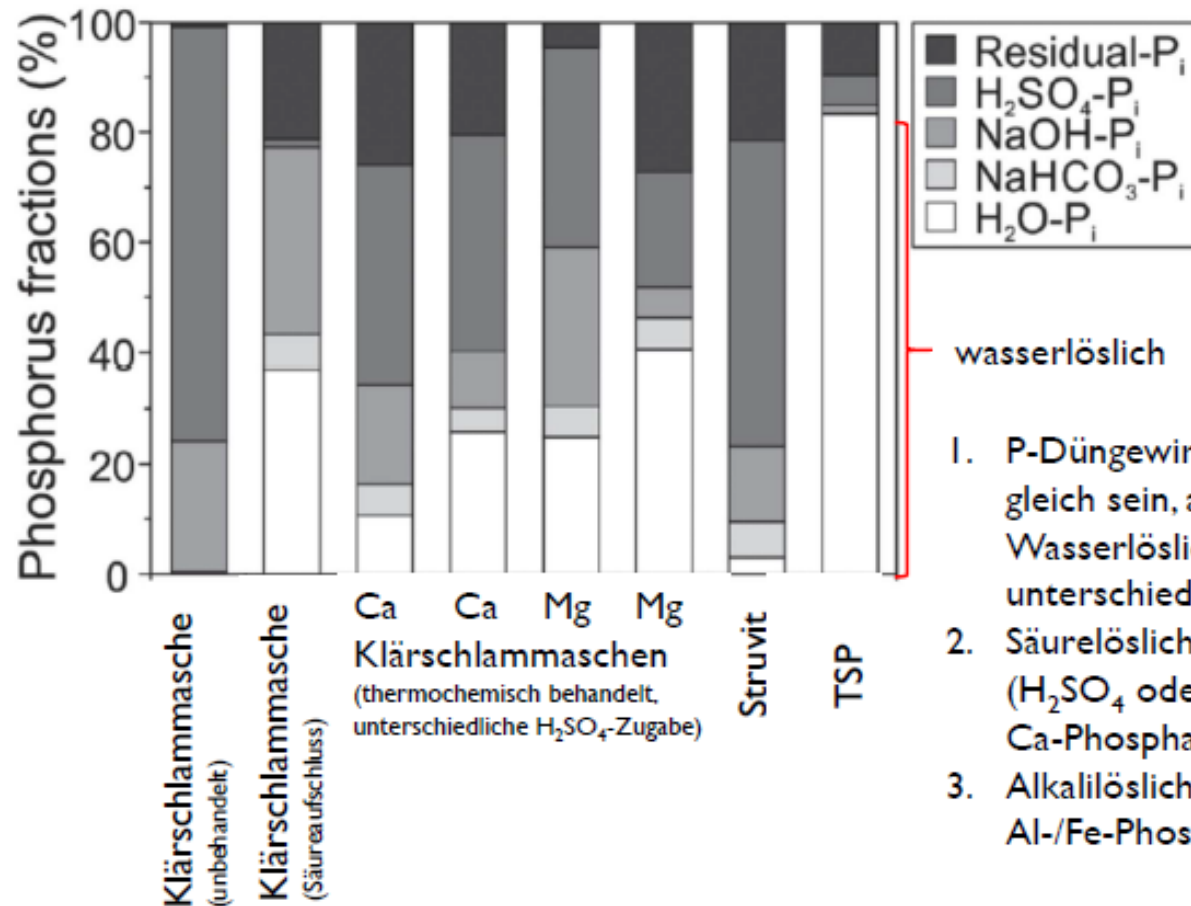
# PHOSPHOR AUFNAHME IM GEFÄßVERSUCH MIT WEIDELGRAS



Simons, 2008

# VERGLEICH ROHASCHE – MIT SÄURE AUFGESCHLOSSENE ASCHE AUS KS

## Düngereigenschaften: Löslichkeit, P-Formen



# Pflanzenverfügbarkeit und agronomische Effizienz von klärschlamm-basierten Phosphor (P)-Recyclingdüngern

Sylvia Kratz, Christian Adam und Christian Vogel

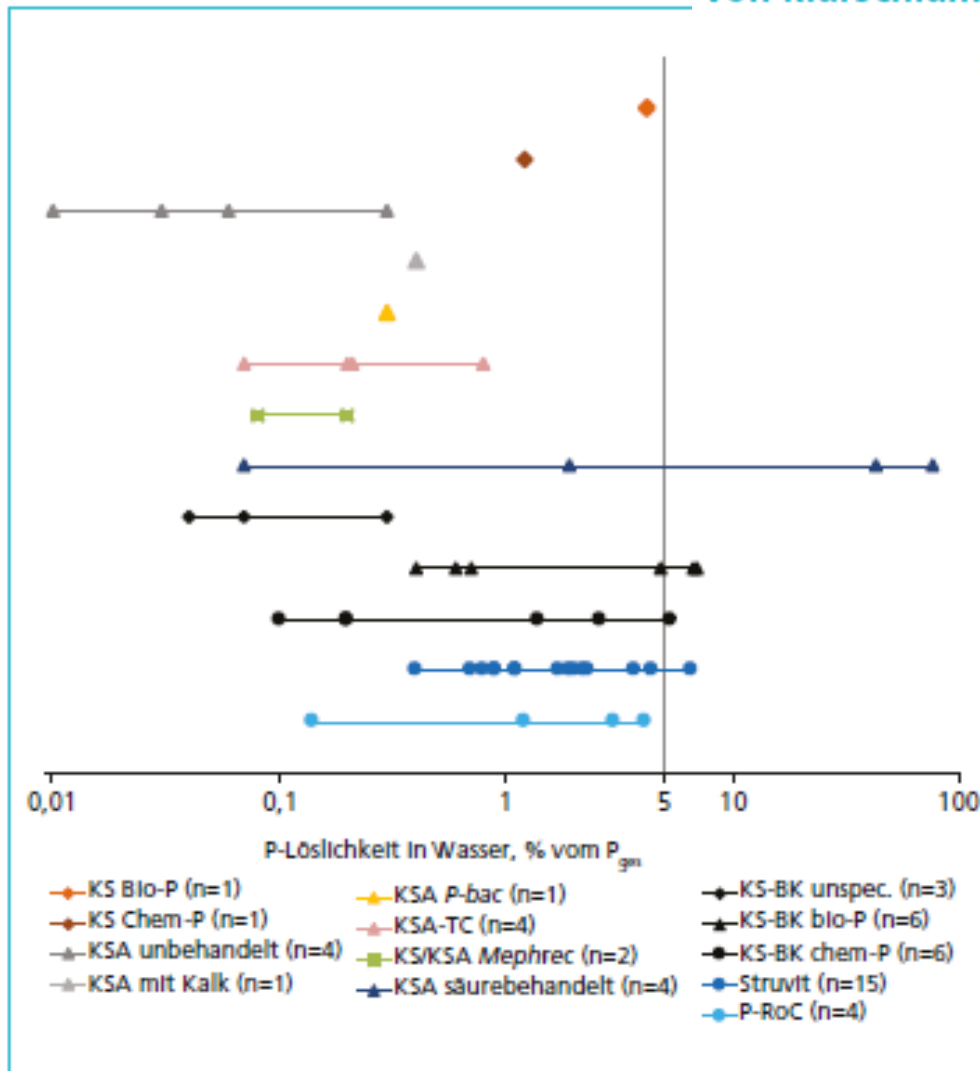


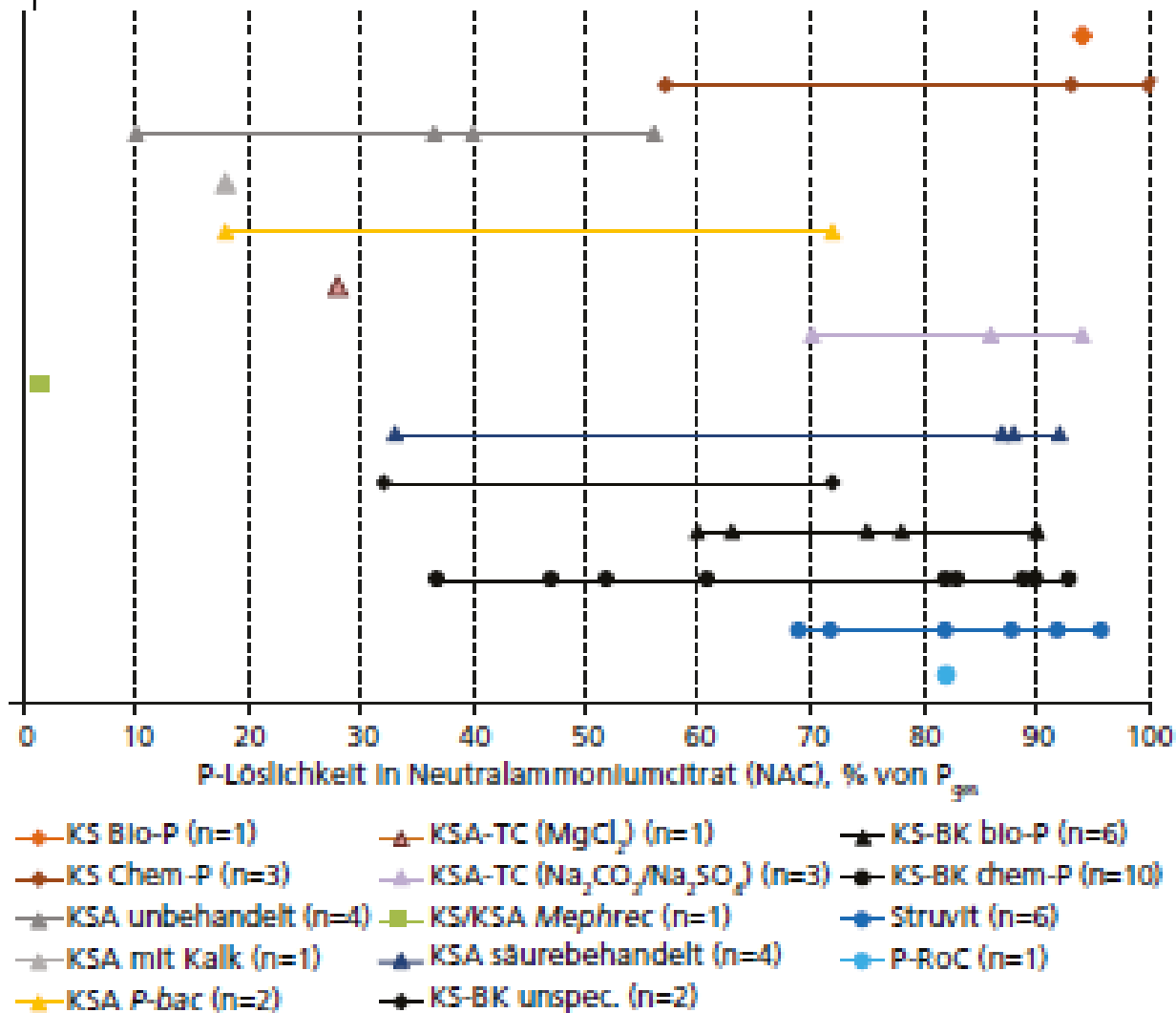
Bild 1a:

P-Löslichkeit verschiedener Rezyklate in Wasser, Achtung: bei Wasserlöslichkeit (a) logarithmische Skalierung der X-Achse; jeder Punkt repräsentiert eine Literaturangabe [7, 9, 14, 27, 31, 33, 39, 46, 51, 52, 53, 57, 61, 67, 70, 72, 75]



# Pflanzenverfügbarkeit und agronomische Effizienz von klärschlamm-basierten Phosphor (P)-Recyclingdüngern

Sylvia Kratz, Christian Adam und Christian Vogel



# KS – ASCHEN PRÜFBERICHTE

Produkt: sonstige Probenarten  
Probenbezeichnung: Klärschlamm-Asche  
Probenahme: Auftraggeber  
Probenzustand: einwandfrei  
Eingangsdatum: 25.06.2018  
Prüfzeitraum: 25.06.2018 - 24.07.2018

| Parameter                                                          |  | Methode                                 | Einheit  | Ergebnis                 | Ergebnis                 |
|--------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------------|----------|--------------------------|--------------------------|
| Labor-Nr.:                                                         |  |                                         |          | P1                       | P2                       |
| Beschreibung:                                                      |  |                                         |          | REN 1606                 | GRU                      |
| weitere Kennzeichnung:                                             |  |                                         |          | Datum Probe:<br>09.05.18 | Datum Probe:<br>18.09.17 |
| Trockensubstanz                                                    |  | DIN 38414 Teil 2+3 (11.85) [L80]        | % OS     | 99,6                     | 100                      |
| Organische Substanz                                                |  | DIN 38414 Teil 2+3 (11.85) [L80]        | % OS     | 2,49                     | 2,7                      |
| pH-Wert                                                            |  | DIN 38414-5 (09.81) [L80]               | --       | 10,8                     | 9,6                      |
| Phosphor als P ( <b>Gesamt-P</b> )                                 |  | DIN EN ISO 17294-2 (E29), 2005-02 [L93] | % TS     | 7,41                     | 6,98                     |
| Phosphor als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , ammoniumcitratlöslich |  | VDLUFA Methodenbuch Bd. II, 4.1.4.      | % TS     | 2,44                     | 3,10                     |
| Phosphor als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (wasserlöslich)         |  | DIN EN ISO 17294-2 (E29), 2005-02 [L93] | % TS     | 0,148                    | 0,091                    |
| Eisen                                                              |  | DIN EN ISO 17294-2 (E29), 2005-02 [L93] | mg/kg TS | 140.000                  | 120.000                  |

30%

1,3%

# FAZIT

1. Phosphorbedarf steigt weltweit → Preise steigen mittel bis langfristig  
aktuell: 360,- €/t TSP → ca. 1,80 €/kg pflanzenverfügbares P
  2. Verfügbares Aufkommen an Phosphor aus sekundären Rohstoffquellen hoch (aus Aschen steigend!), aktueller Beitrag zur P-Versorgung der LN durchaus „ausbaufähig“
  3. Landwirtschaftliche Verwertung nur unter der Voraussetzung, dass Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors gegeben ist (> 70% P-MDÄ, BASIS TSP!)
  4. Pflanzenverfügbarkeit des P hängt von der P-Bindungsform im Sekundärrohstoff-Dünger ab. Die P-Bindungsform hängt vom Verfahren der P-Recyclierung bzw. dem Aufschluss-Verfahren (Aschen!) ab.
  5. Ackerflächen sind keine Entsorgungsflächen
    - Schwermetalle,
    - nicht mit P belegtes Eisenhydroxid (bindet P, wenn Fe:P >1:1)
- P-Zufuhr aus Sekundärrohstoffdüngern nur, wenn es kurzfristig positiv für P-Ernährung der Kulturen ist!
6. Asche technisch aufbereiten und P verfügbar machen. Festgelegtes bzw. schwer verfügbares P ist im Boden genug vorhanden!

# FAZIT

**7. Methode der P-Fällung bzw. Aufschlussmethoden müssen an eine zukünftige landwirtschaftliche Verwertung angepasst sein**

**8. Die Restriktionen der Düngeverordnung schließen für die Landwirtschaft zukünftig den Einsatz von P-Düngern mit geringer P-Verfügbarkeit aus.**

# P – PFLANZENVERFÜGBARKEIT VON BIOMASSE-ASCHEN

## 3. Versuchsdesign

### Sechs Biomasseaschen (Rohaschen = RA):

| Bezeichnung                               | RA 1                                                                              | RA 2                                                                                | RA 3                                                                                | RA 4                                                                                | RA 5                                                                                | RA 6                                                                                |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Symbol                                    |  |  |  |  |  |  |
| Brennstoff                                | Holz                                                                              | Stroh                                                                               | LaPf-Heu                                                                            | Holz                                                                                | Stroh                                                                               | LaPf-Heu                                                                            |
| Fraktion                                  | BA+ZA                                                                             | BA+ZA                                                                               | BA+ZA                                                                               | BA                                                                                  | BA                                                                                  | BA                                                                                  |
| Entaschung                                | trocken                                                                           | trocken                                                                             | trocken                                                                             | nass                                                                                | nass                                                                                | trocken                                                                             |
| DüMV-Grenzwerte                           | +                                                                                 | +                                                                                   | +                                                                                   | - [Cr <sub>VI</sub> ]                                                               | +                                                                                   | +                                                                                   |
| P-Gehalt [%]                              | 1,3                                                                               | 1,5                                                                                 | 2,4                                                                                 | 0,8                                                                                 | 0,5                                                                                 | 1,9                                                                                 |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Gehalt [%] | 2,9                                                                               | 3,4                                                                                 | 5,4                                                                                 | 1,9                                                                                 | 1,2                                                                                 | 4,4                                                                                 |
| K <sub>2</sub> O wsl. [%]                 | 3,2                                                                               | 14,0                                                                                | 3,3                                                                                 | 2,6                                                                                 | 1,7                                                                                 | 9,9                                                                                 |
| K <sub>2</sub> O wsl. [%]                 | 3,2                                                                               | 14,0                                                                                | 3,3                                                                                 | 2,6                                                                                 | 1,7                                                                                 | 9,9                                                                                 |
| CaO (+MgO) [%]                            | 39 (42)                                                                           | 8 (11)                                                                              | 13 (15)                                                                             | 20 (23)                                                                             | 2 (3)                                                                               | 9 (12)                                                                              |

BA = Brennraumasche, ZA = Zyklonasche

# P – PFLANZENVERFÜGBARKEIT VON BIOMASSE-ASCHEN

## 5. Ergebnisse der Gefäßversuche 5.1. P-Düngung auf Sandboden (niedr. Konz.)

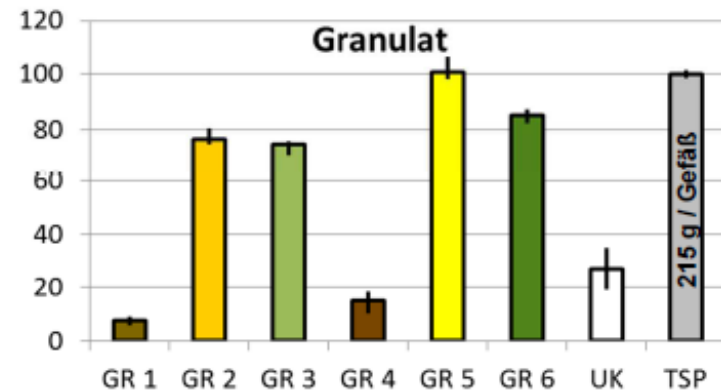
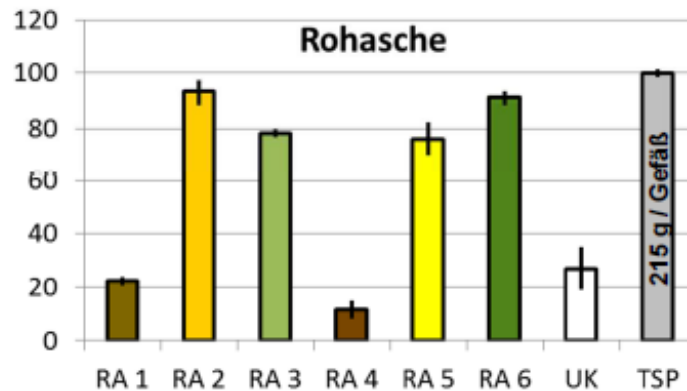
Freistaat  
Thüringen



Landesamt für  
Landwirtschaft und  
Ländlichen Raum

- Vergleichsprodukt: Triple-Superphosphat (TSP)
- Boden: mittel lehmiger Sand (Rudolstadt-Schwarza)
- Konzentrationsstufe I: 0,3 g P je Gefäß

rel. TM-  
Ertrag [%]



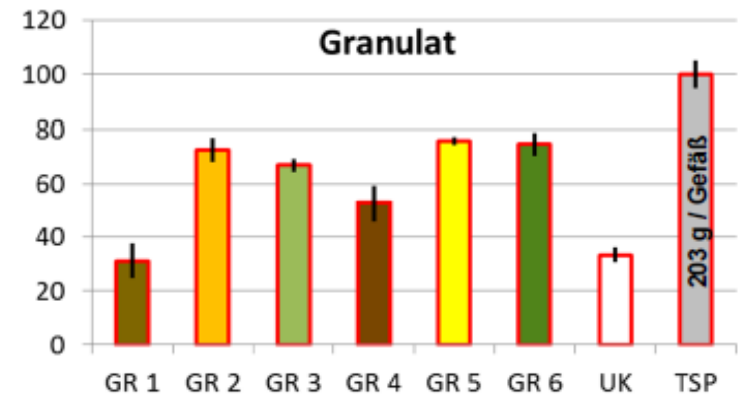
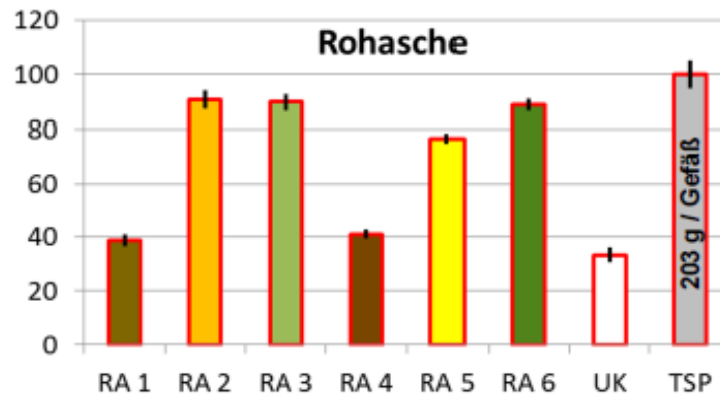
- Halmgutaschen mit knapp 80 bis 100% der P-Düngewirkung von TSP
- Rohaschen und Granulate auf ähnlichem Niveau
- P-Düngewirkung von schlechter als UK – Biomasseproduktion gehemmt

# P – PFLANZENVERFÜGBARKEIT VON BIOMASSE-ASCHEN

## 5. Ergebnisse der Gefäßversuche 5.2. P-Düngung auf Tonboden (hohe Konz.)

- Vergleichsprodukt: Triple-Superphosphat (TSP)
- Boden: mittel- bis schwach schluffiger Ton (Rottdorf)
- Konzentrationsstufe II: 0,9 g P je Gefäß

rel. TM-  
Ertrag [%]



- 10% höherer Ertrag bei hoher im Vergleich zur niedrigen P-Düngungsstufe
- Halmgut-Granulate auf Tonboden in hoher P-Konz. schwächer als Rohaschen
- Holzaschen auf Tonboden und bei hoher P-Düngung auf / über UK-Niveau

**JenaBios GmbH**

**Löbstedter Straße 80  
07749 Jena**

**Dr. Thomas Werner  
Robert Hänsen**

**Tel. (03641) / 3096 502  
Fax. (03641) / 3096 550**

**Email:**  
[t.werner@jenabios.de](mailto:t.werner@jenabios.de)  
[r.haensgen@jenabios.de](mailto:r.haensgen@jenabios.de)

**VIELEN DANK FÜR  
IHRE AUFMERKSAMKEIT**





*Table 2. Phosphorus (P)-solubility of meat and bone meal, meat and bone meal ash and bone meal in various chemical extractants*

| <b>Relative P-Löslichkeit<br/>(% des Mineralsäure-<br/>löslichen P) in...</b> | <b>Fleischknochenmehl<br/>(n=7)</b> | <b>Asche aus<br/>Fleischknochenmehl<br/>(n=3)</b> | <b>Knochenmehl<br/>(n=2)</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|
| Mineralsäure                                                                  | 100                                 | 100                                               | 100                          |
| Ameisensäure                                                                  | 86 (61-100)                         | 57                                                | 76                           |
| Zitronensäure                                                                 | 60 (36-88)                          | 47                                                | 57                           |
| Neutrales Ammoniumcitrat                                                      | 54 (33-86)                          | 18                                                | 27                           |
| Alkalisches Ammoniumcitrat                                                    | 18 (13-25)                          | 6                                                 | 8                            |
| Wasser                                                                        | 1,7 (0,9-3)                         | 0                                                 | 0,6                          |

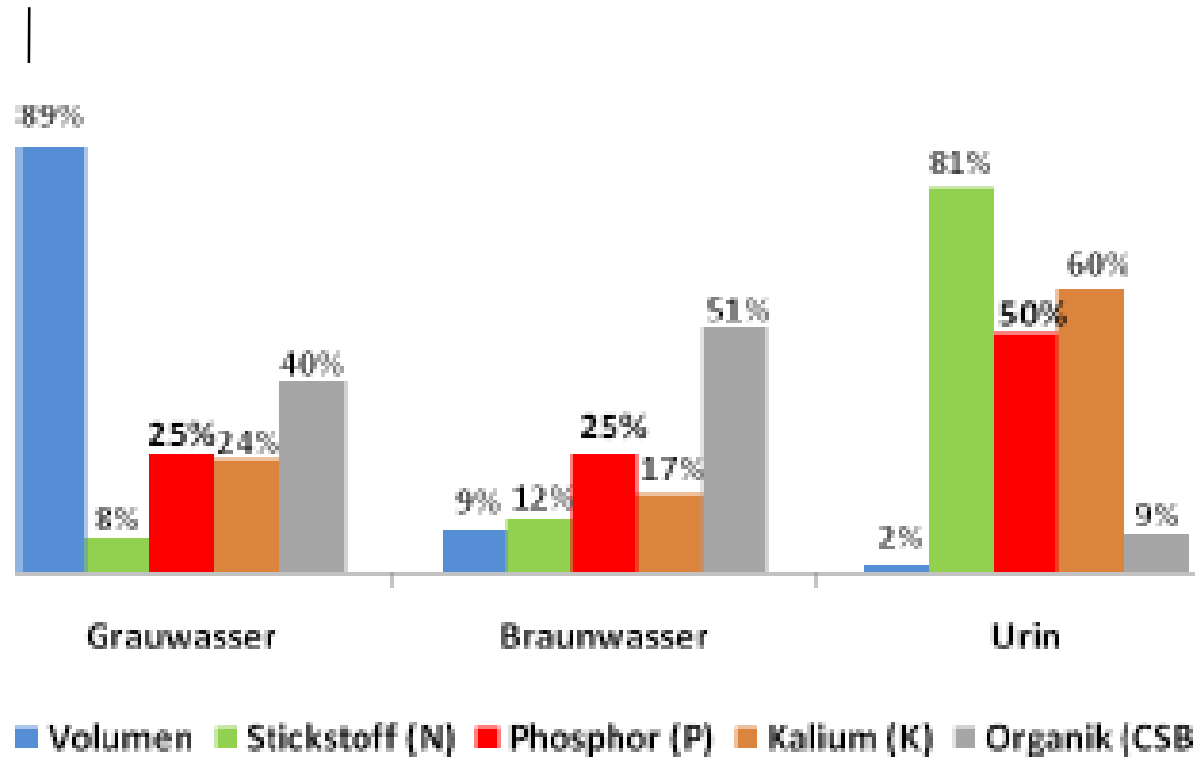
*Table 1. Mean nutrient contents of rendering by-products in comparison to other organic fertilizers*

|                                                          | Nährstoffgehalte (in % der Trockenmasse) |     |     |               |     |      |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----|-----|---------------|-----|------|
|                                                          | N                                        | P   | K   | Ca            | Mg  | S    |
| <u>Klärschlamm</u> (zur landwirtschaftlichen Verwertung) | 4                                        | 2,3 | 0,4 | 8<br>(0,4-34) | 0,5 | 0,7  |
| <u>Wirtschaftsdünger</u>                                 |                                          |     |     |               |     |      |
| Gülle Rind                                               | 9,7                                      | 0,8 | 5,9 | 1,7           | 0,7 | 0,6  |
| Gülle Schwein                                            | 8,7                                      | 2,4 | 6,3 | 3,3           | 1,2 | 0,8  |
| Stallmist Rind                                           | 2,8                                      | 0,9 | 2,6 | 2,2           | 0,7 | 0,5  |
| Stallmist Schwein                                        | 3                                        | 2,8 | 4,6 | 3,9           | 1,5 | 0,6  |
| Stallmist Broiler                                        | 4,7                                      | 4,7 | 2,6 | 2,4           | 0,7 | 0,6  |
| <u>Kompost</u>                                           |                                          |     |     |               |     |      |
| Bioabfallkompost                                         | 1,5                                      | 0,4 | 1   | 3             | 0,5 | 0,7  |
| Grüngutkompost                                           | 1,2                                      | 0,2 | 0,8 | 3,7           | 0,5 | 0,6  |
| <u>Gärsubstrate</u>                                      |                                          |     |     |               |     |      |
| Flüssig                                                  | 11                                       | 2   | 5   | 4             | 0,7 | k.A. |
| Fest                                                     | 2,1                                      | 0,9 | 1   | 7             | 0,6 | k.A. |
| <u>Schlachtnebenprodukte</u>                             |                                          |     |     |               |     |      |
| Tiermehl (Kat. 2)                                        | 8,8                                      | 3,1 | 0,3 | 6             | 0,3 | 0,3  |
| Fleischknochenmehl (Kat. 3)                              | 7,2                                      | 6,1 | 0,4 | 12            | 0,3 | 0,3  |
| Knochenmehl                                              | 5                                        | 7,5 | 1   | 14            | 0,4 | 0,4  |
| Tiermehlflasche                                          | ---                                      | 14  | 1,2 | 30            | 0,9 | 1,3  |

# WARUM? – GESETZLICH VORGESCHRIEBEN

Die am 29. Juni 2017 vom Deutschen Bundestag beschlossene Verordnung zur **Neuordnung der Klärschlammverwertung** ist am 3. Oktober 2017 in Kraft getreten. Sie wird in den kommenden Jahren einschneidende Veränderungen bei der Nutzung anfallender Klärschlämme in Deutschland mit sich bringen.

Die bodenbezogene Klärschlammaufbringung wird weitgehend beendet und eine **Pflicht zur Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm eingeführt**. Die Neufassung der Verordnung sieht vor, dass nach einer Übergangsfrist von 12 Jahren bzw. 15 Jahren **für Kläranlagen über 100.000 bzw. über 50.000 Einwohnerwerten Phosphor aus dem Abwasser, dem Klärschlamm oder der Klärschlammasche zurückgewonnen werden muss**. Kleineren Abwasserbehandlungsanlagen ist es weiterhin unter strengen Bedingungen erlaubt, den **Klärschlamm auf die Felder zu bringen**.



Verteilung von Volumen, Nährstoffen und Organik in den Teilströmen von häuslichem Abwasser (Modifiziert nach DWA, 2008; BÖHM et al., 2002; HILLENBRAND, 2009)

|                    |                 |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                     |
|--------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Schlamm-<br>wasser | Adsorption      | <b>P-ROC (PHOPHOS)</b><br>Rührreaktor mit CSH gefüllt, Batchbetrieb (Austausch nach 200-400h Betriebszeit)<br>CaP, CaP aus CSH halbtchn. Versuch erfolgt                                                                                    | <b>RECYPHOS</b><br>Festbettreaktor im Ablauf KKA, Austausch des Moduls nach 3-4 Monaten, Regeneration und P-Rückgewinnung an Sammelbehälter (aufbereiten!)<br>halbtchn. Versuch erfolgt                                         | <b>PHOSIEDI</b><br>Ionenaustauscher, Regeneration nach x h, Rückgewinnung aus Retentat<br>CaP? (Dünger)<br>Laborversuch erfolgt     |
|                    | Fällung         | <b>PHOSTRIP</b><br>anaerobe P-Rücklösung aus Bi-P-Schlamm, Abtrennung, CaP-Fällung aus Klarwasser, Abtrennung CaP<br>CaP (Dünger) full scale teilw. erfolgt.                                                                                | <b>PRISA</b><br>MAP-Fällung aus Schlammwasser und Rücklösung aus Vorwinder (Klarwasser), MAP Abtrennung<br>MaP (Dünger) halbtchn. Versuch erfolgt.                                                                              |                                                                                                                                     |
|                    | Pellets         | <b>CRYSTALACTOR</b><br>Wirbelkammerreaktor, Kristallisation an Impfmaterial (Sand), beladene Kister sinken und können am Boden abgezogen werden<br>CaP, MaP (Dünger) full scale mehrf. erfolgt.                                             | <b>PEARL (Fa. Oetari)</b><br>Wirbelkammerreaktor, Kristallisation an Impfmaterial (Sand), beladene Kister sinken und können am Boden abgezogen werden<br>MAP (Dünger) full scale mehrf. erfolgt.                                |                                                                                                                                     |
| Faul-<br>schlamm   | ohne<br>Laugung | <b>BRUNNER VERFAHREN (Lizenz: ABPRRO)</b><br>Magnesiumdosierung in den ausgefauten Schlamm, pH Erhöhung durch CO <sub>2</sub> -Strippen, Abtrennung des MAP aus dem Faulschlamm<br>MAP full-scale teilweise erfolgreich                     | <b>FIX-PHOS</b><br>Dosierung von CSH in Zulauf zur Faulung, mind. 10 Tage gem. Faulung Schlamm und CSH, CaP Kristallisation auf CSH, Abtrennung nach der Faulung<br>CaP auf CSH im Laborvers. erfolgreich                       |                                                                                                                                     |
|                    | Mit<br>Laugung  | <b>SEABORNE</b><br>Rücklösung Faulschlamm pH 1,5; Abtrennung der Schwermetalle (sulfidische Fällung, pH-Anhebung (NaOH)), Magnesiumdosierung<br>MAP (Dünger) Full-scale teilw. erfolgreich                                                  | <b>STUTTGARTER VERFAHREN</b><br>Rücklösung Faulschlamm pH <2; Abtrennung der Schwermetalle: Komplexierung mit Zitronensäure; pH-Anhebung (NaOH), MgO/MgCl <sub>2</sub> -Dosierung<br>MAP (Dünger) Full-scale teilw. erfolgreich |                                                                                                                                     |
|                    |                 | <b>LOPROX/ PHOXAN</b><br>Niederdruck-Plasmaoxidation des Faulschlammes (pH 1,5), Einsatz P-durchlässiger Membran<br>Phosphorsäure Laborvers. uche teilw. erfolgreich                                                                        | <b>AQUA REG</b><br>374°C, 200 bar<br>FeP, AlP oder CaP Laborvers. (P-Rücklösung)<br>Full-scale Schlammkond.                                                                                                                     |                                                                                                                                     |
|                    |                 | <b>GAMBI</b><br>150-170°C, 4-6 bar 20 min; Faulschlammbehandlung, Hygienisierung, bessere Entwässerbarkeit<br>FeP, AlP, CaP Laborvers. (P-Rücklösung)<br>Full Scale (Schlammkond.)                                                          | <b>KREPRO</b><br>Versäuerung, Hydrolyse bei 140°C, 4 bar, 15 min, Eisenfällung<br>FeP (aufbereiten!)                                                                                                                            |                                                                                                                                     |
|                    |                 | <b>SEPHOS</b><br>Laugung bei pH 1; pH-Anhebung; sequentielle Fällung der Schwermetalle; dann AlP; ggf. weitere Lösung von AlP in NaOH und Fällung von CaP<br>AlP Laborversuch erfolgt                                                       | <b>SESAL-PHOS</b><br>Lösung Co-Ionen bei pH 3, alkalische Lösung von AlP; Schwermetalle im Rückstand, Fällung von CaP<br>CaP Laborversuch erfolgt                                                                               | <b>PASCH</b><br>Salzsäure-Rücklösung, Solventextraktion (Mixer/ Setzler) Phosphatfällung<br>CaP (Dünger) halbtchn. Maßstab erfolgt. |
|                    |                 | <b>BIOBACHING</b><br>spezielle Bakterien lösen P aus Asche, P wird in Bio-P-Bakterien angelagert, kann nach Rücklösung ab MAP gefallt werden<br>MAP (Dünger) Laborversuch erfolgt                                                           | <b>BIOCON</b><br>Schwefelsäureaufschluss, Schwermetallentfernung über Ionenaustauscher<br>Phosphorsäure halbtchn. erprobt                                                                                                       |                                                                                                                                     |
| Asche              | thermisch       | <b>MEPHREC</b><br>Klärschlamm und Asche werden zu Briquets geformt und im Hochofen verbrannt, die Schlacke ist ein CaP, das die Düngemittelrichtlinie enthält (Pflanzenverfügbarkeit nach nicht getestet)<br>CaP (Dünger) halbtchn. erfolgt | <b>ASHDEC</b><br>Asche wird im Drehofen erhitzt, Chloridische Entfernung von Schwermetallen (Rauchgas)<br>Dünger (Pflanzenverfügbarkeit ?) halbtchn. erfolgt                                                                    |                                                                                                                                     |
|                    |                 | <b>P-INDUSTRIE</b><br>Düngemittelherstellung<br>Etabliertes industrielles Verfahren                                                                                                                                                         | <b>THERMPHOS</b><br>Etabliertes industrielles Verfahren zur Phosphorherstellung                                                                                                                                                 |                                                                                                                                     |

Schwermetalle  
verbleiben im  
Schlamm

Schwermetalle  
gehen in  
Lösung

Schwermetalle  
gehen in die  
Gasphase