

## Einleitung

Wie hinreichend bekannt ist, werden die Phosphorvorkommen, je nach Schätzung, in 50 bis 150 Jahren aufgebraucht sein (CORDELL et al. 2009). Dies stellt die Landwirtschaft vor ein großes Problem, da Phosphor (P) als Pflanzennährstoff nicht substituierbar ist. Deshalb muss mit dieser Ressource schonend umgegangen und diese als Nährstoff im Kreislauf gehalten werden. Ein Ansatz, um P-Düngemittel einzusparen ist, sich die Fraktion im Boden näher anzusehen, die aus organisch gebundenem P besteht. Sie macht einen Anteil von 20 bis 80 % des Gesamtphosphors aus (DALAL 1977). Diese Fraktion kann von verschiedenen Kulturpflanzen als P-Quelle genutzt werden. Jedoch kann sie nicht mit Routine-Bodenanalysemethoden erfasst werden (STEFFENS et al. 2010). D.h. es muss untersucht werden, welche Pflanzenarten sich gut organisches P aneignen können und warum. Zweitens muss erforscht werden, welche Bodenfaktoren den Umsatz von organischem P beeinflussen, und drittens sollte eine einfache Methode entwickelt werden, mit der verfügbares organisches P erfasst wird.

Die vorliegende Studie verfolgt daher einerseits das Ziel, Gründe für die Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzenarten aufzuzeigen. Als Pflanzenarten wurden Raps, der organisches P sehr gut nutzen konnte, und Kartoffel, die eine schlechte Ausnutzung von organischem P zeigte, ausgewählt. Andererseits sollten Faktoren charakterisiert werden, die Einfluss auf die Pflanzenverfügbarkeit von organischem P im Boden haben.

## Material und Methoden

Für die Anzucht in Wasserkultur wurden Raps (*Brassica napus* L. cv. Carousel) und Kartoffelknollen (*Solanum tuberosum* L. cv. Belana bzw. cv. Marabel) vorgekeimt. Nach 4 Wochen konnten die Keimlinge von der Mutterknolle vorsichtig abgedreht werden und in die  $\frac{1}{4}$  konzentrierte Nährlösung überführt werden. Der Raps wurde nach 11 Tagen überführt. Der Wasserkulturversuch wurde in einer Klimakammer unter festgelegten Bedingungen durchgeführt (Tag 16 h, Licht  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ,  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , 60 % rel. Luftfeuchte; Nacht 8 h,  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , 70 % rel. Luftfeuchte).

Die Konzentration der Nährlösung wurde schrittweise erhöht. Nach Erreichen der vollen Konzentration (Tab. 1) wurde die P-Konzentration ebenfalls schrittweise auf  $1 \mu\text{M}$  herabgesetzt. Nach 3 Wochen in Nährlösung wurden die Pflanzen *in vivo* auf ihre Phosphataseaktivität getestet (modifiziert nach BEIBNER, 1997). Hierzu wurden die Pflanzen aus der Nährlösung entnommen, die Wurzeln in  $1 \text{ mM CaSO}_4$  abgespült und anschließend in mit Alufolie umwickelte, belüftete Bechergläser überführt, die  $140 \text{ mL}$  der jeweiligen Substratkonzentration (*p*-Nitrophenylphosphat (NPP)) enthielten. Nach 10 Minuten Inkubation wurde ein Aliquot entnommen und in ein basisches Milieu überführt. Dadurch konnte das

Nitrophenolat (NP), das zweite Produkt von NPP neben Phosphat nach Hydrolyse durch die Phosphatase, photometrisch gemessen werden. Mit Hilfe dieser Messwerte konnten im Anschluss mittels DynaFit (KUZMIC, 1996) Enzymkinetiken errechnet werden.

Tabelle 1: Nährlösungszusammensetzung

Nährstoff	Nährlösung (mM)	Nährsalz
N	2,00	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
N	1,00	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
Mg	1,00	MgSO <sub>4</sub>
Cl	0,05	KCl
K	1,50	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
P	0,250 (anfangs)	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
	0,025 (Übergang)	
	0,001 (Mangel)	
Fe	0,1	Fe(III)-EDTA
Mn	0,001	MnSO <sub>4</sub>
Zn	0,001	ZnSO <sub>4</sub>
Cu	0,0005	CuSO <sub>4</sub>
Mo	0,00002	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub>
B	0,01	H <sub>3</sub> BO <sub>4</sub>

Für die Charakterisierung der Faktoren, die auf die organisch gebundene P-Fraktion einwirken, wurde ein aerober Bodeninkubationsversuch angelegt. Dafür wurden fünf verschiedene Bodentypen ausgewählt, um zu sehen, ob sich unterschiedliche Verhaltensweisen bei der Mineralisierung nachweisen lassen: Luvisol Unterboden (pH 7,1; C<sub>org</sub> 0,22 %), Podsol (pH 5,7; C<sub>org</sub> 2,64 %), Luvisol Oberboden (pH 7,2; C<sub>org</sub> 1,75 %), Vertisol (pH 5,2; C<sub>org</sub> 2,05 %) und Ferralsol (pH 5,5; C<sub>org</sub> 0,33 %). Der Versuch wurde in Mitscherlichgefäßen durchgeführt.

Die Gefäße wurden unter kontrollierten Bedingungen (ohne Licht; 16 h bei 21 °C und 60 % rel. Luftfeuchte sowie 8 h bei 16 °C und 70 % rel. Luftfeuchte) bei 50% Wasserhaltekapazität für insgesamt 140 Tage inkubiert. Nach der Hälfte des Zeitraumes wurde der Versuch geteilt und Glucose (10 g kg<sup>-1</sup> Boden) als weitere

Variante hinzugefügt. Die gezogenen Bodenproben wurden auf CAL-extrahierbares P analysiert.

Folgende Nährstoffgaben wurden jeder Variante zugeführt:

Nährstoff	Form	mg Nährstoff kg <sup>-1</sup> Boden
N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	160
K	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	400
Mg	MgSO <sub>4</sub> × 7 H <sub>2</sub> O	50
B	H <sub>3</sub> BO <sub>4</sub>	0,46
Mo	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> × 4 H <sub>2</sub> O	0,11
Mn	MnSO <sub>4</sub> × H <sub>2</sub> O	40
Zn	ZnSO <sub>4</sub> × 7 H <sub>2</sub> O	10
Cu	CuSO <sub>4</sub> × 5 H <sub>2</sub> O	5

Der Versuch umfasste die nachstehenden Varianten in vierfacher Wiederholung:

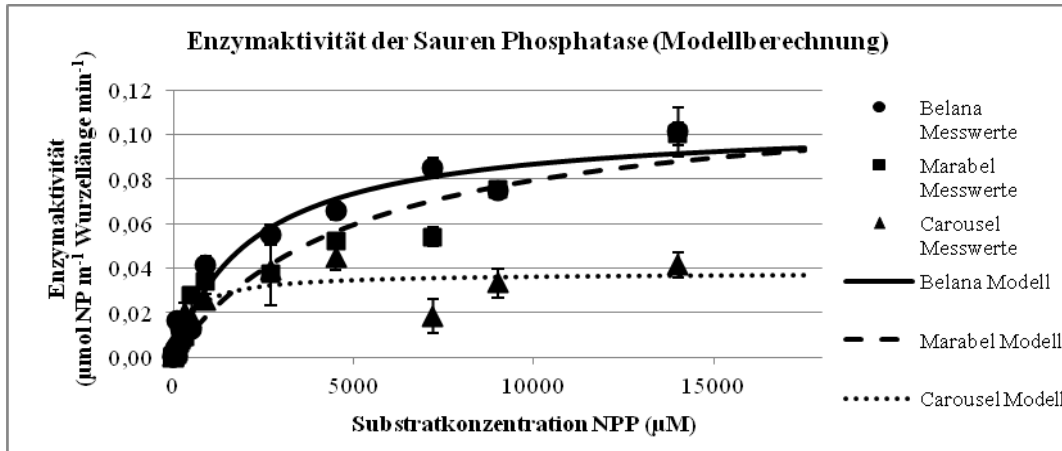
- P<sub>0</sub> als Kontrolle
- Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (100 mg P kg<sup>-1</sup> Boden)
- Na-Phytat (100 mg P kg<sup>-1</sup> Boden)

## Ergebnisse

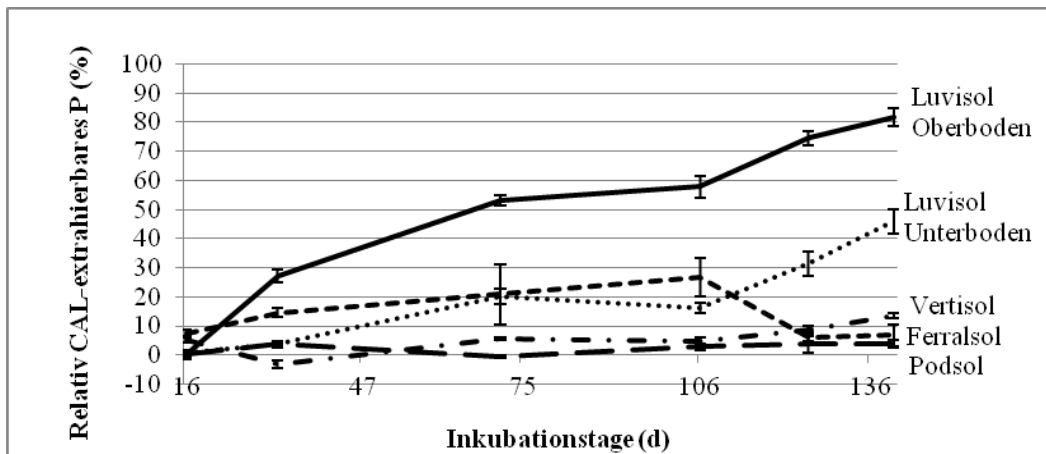
Die Phosphatasekinetik der Kartoffelsorten unterscheidet sich deutlich von der des Rapses (Abb.1). Der V<sub>max (Raps)</sub>-Wert ist mit 0,04 μmol NP m<sup>-1</sup> Wurzellänge min<sup>-1</sup> signifikant niedriger als der V<sub>max (Kartoffel)</sub>-Wert mit 0,11 bzw. 0,12 μmol NP m<sup>-1</sup> Wurzellänge min<sup>-1</sup>.

Der k<sub>m (Raps)</sub>-Wert liegt ebenfalls mit 467 μM NPP um das 4,4 bis 10fache signifikant niedriger als der k<sub>m (Kartoffel)</sub>-Wert mit 2205 μM NPP (Belana) bzw. 5069 μM NPP (Marabel).

Der Bodeninkubationsversuch zeigt verschieden starke Mineralisationsgrade des Na-Hexaphytats in den unterschiedlichen Bodentypen.



**Abb. 1:** Aktivität der Gesamtphosphatase in Abhängigkeit von unterschiedlichen Substratkonzentrationen. Modellberechnung mit DynaFit (Kuzmic, 1996). NP = Nitrophenolat; NPP = p-Nitrophenylphosphat. Dargestellt sind Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler von drei Wiederholungen pro Messpunkt.



**Abb. 2:** Einfluss von verschiedenen Bodentypen auf das relativ CAL-extrahierbare P aus Na-Hexaphytat (ohne Glucose). 100% = CAL-P der  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  Variante nach Abzug der Kontrolle.

$$\frac{c(P_{\text{Na-phytate}}) - c(P_{\text{control}})}{c(P_{\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2}) - c(P_{\text{control}})} \times 100\%$$

**Abb. 3:** Formel zur Berechnung des relativ CAL-extrahierbaren P.

Der Luvisol-Oberboden (pH 7,2;  $C_{\text{org}}$  1,75 %) konnte als einziger der fünf Böden das organische P (Na-Hexaphytat) soweit mineralisieren, dass er im Vergleich zu