



### **EIP Projekt Bravö**

**Vergleich verschiedener Extraktionsmethoden für pflanzenverfügbares Phosphat:**

**Welche Methode ist am besten geeignet für viehlose oder vieharme Biobetriebe?**

**Autoren:**

Jasmin Heichel

Daniel Wanke

Dr. Sabine Zikeli\*

\* Kontakt: [sabine.zikeli@uni-hohenheim.de](mailto:sabine.zikeli@uni-hohenheim.de)

## Einleitung

In Abhängigkeit der lokal vorherrschenden Bodentypen und deren Eigenschaften werden weltweit verschiedene Extraktionsmethoden eingesetzt, um den Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor (P) in landwirtschaftlich genutzten Böden zu messen und basierend darauf die Böden nach Gehaltsklassen einzuteilen und Düngeempfehlungen zu geben. Die eingesetzten Extraktionsmittel sollen selektiv die P-Verbindungen aufschließen, die auch von Pflanzen genutzt werden können. Das heißt, sehr schwer lösliche Verbindungen wie zum Beispiel P-Verbindungen im Ausgangsgestein werden nicht erfasst, da diese auch von Pflanzen nur sehr eingeschränkt genutzt werden können. Je nach pH-Wert des Bodens wird P in unterschiedlichen Formen festgelegt und ist dann nicht mehr oder nur noch schwer pflanzenverfügbar. Dabei gilt: Je saurer der pH-Wert desto stärker die Bindung und je alkalischer der pH-Wert, desto stärker die Bindung. Im sauren Bereich bindet sich das P hauptsächlich an Fe- und Al-Oxide, während sich im alkalischen Bereich Ca-Phosphate bilden (Amelung et al., 2018).

In Deutschland wird die Extraktion des pflanzenverfügbaren Phosphors mit einer Lösung aus Calcium-Acetat-Lactat (CAL) durchgeführt. Generell ist der Zusammenhang zwischen CAL-extrahierbarem („pflanzenverfügbarem“) P und Düngebedarf nicht sehr eng, da andere Standortfaktoren (Boden, Kulturpflanze, Klima) eine große Rolle spielen. Daher sind die Gehaltsklassen als Grundlage für die Düngeempfehlungen verhältnismäßig weit gefasst. Allerdings deuten neuere Studien darauf hin, dass die Extraktionsverfahren zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren P erneut evaluiert werden sollten. Die letzte Prüfung fand zu einem Zeitpunkt statt, zu dem auf vielen landwirtschaftlichen Flächen ein P-Überschuss vorlag (Nawara et al., 2017). Aktuell schlägt die VDLUFA (2018) eine Neufassung der Gehaltsklassen auf niedrigerem Niveau vor, um neuen Erkenntnissen aus der Wissenschaft und gestiegenen Anforderungen an den Umweltschutz Folge zu leisten. Diese Empfehlung wird bisher jedoch noch nicht in den Düngeempfehlungen der Bundesländer berücksichtigt. Damit deutet sich schon die Problematik an, die für den ökologischen Landbau besteht: Im ökologischen Landbau werden keine leicht löslichen P-Düngemittel eingesetzt, sondern die P-Zufuhr erfolgt vor allem durch Wirtschaftsdünger, Komposte und organische, im ökologischen Landbau zugelassene, Handelsdüngemittel. Aufgrund dessen besteht die Möglichkeit, dass das heute genutzte Extraktionsverfahren mit CAL den Gehalt an pflanzenverfügbarem P unterschätzt, weil bestimmte, vor allem organisch gebundene P-Fractionen, mit diesen Extraktionsmitteln nicht erfasst werden.

Im Rahmen des Projektes „EIP BRAVÖ“ zeigte sich, dass auf den Partnerbetrieben, die langjährig viehlos oder vieharm ökologisch wirtschaften, viele Flächen unzureichend mit P versorgt sind und in die die Gehaltsklassen A und B eingruppiert werden. Dies führt laut Aussagen der Betriebsleiter jedoch nicht zu einem Ertragsrückgang der Ackerkulturen.

Um die Ursachen dieser Diskrepanz zu untersuchen, wurde mit Bodenproben der Partnerbetriebe ein Methodenvergleich mit verschiedenen, in unterschiedlichen Ländern angewandten Extraktionsverfahren für pflanzenverfügbares P durchgeführt. Die Ergebnisse daraus wurden zusätzlich mit der P-Ausnutzung durch Weidelgras (*Lolium perenne*) verglichen, welche in einem Gefäßversuch ermittelt wurde. Außerdem wurden die beiden am häufigsten in deutschen Laboren eingesetzten Methoden zur P-Bestimmung in den Extrakten verglichen, um zu ermitteln, ob die Messmethode die Ergebnisse der P-Bestimmung beeinflusst.

## Material und Methoden

Von sechs EIP BRAVÖ-Partnerbetrieben, einem Standort des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums (LTZ) Augustenberg und einem weiteren Landwirtschaftsbetrieb wurden insgesamt 22 Mischbodenproben aus 15-25 Einstichen mit einem Bohrstock (0-30 cm Tiefe) genommen. Die Böden der LTZ Augustenberg und des externen Betriebs wurden der Untersuchung hinzugefügt, um eine größere Variabilität in den P-Gehalten der Bodenproben zu erhalten. Auf den EIP-BRAVÖ Partnerbetrieben wurden jeweils drei verschiedene Ackerschläge (niedrigster-, mittlerer- und höchster P-Gehalt nach der letzten Grundanalyse) beprobt, vom LTZ Augustenberg wurden zwei Bodenproben aus einem langjährigen Feldversuch (ungedüngt und Kompost) untersucht und ein sehr Carbonat-haltiger Schlag des externen Betriebs wurde ebenfalls beprobt. Die Proben wurden luftgetrocknet und auf 2 mm gesiebt.

Außerdem wurden von den Betriebsleitern für die beprobten Schläge die letzten Ergebnisse der Grundbodenuntersuchung für P zur Verfügung gestellt. Die letzten Untersuchungen der Betriebe stammten je nach Betrieb aus den Jahren 2014 – 2017.

Zur Einordnung der Böden wurden der pH-Wert mit  $\text{CaCl}_2$  (VDLUFA, 2012) bestimmt sowie die Textur (mittels einer Kombination aus Siebung und Sedimentation nach Köhn (1928)), und der Gehalt an organischem Kohlenstoff und der organische Stickstoff (beide VDLUFA, 2012) ermittelt.

Für den Vergleich der P-Extraktionsverfahren wurden folgende Extraktionsverfahren genutzt (Tab. 1): CAL (Schüller, 1969), Olsen (Olsen et al., 1954),  $\text{H}_2\text{O}$  (van der Paauw, 1971), Mehlich III (Mehlich, 1984), Bray I und Bray II (Bray and Kurtz, 1945), NaOH (Cade-Menun and Preston, 1996) und Gesamt-P (VDLUFA, 2012).

Tab. 1 zeigt Extraktionsverfahren, die pH-Werte der Extraktionslösung, die Eignung für bestimmte Böden sowie die Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren.

*Tab. 1: Vergleich der durchgeführten Extraktionsverfahren (pH-Wert der Extraktionslösung, der Anwendungsspektrum für bestimmte Böden und deren Eigenschaften, Vor- und Nachteile)*

Extraktionsmethoden	pH-Wert Lösung	Verwendung	Vor-/Nachteile
Bray 2	2	Sehr saure Böden	Methode nur für sehr saure Böden geeignet – Dt. Böden weisen zu hohe pH-Werte auf
Mehlich 3	2.5	Weltweit sehr oft verwendet Bestimmung von P, Fe, Al, Ca, ...	Extraktion von verschiedenen Elementen in einem Schritt möglich
Bray 1	2.6	Häufige Verwendung bei sauren Böden (z.B. USA, Argentinien)	Methode nur für sehr saure Böden geeignet – Dt. Böden weisen zu hohe pH-Werte auf
Calcium-Acetat-Lactat (CAL)	4.1	Gepufferte Lösung → Carbonatgehalt bis 15 % Korrektur ab pH 7 → Unterbewertung des P-Gehaltes	Verwendung bei Böden mit einem pH-Wert über 6. In Böden mit pH-Werten größer 7 müssen P-Gehalte aufgrund störender

			Carbonatgehalte korrigiert werden.
Wasser	7		Extrahiert nur wasserlösliches P, daher nicht als alleinige Extraktion zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren P geeignet.
Olsen	8.5	Alkalische Böden	Für neutrale, kalkhaltige und alkalische Böden.
NaOH + EDTA	13	Bestimmung organisches P	Extrahiert fast ausschließlich organisch gebundenes P, mineralisch gebundenes P wird nicht erfasst, daher nicht als alleinige Extraktion zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren P geeignet
P-Gesamt	~ 1	Bestimmung des gesamten P	Für alle Böden geeignet, sagt aber nichts über die Pflanzenverfügbarkeit des P aus

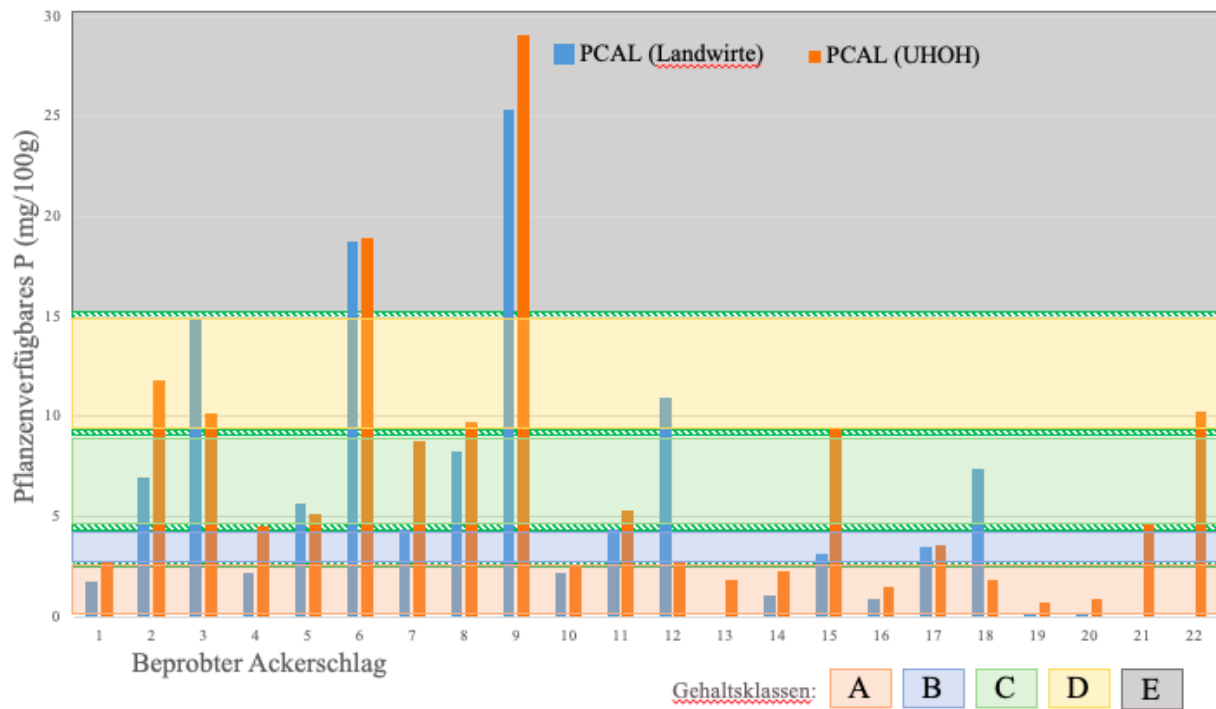
Die Extrakte der Bodenlösungen wurden mit zwei verschiedenen Messmethoden analysiert. Zum einen mit einer kolorimetrischen Messung (P-Col) (Murphy and Riley, 1962), wobei sich hier nur das frei in der Lösung befindliche P (vorher mineralisch im Boden gebunden) an die Komplexbildner binden kann, zum anderen mit der Messung durch optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) (Soltanpour et al., 1983). ICP-OES misst die Elemente direkt in der Lösung, somit können hier sowohl organische als auch anorganische Phosphate erfasst werden. Die kolorimetrischen Messverfahren (z.B. nach Murphy und Riley) wurden ursprünglich für die Entwicklung von Düngeempfehlungen verwendet. In den letzten 20-30 Jahren nutzen immer mehr Labore die Messung mit ICP-OES, da diese Methode den Vorteil einer Multielementanalyse bietet, es kann also neben P auch K in der Lösung gemessen werden, das beim CAL Verfahren ebenfalls extrahiert wird.

Für den Gefäßversuch mit Weidelgras wurden die Böden mit Kalium und Stickstoff bis zum Optimum aufgedüngt und in Aufzuchtschalen verteilt. Insgesamt gab es vier Aufzuchtplatten (Wiederholungen) auf denen die Böden jeweils unterschiedliche Plätze hatten (Randomisierung), sodass externe Faktoren ausgeschlossen wurden. Als Kontrolle wurde Löss aus dem Unterboden verwendet, welcher zusätzlich mit 0, 50, 100 und 200 mg P gedüngt wurde.

## Ergebnisse und Diskussion

Vergleicht man die Ergebnisse für pflanzenverfügbares P aus den letzten von den Betriebsleitern durchgeführten Grundanalysen mit den aktuellen CAL-Extraktionen, die im Rahmen dieser Arbeit an der Universität Hohenheim durchgeführt wurden, fällt auf, dass sich die Analyseergebnisse zum Teil um eine Gehaltsklasse unterscheiden, zum Teil jedoch fast identisch ausfallen (Abb. 1). Genaue Ursachen für diese Unterschiede ließen sich nicht ermitteln. Da die Unterschiede nicht gerichtet sind, das heißt, in einigen Fällen wurden bei der jetzigen Extraktion

höhere Werte gemessen, zum Teil niedrigere, ist davon auszugehen, dass sich diese Unterschiede nicht aus messtechnischen Unterschieden ergeben, sondern aus der Heterogenität der Böden, der Probenahme und dem Zeitraum zwischen den beiden Probenahmeterminen und den dadurch bedingten Nährstoffentzügen durch das Erntegut beziehungsweise Nährstoffeinträgen durch Düngemaßnahmen resultieren. Dieses Ergebnis zeigt, dass zur Bewertung der Entwicklung des Nährstoffstatus einer Fläche Daten über einen Zeitraum von mehreren Jahren erhoben werden müssen, um die Heterogenität der Fläche und Abweichungen durch die Probenahme selbst zu kompensieren.



**Abbildung 1:** Vergleich der PCAL-Gehalte, die uns von den Landwirten zur Verfügung gestellt wurden, zu den PCAL-Gehalten, die an der Universität Hohenheim gemessen wurden, hinterlegt mit den verschiedenen Gehaltsklassen (VDLUFA, 2018).

Der Vergleich aller Extraktionsverfahren resultierte in sehr unterschiedlichen Ergebnissen der extrahierten P-Mengen. Diese reichten je nach Extraktionsmethode von 0 mg P / 100 g Boden (Wasser) bis hin zu 211 mg P / 100 g Boden (P-Gesamt) (Abb. 2). Dazwischen befanden sich Olsen, Bray I & II, Mehlich III und CAL in einem ähnlichen Bereich. Alle Verfahren extrahierten zwischen 0,1 mg P / 100 g Boden (Bray I) und 25 mg P / 100 g Boden (Mehlich III). Die Extraktion mit NaOH extrahierte zwischen 15 mg P / 100 g Boden und 109 mg P / 100 g Boden. Das Spektrum der in dieser Arbeit extrahierten P-Gehalten findet sich so ebenfalls in der Literatur wieder: In einer ähnlichen Arbeit von Wuenscher et al. (2016), die konventionell bewirtschaftete Böden untersuchte, wurden jedoch noch höhere Werte gefunden, so dass die höheren Gehalte an pflanzenverfügbarem P im vorliegenden Datensatz auf die Auswahl der Böden zurückzuführen sind.

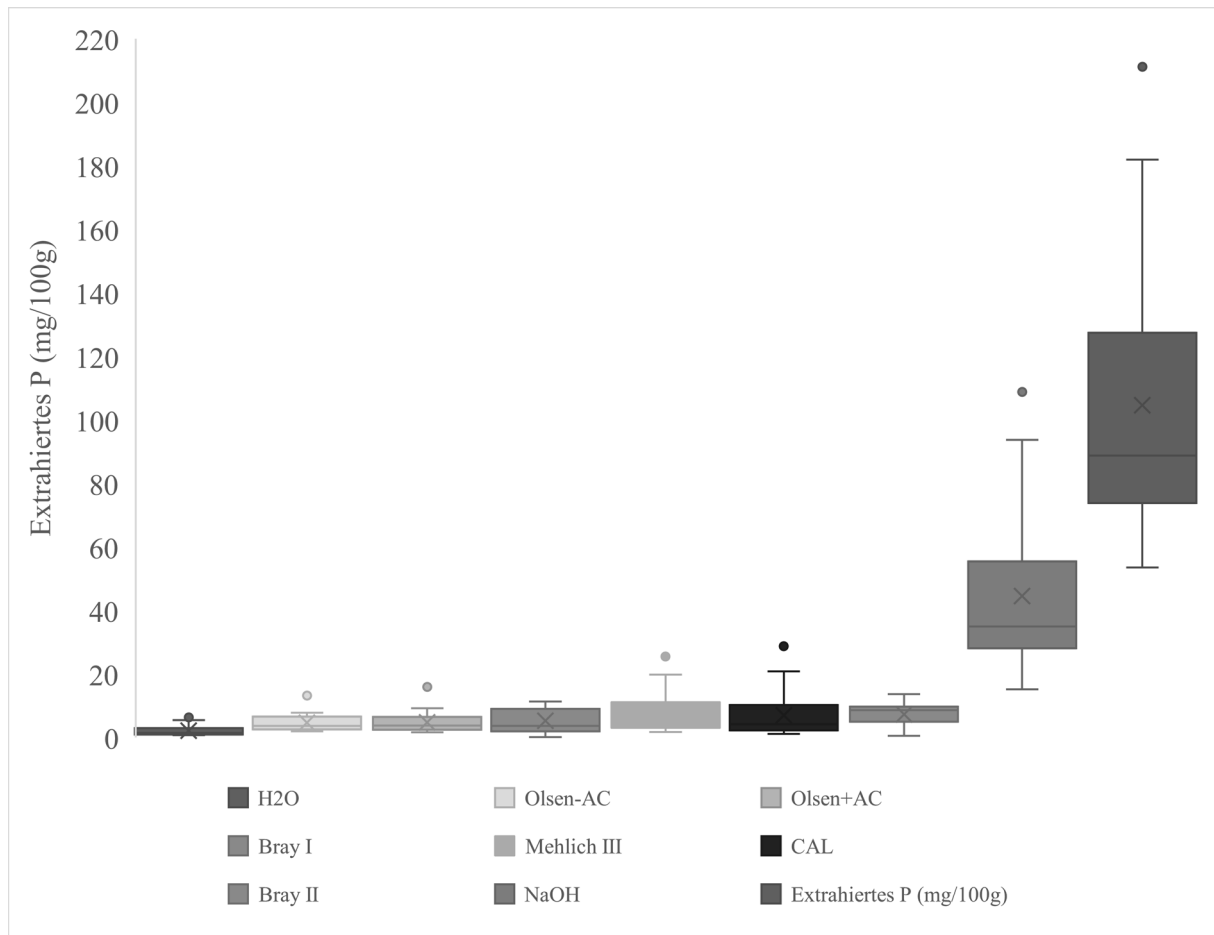
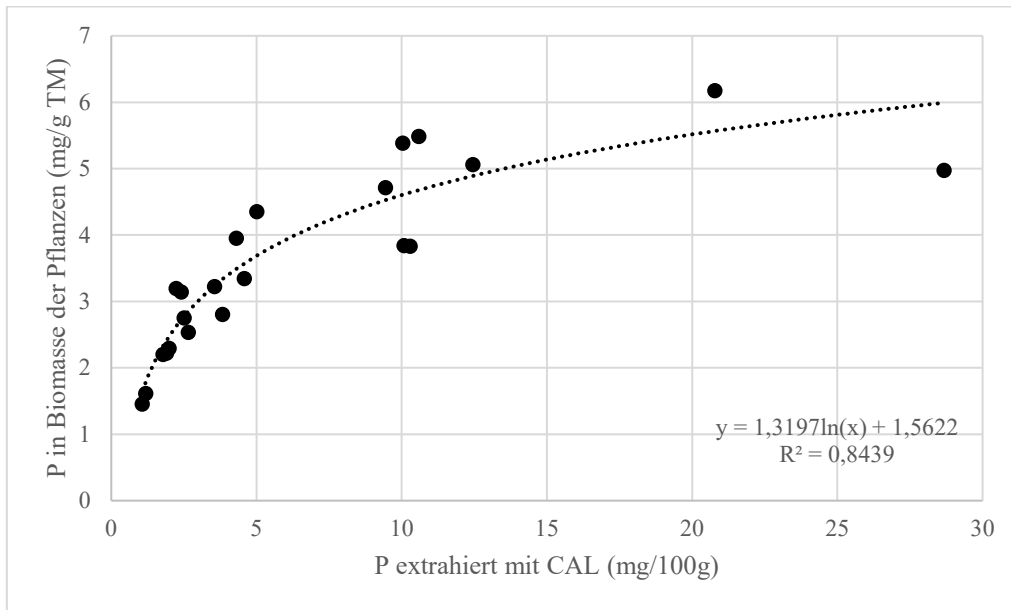


Abbildung 2: Extrahierte P-Mengen der verschiedenen Verfahren gemessen mit ICP-OES.

Die Unterschiede zwischen den kolorimetrisch gemessenen P-Gehalten und den mittels ICP-OES ermittelten war bei der CAL-Extraktion am geringsten. Daraus lässt sich folgern, dass die Extraktion CAL von allen getesteten Extraktionsverfahren einen geringen Anteil an organischem Phosphor den Bodenproben entzogen hat. Dieses Ergebnis bestätigt die Eingangshypothese, dass die Extraktion mit CAL das organisch gebundene Phosphat unzureichend erfasst und damit besonders in Böden unter ökologischer Bewirtschaftung ein wichtiger Pool an pflanzenverfügbarem P analytisch nicht berücksichtigt wird. Der Unterschied zwischen den Messmethoden Kolorimetrie und ICP-OES war bei der Extraktion mit der Bray II-Lösung am größten. Bedingt durch das Extraktionsverfahren liegt hier ein großer Anteil an organisch gebundenem P vor, der nicht kolorimetrisch bestimmt werden kann, da diese Messmethode nur frei in der Lösung befindliches P erfasst. Somit wurde mit Bray II ein großer Teil an P-Verbindungen extrahiert, die nicht direkt als Phosphat vorlagen.

Das Phosphat, welches aus der Biomasse des Weidelgrases im Gefäßversuch extrahiert wurde, reichte von 1,45 mg / g Trockenmasse (TM) bis maximal 6,17 mg / g TM. Bei dem Vergleich dieser P-Konzentrationen mit den P-Gehalten, welche mit den verschiedenen Extraktionsverfahren aus den Böden extrahiert wurden zeigt die Extraktion mit CAL eine sehr gute Korrelation (Abb. 3). Zehetner et al. (2018) verglichen ebenfalls verschiedene P-Extraktionsverfahren zu der P-Aufnahme von Pflanzen. Obwohl es sich bei ihrem Versuch um Weichweizen handelte und der Versuchsaufbau sehr unterschiedlich war, zeigte sich auch in diesem Versuch, dass die Pflanzen dem Boden nur einen sehr kleinen Anteil P entziehen. Die Extraktionsverfahren erfassen meist sehr viel mehr P aus den Böden als während der Wachstumsphase von den Pflan-

zen aufgenommen wird. Vergleicht man die Korrelation aller verwendeter Extraktionsverfahren mit der Pflanzenaufnahme anhand von  $R^2$  so erhält man folgende Reihenfolge: P-Gesamt < NaOH < Olsen < Bray II < Bray I < Mehlich III < CAL < Wasser. Wasser extrahierbares P korreliert vermutlich so gut mit der Pflanzenaufnahme, da mit dieser Methode die für die Pflanzen am leichtesten verfügbaren P-Verbindungen erfasst werden. Verglichen mit allen anderen Extraktionsverfahren, welche das pflanzenverfügbare P aus dem Boden extrahieren, zeigte CAL die beste Korrelation zu der Pflanzenaufnahme.



**Abbildung 3:** Vergleich der P-Gehalte, welche aus der Biomasse der Pflanzen extrahiert wurden, zu den P-Gehalten, welche mit CAL aus den Bodenproben extrahiert und mittels ICP-OES gemessen wurden.

Die Extraktionen mit P-Gesamt und NaOH entziehen den Böden sehr große Mengen P. Dies führt zu einer schlechteren Korrelation zwischen den P-Gehalten in den Pflanzen und des Bodens. Die NaOH-Extraktion war allerdings die einzige Methode, die mit dem Humusgehalt des Bodens korreliert werden konnte ( $R^2 = 0,61$ ), was da lediglich das Extraktionsmittel NaOH ein so breites Spektrum an organischem P aus dem Boden extrahiert

NaOH korreliert zwar sehr gut mit der organischen Substanz und extrahiert sehr viel organisch gebundenes P, der Vergleich mit der Pflanzenaufnahme zeigt im vorliegenden Gefäßversuch eine schlechte Korrelation, sodass diese Fraktion wohl zumindest bei kurzer Vegetationsdauer keine große Rolle zu spielen scheint. Eine ergänzende Analyse des NaOH-extrahierbaren P scheint auf dieser Datengrundlage also keinen Mehrwert zu erbringen.

Interessant wären in diesem Zusammenhang weitere Forschungsarbeiten, die sich zum einen im Detail mit der Spezifizierung der organisch gebundenen P-Formen befassen und die zum anderen das Bodenmikrobiom untersuchen, um standortspezifische Anpassungen des Agrarökosystems an niedrige P-Gehalte sowie Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen im ökologischen Landbau zu erfassen.

### Schlussfolgerungen

Obwohl CAL das organisch gebundene Phosphat unterschätzt, ist die Korrelation zwischen dem mit CAL extrahierbaren P mit dem von den Pflanzen aufgenommenem P sehr gut. Hierbei

ist der Unterschied in den Analysemethoden minimal, so dass für ökologisch wirtschaftende Betriebe die CAL-Methode nach wie vor geeignet erscheint. Generell zeigt CAL im Vergleich mit allen anderen untersuchten Methoden sehr gute Ergebnisse, zur Schlussfolgerung führt, dass das organisch gebundene Phosphat bei der Pflanzenaufnahme eine geringe Rolle spielt, zumindest für eine kurze Wachstumsperiode wie sie durch den Gefäßversuch erfasst wurde. Inwieweit dies unter Feldbedingungen für z.B. Getreide oder Leguminosen zutrifft bleibt offen und sollte zukünftig weiter untersucht werden.

Bezogen auf die Erfahrung der am Projekt EIP-BRAVÖ beteiligten Landwirte, dass trotz der Einordnung in niedrige P-Gehaltsklassen keine Ertragsrückgänge auftreten, ist zu bedenken, dass einerseits mit einer Änderung der Gehaltsklassen nach VDLUFA (2018) der Großteil der beprobten Flächen in die Gehaltsklasse C fiel, so dass, kombiniert mit einer Entzugsdüngung, auf diesen Standorten ein optimaler Ertrag zu erreichen ist. Andererseits konnte in der vorliegenden Arbeit keine Untersuchungen des Bodenmikrobioms sowie der Makrofauna durchgeführt werden, so dass der Zusammenhang Verfügbarkeit des organisch gebundenen P – biologische Aktivität des Bodens nicht erfasst wurde. Diese Frage spielt jedoch im ökologischen Landbau eine große Rolle, da eine Vielzahl von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Förderung des Bodenlebens abzielt. Zur Beantwortung dieser Frage sind weitere Forschungsarbeiten notwendig.

## Literaturverzeichnis

- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., 2018. Lehrbuch der Bodenkunde, 17th ed. Springer Verlag GmbH, Berlin.
- Bray, R.H., Kurtz, L.T., 1945. Determination of Total, Organic, and Available Forms of Phosphorus in Soils. *Soil Sci.* 59.
- Cade-Menun, B.J., Preston, C.M., 1996. A Comparison of Soil Extraction Procedures for P NMR Spectroscopy. *Soil Sci.* 161, 770–785.
- Mehlich, A., 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15, 1409–1416. <https://doi.org/10.1080/00103628409367568>
- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27, 31–36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. *United States Dep. Agric. - Circ.* 1–18.
- Schüller, H., 1969. Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. *Z. Für Pflanzenernähr. Bodenkd.* 123, 48–63. <https://doi.org/10.1002/jpln.19691230106>
- Soltanpour, P.N., Jones Jr., J.B., Workman, S.M., 1983. Optical Emission Spectrometry, in: *Methods of Soil Analysis*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 29–65. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c3>
- van der Paauw, F., 1971. An effective water extraction method for the determination of plant-



available soil phosphorus. *Plant Soil* 34, 467–481. <https://doi.org/10.1007/BF01372799>

VDLUFA, 2018. Neue Empfehlungen des VDLUFA für die P-Düngung. *Mitteilungen des VDLUFA* 02/2018. S. 1- 5

VDLUFA (Ed.), 2012. *Das VDLUFA Methodenbuch*, 4th ed. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Zehetner, F., Wuenscher, R., Peticzka, R., Unterfrauner, H., 2018. Correlation of extractable soil phosphorus (P) with plant P uptake: 14 extraction methods applied to 50 agricultural soils from Central Europe. *Plant Soil Environ.* 64, 192–201. <https://doi.org/10.17221/70/2018-PSE>