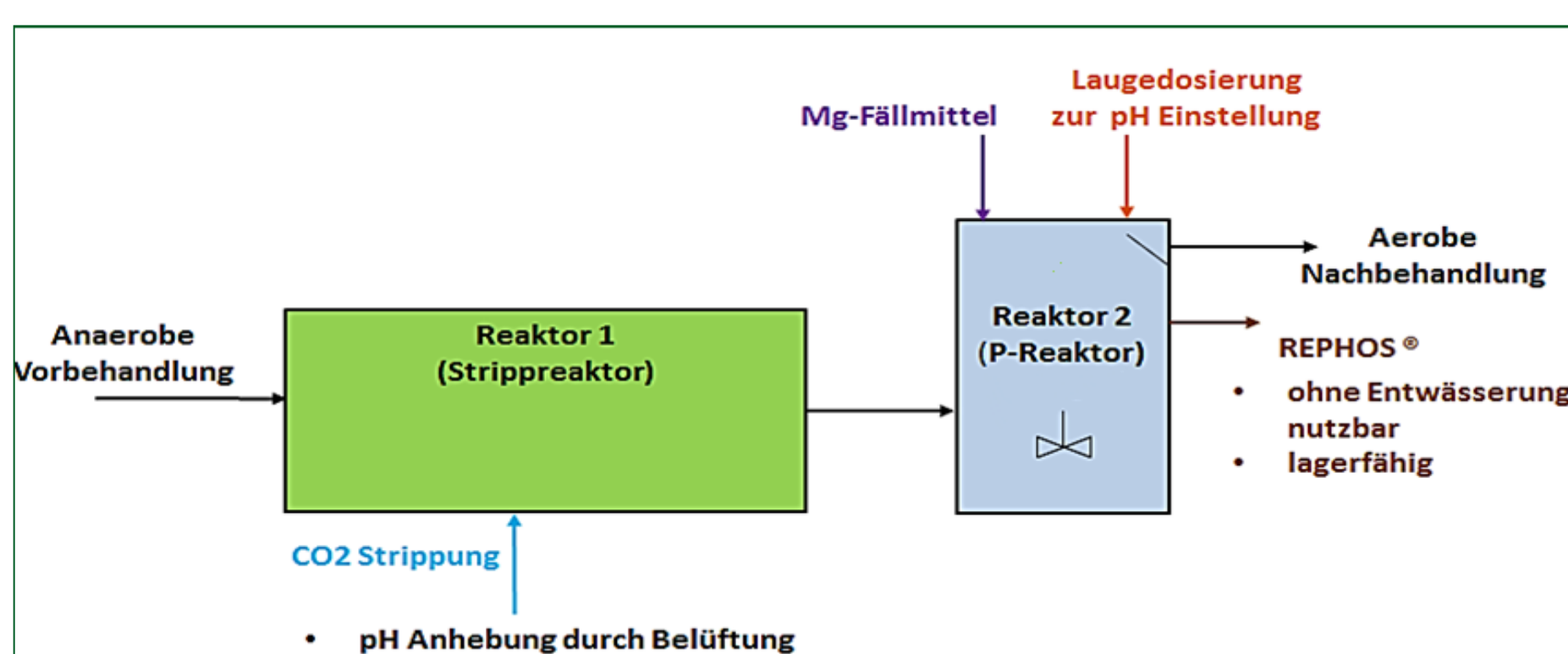


## MASTERARBEIT LABOR- UND HALBTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMIERUNG DES P-RECYCLINGS AUS MOLKEREIABWASSER

**Einleitung:** Phosphor ist essentiell für alle Lebewesen. Diese Ressource ist jedoch auf der Erde begrenzt. Abhängig von der Betrachtung und der Abbauwürdigkeit gehen Experten von Verfügbarkeitszeiten zwischen 40 und 400 Jahren aus. Da es zu Phosphor keine Alternative gibt, wird die Phosphorknappheit zu weltweit gewaltigen Problemen und Krisen, wie z.B. eine massive Bedrohung der Welternährung, führen. Daher ist es von großer Bedeutung mit dieser begrenzten Ressource nachhaltig umzugehen, und zwar durch Phosphor-Recycling.

### Das REPHOS®-Verfahren

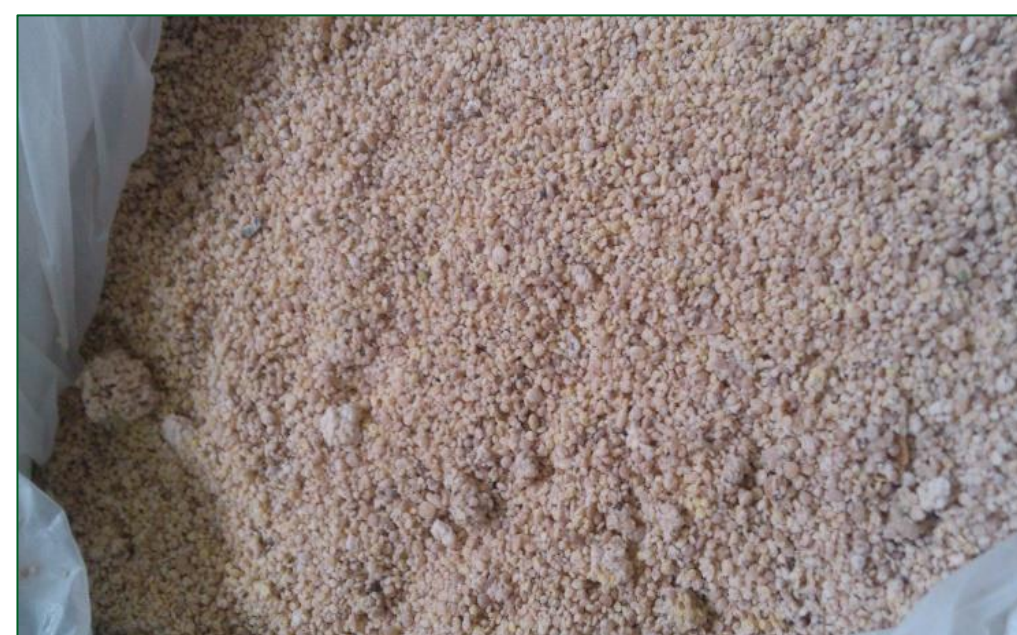
- Der Großteil des in verschiedenen Bereichen benutzten Phosphors gelangt schließlich ins Gewässer bzw. Abwasser. Deswegen werden verschiedene Verfahren zur Rückgewinnung des Phosphors aus kommunalem, industriellem Abwasser bzw. Klärschlamm entwickelt.
- Das REPHOS®-Verfahren gehört zu diesen Verfahren und beschäftigt sich mit der Phosphorrückgewinnung aus industriellen Abwasserströmen.
- Die Phosphorrückgewinnung erfolgt zwischen der anaeroben Vorbehandlung und der aeroben Nachbehandlung.



### Verfahrensschema des REPHOS®-Verfahrens

- Phosphor wird in Form von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP oder Struvit genannt) ausgefällt und dann zurückgewonnen. Rückgewonnenes REPHOS®-Produkt wird als Düngemittel in der Landwirtschaft verwendet.
- Im Rahmen der Masterarbeit wurden Verfahren zur Verbesserung der Ausfällung von Phosphor durch die Nutzung von verschiedenen Fällungsmitteln untersucht. Die untersuchten Fällungsmittel sollen auch als Alternative zu Magnesiumchlorid dienen. Folgende Varianten werden als Alternative zu Magnesiumchlorid untersucht:

- Magnesiumoxid,
- Magnesiumhydroxid,
- Magnesiumsulfat,
- pH-Wert-Erhöhung ohne Zugabe von Fällmitteln.



Das REPHOS®-Produkt

### Laborversuche

- Fünf Fällungsversuche wurden im Labor durchgeführt.

- Die Einstellung des pH-Wertes erfolgte durch die Dosierung von Natronlauge.

- Bei jedem Versuch wurden die Phosphatelimination in % sowie die Eliminierungsform von Phosphat bestimmt.



Proben des fünften Versuches

Versuch	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Fällmittel	Mg(OH) <sub>2</sub>	ohne	MgO	MgSO <sub>4</sub>
pH-Wert-Einstellung	Nein	Ja	Ja	Ja
Eliminierungsform von Phosphat	MAP	Calciumphosphate	Magnesiumphosphat	Calciumphosphate
PO <sub>4</sub> -P-Elimination (%)	69.3	65.7	78.2	48.9

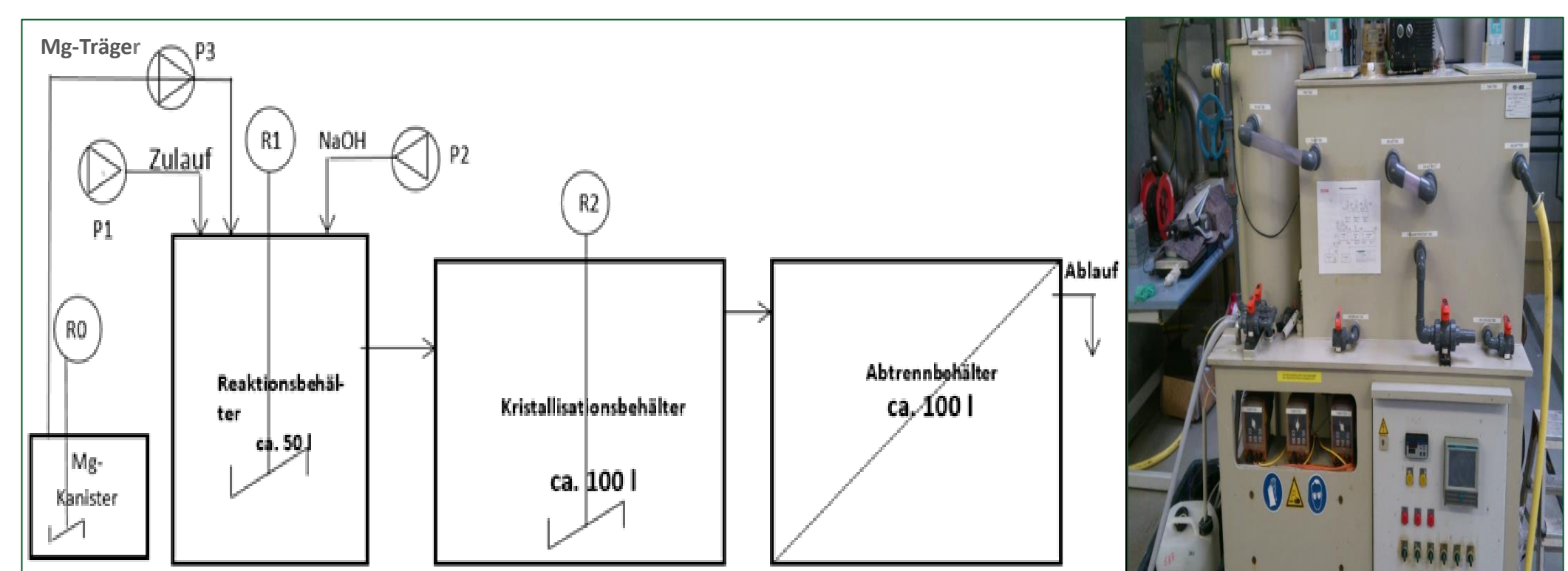
Zusammenfassung der Ergebnisse von vier Laborversuchen

### Fazit und Ausblick

- Die höchste Phosphatelimination wird durch die Zugabe Mg(OH)<sub>2</sub> erreicht.
- Die Untersuchung der Magnesiumhydroxid-Zugabe großtechnisch ist empfehlenswert.
- pH-Erhöhung des Abwassers ohne Zugabe von Fällmitteln ist die wirtschaftlichste Variante und kann ebenfalls eine Alternative zu MgCl<sub>2</sub> sein.
- Magnesiumsulfat hat kaum eine Wirkung auf die Phosphatelimination.
- Die Rückhaltung der gebildeten Feststoffe in der Versuchsanlage ist problematisch.

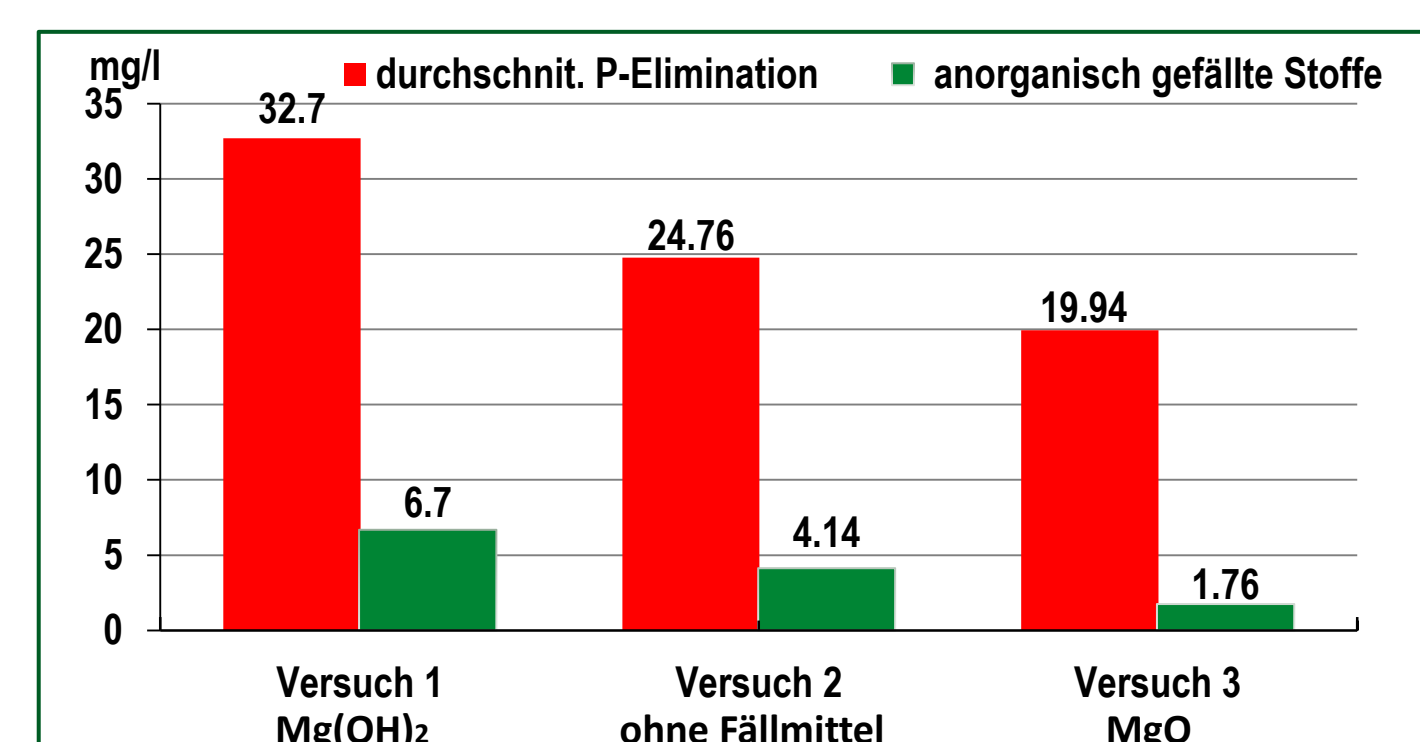
### Umsetzungsversuche

- Um den Rückgewinnungsgrad des eliminierten Phosphates sowie die Phosphatelimination für längere Zeit zu ermitteln, wurden drei Fällungsversuche in einer Versuchsanlage umgesetzt.
- Jeder Umsetzungsversuch dauert ca. 15 Tage.



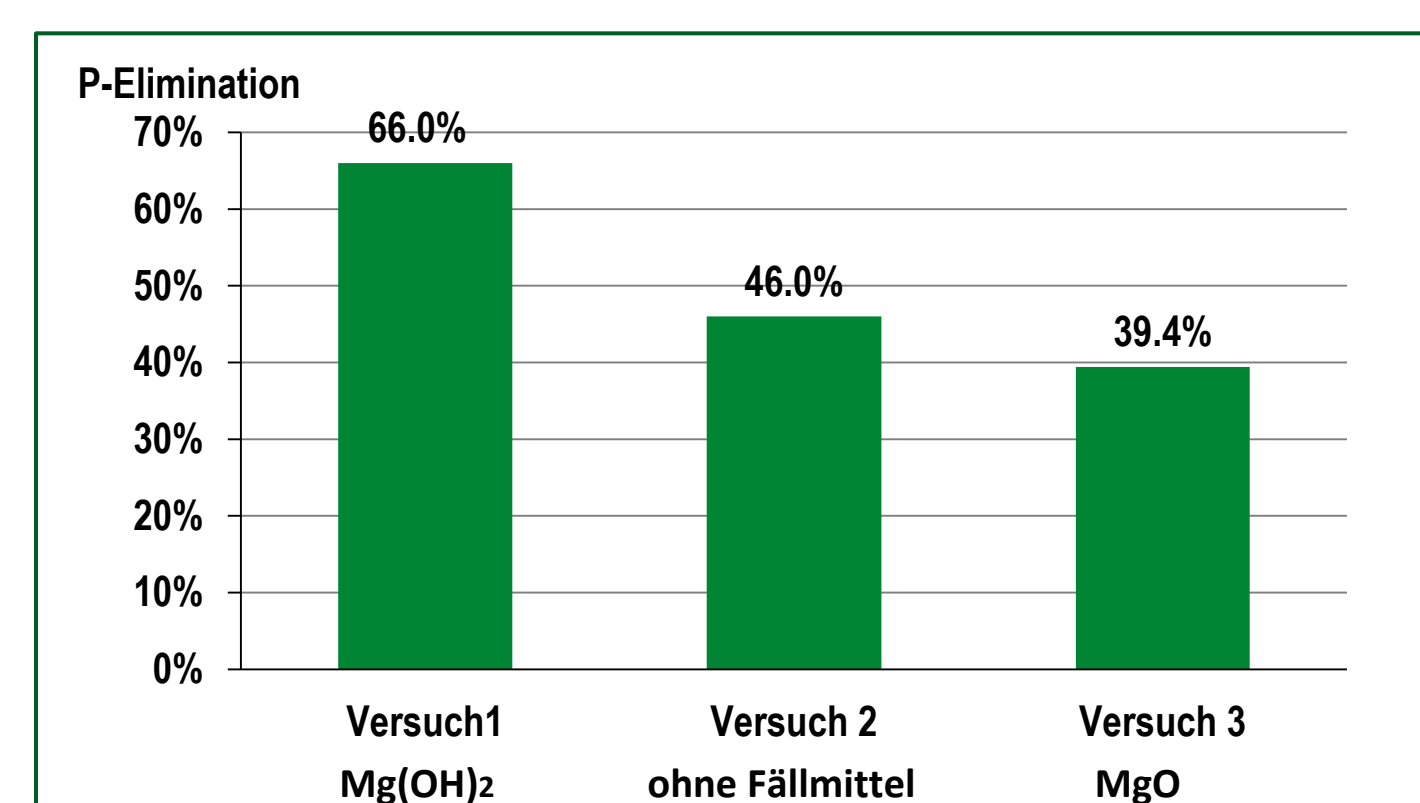
Darstellung der Versuchsanlage

- Geringer Teil des eliminierten Phosphates wird in der Versuchsanlage zurückgewonnen.



Die durchschnittliche P-Elimination und anorganisch gefällte Stoffe in der Versuchsanlage im Vergleich

- Die höchste P-Elimination, bei den Umsetzungsversuchen, wird durch Zugabe von Mg(OH)<sub>2</sub> (Versuch 1) erreicht.



P-Elimination in % bei den Umsetzungsversuchen

### Ökonomische Analyse

- Berechnung der Kosten (Chemikalien- und Betriebskosten) und des Gewinnes (durch den Verkauf der entstandenen Feststoffe) der verschiedenen Varianten.
- Variante 2 (pH-Erhöhung ohne Zugabe von Fällmitteln) ist wirtschaftlicher als die vorhandene Variante.

Variante	Variante 0 MgCl <sub>2</sub> (Referenz)	Variante 1 Mg(OH) <sub>2</sub>	Variante 2 pH-Erhöhung
Kosten: €/m <sup>3</sup>	0.942	1.388	0.930

Zusammenfassung der ökonomischen Analyse