

INTEKO ATCZ42

1.1.5
Phosphor -
Recycling in der Kreislaufwirtschaft

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Einleitung..... | 3 |
| 1.1 | Die Entwicklung Österreichs zum Thema Phosphor-Recycling und die Tätigkeiten und Lösungsansätze des strategischen Partners MA48..... | 4 |
| 1.2 | Entwicklung der Tschechischen Republik zum Thema Phosphorrecycling und Aktivitäten zur Gesamtlösung..... | 5 |
| 2 | Zielsetzung im Projekt INTEKO zum Thema Phosphor-Recycling..... | 5 |
| 3 | Methodik..... | 5 |
| 3.1 | Vorversuch..... | 5 |
| 3.2 | Gefäßversuch..... | 6 |
| 3.3 | Auswertung und Berechnung der Ergebnisse..... | 8 |
| 4 | Ergebnisse..... | 8 |
| 5 | Literatur..... | 13 |

Tabellen

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabelle 1 | pH, Leitfähigkeit, mineralischer Stickstoff, verfügbarer Phosphor, Kalium und Magnesiumgehalt des Bodens vor Versuchsbeginn..... | 6 |
| Tabelle 2 | Varianten des Gefäßversuches..... | 6 |
| Tabelle 3 | Phosphor-Konzentrationen der unterschiedlichen Düngervarianten in unterschiedlichen Extrakten mit aufsteigender Extraktionskraft..... | 7 |
| Tabelle 4 | Mittelwerte und Standardabweichung der Trockengewichte und des Phosphor Gehaltes der ober- und unterirdischen Biomasse sowie der Gesamt-P Entzug der gesamten Pflanze pro Topf..... | 11 |

Abbildungen

| | | |
|--------|--|----|
| Abb. 1 | Gefäßversuch im Glashaus der BFA..... | 7 |
| Abb. 2 | Bewertungsschema zur Punktevergabe bei der Rotfärbung..... | 8 |
| Abb. 3 | Rotfärbung der Blätter nach 4 Wochen nach Anbau..... | 9 |
| Abb. 4 | Höhenwachstum nach 4 Wochen nach Anbau..... | 9 |
| Abb. 5 | Höhenwachstum nach 9 Wochen bei der Ernte. Jeweils Mittelwert und Standardabweichung von 5 Wiederholungen. Mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander ($p \leq 0,05$)...... | 10 |
| Abb. 6 | Trockengewicht von ober- und unterirdischer Biomasse nach 9 Wochen bei der Ernte. Jeweils Mittelwert und Standardabweichung von 5 Wiederholungen. Mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander ($p \leq 0,05$)...10 | 10 |
| Abb. 7 | Phosphor Entzug der ober- und unterirdischer Biomasse nach 9 Wochen bei der Ernte. Jeweils Mittelwert und Standardabweichung von 5 Wiederholungen. Mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander ($p \leq 0,05$)...11 | 11 |

1 Einleitung

Phosphor ist ein essenzieller und gleichzeitig nicht substituierbarer Nährstoff für alle Lebewesen und ist im menschlichen Körper nach Calcium das mengenmäßig häufigste Mineral. Phosphor ist beispielsweise wichtiger Bestandteil der Nukleinsäuren (DNA und RNA), spielt als Adenosintriphosphat (ATP) im Energiestoffwechsel eine bedeutende Rolle und ist Hauptbestandteil der Knochen und Zähne. Phosphor ist praktisch in allen Lebensmitteln enthalten. Hohe Phosphatmengen finden sich insbesondere in proteinreichen Lebensmitteln. Der für den Körper überflüssige Phosphor wird zu 60-80% über den Harn und 20-40% über den Fäzes ausgeschieden.

Phosphor liegt in der Natur als phosphatreiches Mineral (z.B. Apatitgesteine) vor. Der für die Pflanzen und damit für die Lebensmittelproduktion notwendige Phosphor entstammt ursprünglich aus der Verwitterung dieser Gesteine. In einem natürlichen System gelangen die P-haltigen Ausscheidungen von Lebewesen bzw. abgestorbenen Pflanzen zurück auf den Boden und stehen nach der Mineralisation wieder als Nährstoffe zur Verfügung (Egle, 2014a). Ein Großteil der menschlichen P-haltigen Ausscheidungen stehen der Landwirtschaft aber nicht mehr zur Verfügung, daher wird der Phosphor, um Mangelerscheinungen vorzubeugen, in Form von organischen Düngern wie beispielsweise Gülle und mineralische Dünger wieder eingebracht. Im konventionellen Anbau, vor allem in Gebieten viehloser Landwirtschaft dienen vor allem Mineraldünger dazu den Phosphor-Verlust auszugleichen. Im biologischen Landbau wird zur Phosphor-Düngung auf die erlaubten Rohphosphate zurückgegriffen.

Ausgangsmaterial der meisten mineralischen Phosphor-Dünger aber auch des weicherdigen Rohphosphates für die biologische Landwirtschaft sind die weicherdigen Phosphorsedimente oder magmatische Lagerstätten (Baab, 2014). Die Nachhaltigkeit dieser Lagerstätten bei einer derzeitigen jährlichen Förderung von 145 Millionen Tonnen beträgt nur mehr ca. 120 Jahre (Römer, 2013). Die langsame Neubildungsrate macht Phosphor so zu einer begrenzten Ressource. Neben der zunehmenden Verknappung des Rohstoffes und der dadurch bedingten Preiserhöhung stellen Lagerstätten mit naturbedingt hohen Schwermetallgehalten ein weiteres Problem dar. Zudem sind weltweit gesehen die Hauptabbauländer des Phosphaterzes die USA, China und die Westsahara (Baab, 2014). Österreich ist so wie die meisten europäischen Länder gänzlich auf Importe angewiesen. Auch wenn der Düngebedarf allgemein in Österreich sinkt und im Jahr 2017/18 ein Minus von 5,7 % verzeichnete, wurden 28.500 t Phosphorpentoxid (P_2O_5) abgesetzt (BMLFUW, 2019). Der Bedarf an alternativen Phosphorquellen ist somit groß.

Das mit Abstand größte Potential als sekundärer Phosphor-Rohstoff haben hierbei Klärschlämme. Klärschlämme können allerdings mit organischen und anorganischen Schadstoffen (polychlorierte Biphenyle, Dioxine und Furane, Pharmazeutika, Schwermetalle u.a.) sowie Krankheitserregern belastet sein (Severin, 2013). Durch die Verbrennung der Klärschlämme können einerseits die organischen Schadstoffe und Pathogene ausgeschaltet werden und der Phosphor aufgrund des Masseverlustes aufkonzentriert werden. Klärschlammaschen haben daher einen hohen Phosphor-Gehalt von 4,4 bis 10 %. Allerdings ist das Phosphat in Klärschlammaschen schlecht pflanzenverfügbar und die Schwermetallgehalte werden aufgrund des Massenverlustes bei der Verbrennung aufkonzentriert (Severin, 2013).

1.1 Die Entwicklung Österreichs zum Thema Phosphor-Recycling und die Tätigkeiten und Lösungsansätze des strategischen Partners MA48

Auch Österreich verfolgt die Nutzung von Klärschlamm als potenzielle Phosphor-Ressource. Österreichweit könnte kommunaler Klärschlamm beinahe die Hälfte des Mineraldünger-Phosphates ersetzen. In Detail fallen in Wien beispielsweise jährlich 61.600 t TS (2013) Klärschlamm an (BMLFUW, 2015). Allein Wien könnte somit knapp die Hälfte des Düngemittelabsatz für Niederösterreich und Wien (13.100 t P₂O₅; Grüner Bericht, 2013) decken.

Eine Rückführung des Phosphors über eine direkte Verwertung des anfallenden Klärschlammes in der Landwirtschaft findet aufgrund möglicher Umweltrisiken (Schwermetalle, organische Spurenstoffe und pathogene Keime) vielfach keine Akzeptanz. Daher wurden in den letzten Jahren zahlreiche technologische Ansätze mit dem Ziel der Rückgewinnung reiner Phosphor-Verbindungen aus den Teilströmen von Kläranlagen weltweit entwickelt und bewertet (Egle, 2014b). Die Verbrennung, insbesondere die Monoverbrennung, des Klärschlammes besitzt dabei im Vergleich zu anderen Methoden den höchsten Nutzwert und ist die effektivste Phosphor Recycling Methode (Egle, 2014b; Vanas, 2016; Schröder, 2018)

In Österreich beschreibt der Bundesabfallwirtschaftsplan³² ein Szenario in dem bis zum Jahr 2030 mehr als 65 % des kommunalen Klärschlammes in Österreich einer Phosphorrückgewinnung nach vorhergehender thermischer Behandlung zugeführt werden sollen (NÖ Abfallwirtschaftsplan, 2018). Die Stadt Wien, im speziellen die MA48, beteiligt sich durch ihre Aktivitäten im großen Maße dieses Ziel zu erreichen. So ist eine Klärschlamm-trocknungsanlage im Bau, in der der gesamte Wiener Klärschlamm zukünftig getrocknet werden kann und somit der Klärschlamm ohne Ersatzbrennstoffe in einer Monoverbrennungsanlage verbrannt werden kann. Anschließend ist die Bereitstellung der monoverbrannten Klärschlammmasche (ca. 12.000 t/a) an einen Düngemittelhersteller in Österreich zur Mineraldüngerherstellung geplant. Ebenfalls finden Untersuchungen der Klärschlamm-maschen mit unterschiedlichen Phosphor-Rückgewinnungsverfahren zur Herstellung von Phosphorsäure bzw. verschiedenen Phosphor-Produkten statt. Die MA48 hat weiters zum Ziel, gemeinsam mit europäischen Stakeholdern aus Wissenschaft, Industrie und Non-profit-Organisationen ein nachhaltiges Phosphormanagement in Europa zu etablieren und ist daher aktives Mitglied der unabhängigen Plattform "European Sustainable Phosphorus Platform ESPP". Im Juni 2020 wird die European Sustainable Phosphorus Conference (ESPC) in Wien in Kooperation mit der MA 48 abgehalten.

Das Thema Recycling von Nährstoffen ist für die MA48 nicht neu. So betreibt sie seit 1991 das Kompostwerk Lobau in dem jährlich rund 100.000 Tonnen Bioabfälle verarbeitet werden. Daraus entstehen zwischen 40.000 und 50.000 Tonnen Kompost. Der Kompost wird als Bodenverbesserungsmittel in der konventionellen und biologischen Landwirtschaft in Wien und Umgebung genutzt, aber auch für die Herstellung von Spezialerden durch die Firma Compo, beispielsweise für die Produktion der torffreien 48er-Gartenerde "Guter Grund", eingesetzt (wien.gv.at, 2019).

Somit sind für die MA48 Forschungsaktivitäten zur Verbesserung der Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors aus der Klärschlamm-masche durch den Kompostierungsprozess zur Produktion einer

nachhaltigen Alternative zu konventionellen Düngern aber auch zum, in der biologischen Landwirtschaft eingesetzten, Rohphosphat wichtig.

1.2 Entwicklung der Tschechischen Republik zum Thema Phosphorrecycling und Aktivitäten zur Gesamtlösung

In der Zwischenzeit befasst sich die Tschechische Republik mit der Verwendung einer der Phosphorquellen durch direkte Anwendung auf dem Boden oder durch Kompostierung. Es entstehen Experimente mit neuen Technologien wie Schlamm-trocknung und Weiterverarbeitung oder Pyrolyse.

2 Zielsetzung im Projekt INTEKO zum Thema Phosphor-Recycling

Die ökologische Nachhaltigkeit des Komposteinsatzes ist bereits durch zahlreiche Studien belegt. Stichworte sind Humusversorgung, Wasserspeicherung, Erosionsschutz, Bodenfruchtbarkeit, Nährstoffkreislauf und vieles mehr. Neben dem direkten Nutzen kann Kompost zudem als ‚Ressourcenschonend‘ bezeichnet werden. Da der landwirtschaftliche Anbau von Kultur und Nutzpflanzen dem Boden Humus und Nährstoffe entzieht, müssen diese zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit wieder zugeführt werden. Die organische Düngung mit Kompost nutzt hierzu lokale Ressourcen und hilft Düngemittel aus primären Rohstoffen einzusparen (Kühne, 2014). Durch die Anreicherung des Kompostes mit Klärschlammasche könnte auch noch die Phosphor-Düngewirksamkeit erhöht werden und dadurch eine nachhaltige Variante zu konventionellen und biologischen Düngemitteln sein. Allerdings ist das Phosphat in Klärschlammaschen schlecht pflanzenverfügbar. Diese könnte jedoch durch die mikrobielle Aktivität im Kompost erhöht werden, denn während des Kompostierungsprozesses entstehen durch den Abbau leicht verstoffwechselbarer Substrate, organische Säuren als Intermediärprodukte des aeroben (als auch anaeroben) Stoffwechsels (Wagner & Illmer, 2004). Organische Säuren aus mikrobieller Aktivität sind in der Lage, schwerlösliche Calcium-Phosphat Verbindungen aus dem Apatit und aus Al-, Pb- und Zn- Phosphaten zu lösen (Tauten, 2000). Somit ist das Ziel dieser Arbeit die Erhöhung der Pflanzenverfügbarkeit von Klärschlammasche mittels der mikrobiellen Aktivität zu untersuchen, als auch die Düngewirksamkeit von Klärschlammasche aus der Monoverbrennung, Kompost-Klärschlammasche Mischungen und Kompost-Kohle Mischungen in einem Pflanzen Gefäßversuch zu testen.

3 Methodik

3.1 Vorversuch

Für den Vorversuch wurde ein, eine Woche alter Kompost vom Kompostwerk Lobau in Wien, sowie Klärschlammasche (KSA) aus einer Monoverbrennung des Wiener Klärschlammes verwendet. Der Kompost wurde auf 10 mm gesiebt und anschließend Feuchtdichte und Wassergehalt ermittelt. Der Wassergehalt betrug 50,33 %, die Feuchtdichte 482 g/l. Dem Kompost wurden anschließend 6 % Klärschlammasche (bezogen auf die Trockenmasse) zugefügt und für 6 Wochen inkubiert. Gleichzeitig wurde eine Nullvariante ohne Zusatz von KSA als Vergleich angesetzt. Während der Versuchsdauer wurde der Kompost und die Kompost-KSA-Mischung ein Mal die Woche umgesetzt und der Wassergehalt auf 60 % feucht gehalten. Nach 6 Wochen wurde der Phosphor-Gehalt im CAL, Neutral-

Ammoncitrat (NAC)- sowie im Königswasser-Extrakt der Kompost-KSA Mischung und des Kompostes gemessen und Probenmaterial für den Gefäßversuch aufbewahrt.

3.2 Gefäßversuch

Der Gefäßversuch wurde im Glashaus der Bio Forschung Austria angelegt. Hierbei wurden Töpfe mit einem Volumen von 7 l verwendet und als Testpflanze Mais (Sorte: KWS-STABIL) angebaut. Der verwendete Boden war ein sandiger Lehm mit einem Phosphorgehalt von < 1 mg/kg im CAL Extrakt und hatte einen pH-Wert von 6,3 im wässrigen Extrakt, sowie 5,7 in CaCl₂ Extrakt (Tabelle 1). Der Versuch wurde in fünf Wiederholungen mit den in Tabelle 2 angeführten Varianten angelegt.

Tabelle 1 pH, Leitfähigkeit, mineralischer Stickstoff, verfügbarer Phosphor, Kalium und Magnesiumgehalt des Bodens vor Versuchsbeginn

| pH (Wasser) | pH (CaCl ₂) | Leitfähigkeit (µS/cm) | NH ₄ -N (mg/kg) | NO ₃ -N (mg/kg) | P CAL (mg/kg) | K CAL (mg/kg) | Mg CaCl ₂ (mg/kg) |
|-------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|------------------------------|
| 6,29 | 5,73 | 60 | 0,00 | 11,81 | < 1 | 20,30 | 150 |

Tabelle 2 Varianten des Gefäßversuches

| Variante | Düngemittel | Zugabemenge |
|--------------------|---|---|
| Null | keine Zugabe | - |
| Rohphosphat | Rohphosphat Timac Agro | 1. Konz. 30 mg/kg P im NAC |
| | | 2. Konz. 80 mg/kg P im NAC |
| KSA | Klärschlammasche (ohne Zusätze) | 1. Konz. 30 mg/kg P im NAC |
| | | 2. Konz. 80 mg/kg P im NAC |
| Kompost | 6 Wochen behandelter Kompost aus Vorversuch | 1. Konz. 30 mg/kg P im NAC |
| | | 2. Konz. 80 mg/kg P im NAC |
| Kompost mit 6% KSA | 6 Wochen behandelte Kompost-KSA Mischung (6% KSA) | 1. Konz. 30 mg/kg P im NAC bzw. 11 mg/kg P im CAL |
| | | 2. Konz. 80 mg/kg P im NAC bzw. 30 mg/kg P im CAL |
| Kohle | Pflanzkohle | 1. Konz. 11 mg/kg P im CAL |
| Kompost-Kohle | Kompost-Pflanzkohle Mischung | 1. Konz. 11 mg/kg P im CAL |
| | | 2. Konz. 30 mg/kg P im CAL |

Als Düngemittel wurde, die im Vorversuch produzierte, Kompost-Klärschlammasche Mischung und die entsprechende Nullvariante, der reine Kompost, verwendet. Die verwendete

Klärschlammasche stammte aus einer Monoverbrennung aus Wiener Klärschlamm und war dasselbe Material, mit welchem der Vorversuch durchgeführt wurde. Bei der Kohle und der Kompost-Kohle Mischung handelte es sich um eine Pflanzenkohle, bzw. einem Gemisch mit Kompost, welche aus einem Kompostierungsversuch von unserem Tschechischen Partner der Mendel Universität stammten. Das Rohphosphat wurde von Timac Agro zur Verfügung gestellt.

Tabelle 3 Phosphor-Konzentrationen der unterschiedlichen Düngervarianten in unterschiedlichen Extrakten mit aufsteigender Extraktionskraft

| Düngervarianten | P CAL löslich (mg/kg TS) | P NAC löslich (mg/kg TS) | P Ameisensäure löslich (mg/kg) | P Gesamt (mg/kg) |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|
| Rohphosphat Timac Agro | 95 | 7097 | 38734 | 130649 |
| Klärschlammasche | 1410 | 8078 | 11593 | 105500 |
| 6 Wochen behandelter Kompost aus Vorversuch | 849 | 2274 | | 2648 |
| 6 Wochen behandelte Kompost-KSA Mischung (6% KSA) | 934 | 2759 | | 8465 |
| Pflanzenkohle | 346 | | | 2297 |
| Kompost-Pflanzenkohle Mischung | 1857 | | | 10377 |

Je Topf wurden 7 kg Boden eingewogen und entsprechend der Variante das Düngemittel eingemischt und der Topf anschließend damit befüllt. Eine Nullvariante ohne jegliche Zugabe wurde ebenfalls vorbereitet. Die zugegebenen Mengen wurden anhand der Phosphor-Löslichkeit der Materialien im Neutralammoncitrat (NAC)-Extrakt berechnet. Alle Materialien, außer Kohle, wurden in 2 unterschiedlichen Mengen (30 mg/kg Phosphor im NAC-Extrakt und 80 mg/kg Phosphor im NAC-Extrakt) zugegeben. Von der Kohle und der Kompost-Kohle Mischung waren zu Versuchsbeginn nur die Phosphor-Löslichkeit im CAL-Extrakt vorliegend. Um die Daten trotzdem vergleichen zu können, wurden die Mengen so gewählt, dass die Phosphor-Löslichkeit im CAL Extrakt dieser 3 Varianten jener der Kompost-Klärschlammasche (KSA) Mischung entsprechen.

Nach befüllen der Töpfe wurden pro Topf 5 Maiskörner gesät und nach dem Aufgang, auf eine Pflanze pro Topf reduziert.



Abb. 1 Gefäßversuch im Glashaus der BFA

Die Maispflanzen wurden während der gesamten Versuchsdauer nach Bedarf mit Leitungswasser gegossen und in der siebenten Woche nach Anbau mit Stickstoff (KAS-Kalkammonsalpeter) gedüngt. Jede Pflanze erhielt 0,3 g Stickstoff, welches einer Düngung von 30 kg N/ha entspricht. Nach 9 Wochen wurde die oberirdische Biomasse abgeschnitten, die Erde von den Wurzeln getrennt, der Boden <5 mm gesiebt und die Wurzeln gewaschen. Sowohl die oberirdische Biomasse als auch die unterirdische Biomasse wurden bei 85°C im Trockenschrank getrocknet und mit einer Pflanzenmühle auf 2 mm vermahlen. Anschließend wurde die Biomasse mittels HNO₃ im Mikrowellenaufschluss aufgeschlossen und mittels ICP-OES der Phosphorgehalt bestimmt. Aus dem Boden wurden CAL Extrakte nach ÖNORM L 1087 zur Phosphorbestimmung hergestellt und diese ebenfalls mittels ICP-OES analysiert.

3.3 Auswertung und Berechnung der Ergebnisse

Die Beurteilung des Phosphormangelsymptoms Rotfärbung erfolgte in 5 Stufen, wobei die Pflanzen mit der stärksten Rotfärbung 5 Bewertungspunkte erhielten. Pflanzen, welche keine Rotfärbung aufwiesen, erhielten 1 Bewertungspunkt (Abb.2).

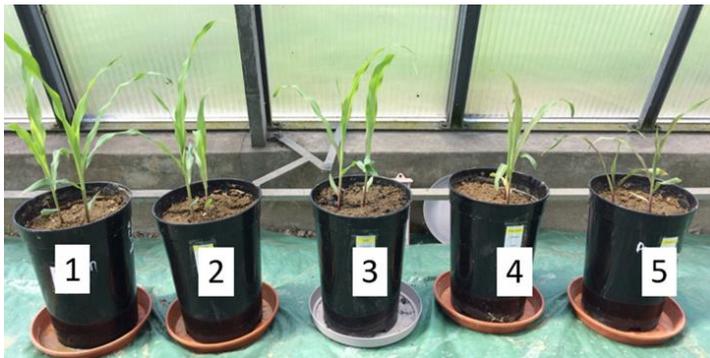


Abb. 2 Bewertungsschema zur Punktevergabe bei der Rotfärbung

Die statistische Auswertung der Messdaten erfolgte mit SPSS 20 und Excel.

4 Ergebnisse

Maispflanzen mit Phosphormangel zeigen ein gehemmt Wachstum, die Wurzelbildung und die Bestockung ist schwach und die Blätter sind vor allem im Jugendstadium rötlich-violett gefärbt (Kali AG). Die Ergebnisse in Abb. 2 und Abb. 3 zeigen, dass in den ersten 4 Wochen nach dem Anbau, ausschließlich die Klärschlammasche aus der Monoverbrennung in der höheren Düngermengenkonzentration keine Mangelercheinungen aufweist. Die Blätter weisen in allen fünf Wiederholungen keine Rotfärbung auf und die Pflanzen zeigen das größte Höhenwachstum. Ebenfalls gute Ergebnisse mit einer sehr geringen Rotfärbung zeigten die Varianten mit Kompost, die Kompost-KSA Mischung und die Kompost-Kohle Mischung in der höheren Mengenzugabe. Am schlechtesten schnitten sowohl in der Rotfärbung als auch im Höhenwachstum in der Jugendentwicklung neben der Nullvariante, die beiden Rohphosphat Varianten und die Kohle Variante ab.

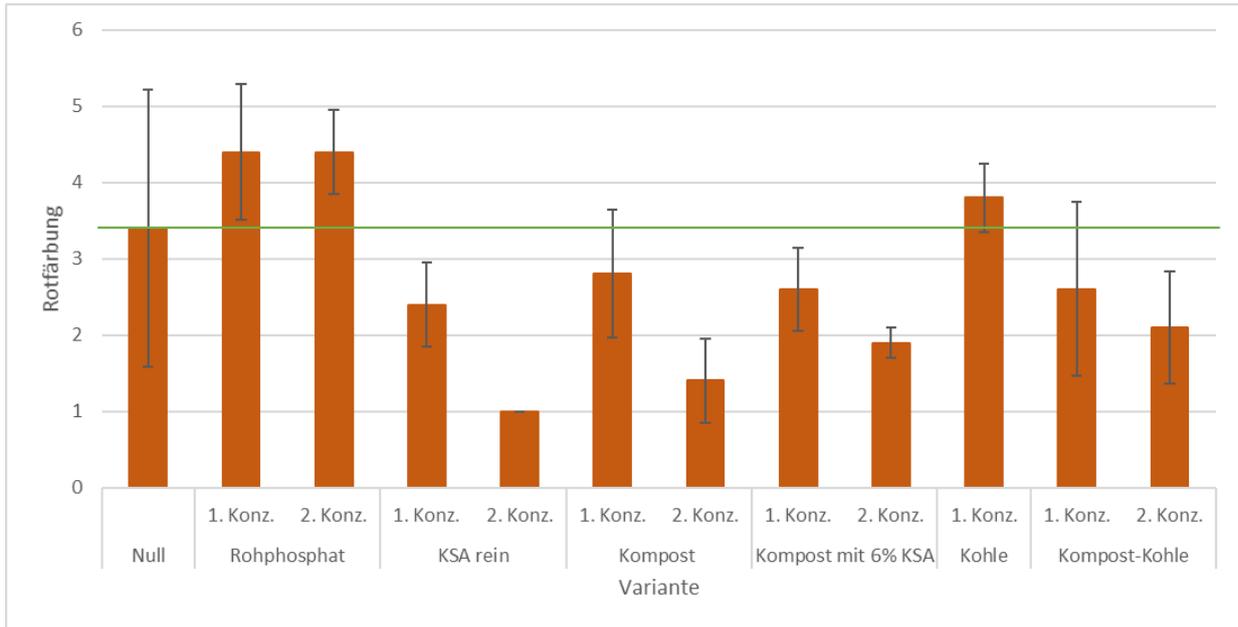


Abb. 3 Rotfärbung der Blätter nach 4 Wochen nach Anbau

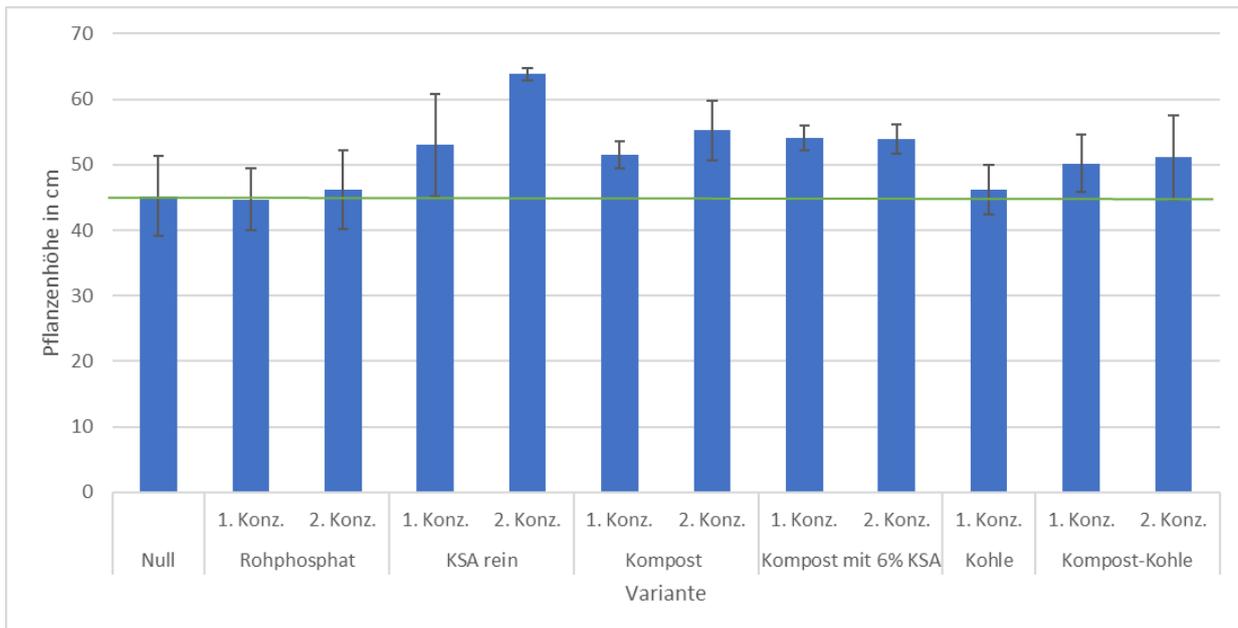


Abb. 4 Höhenwachstum nach 4 Wochen nach Anbau

Bei der Ernte nach 9 Wochen zeigte sich im Höhenwachstum der Pflanzen, sowie im Trockengewicht der ober- und unterirdischen Biomasse als auch im Phosphorgehalt ein ähnliches Bild, wie bereits in der Jugendentwicklung ersichtlich. Das stärkste Höhenwachstum konnten, jeweils in der höheren Düngekonzentration, die Varianten Klärschlammasche und die Kompost-KSA Mischung, gefolgt von der Kompost-Kohle Mischung verzeichnen (Abb. 5, Tabelle 4). Das höchste Trockengewicht zeigte die höhere Düngergabe der Kompost-Kohle Variante, gefolgt von den beiden Klärschlammasche

Varianten, und den jeweils höheren Düngergaben der Kompost und der Kompost-KSA Varianten. Die beiden Rohphosphat Varianten zeigten keine Düngewirkung und unterschieden sich nicht statistisch signifikant von der Nullvariante.

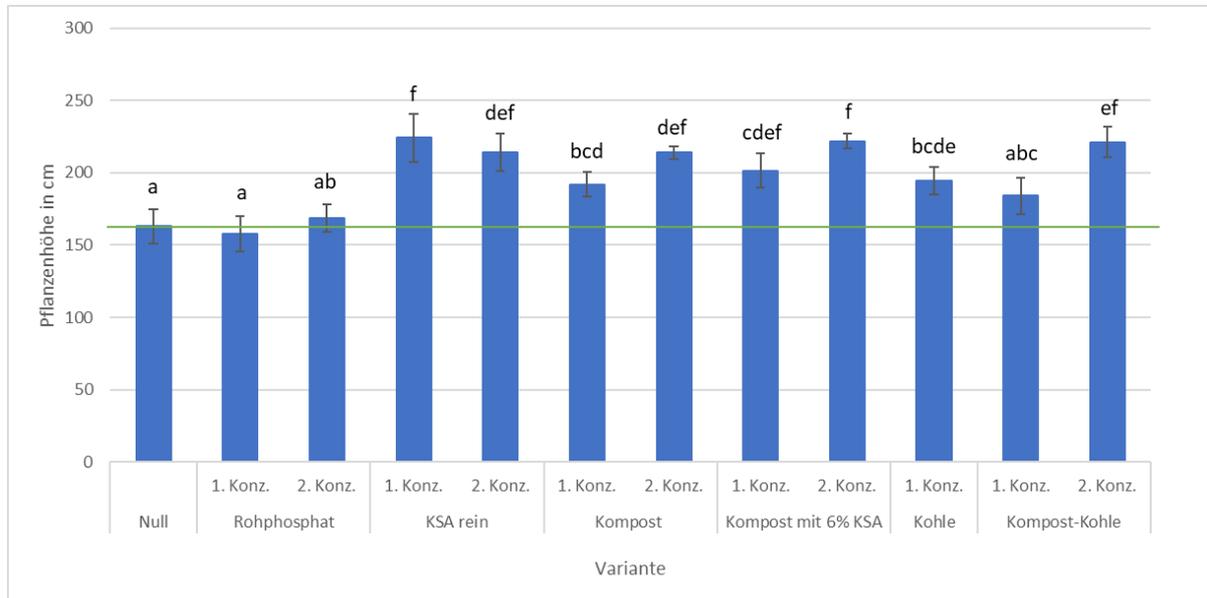


Abb. 5 Höhenwachstum nach 9 Wochen bei der Ernte. Jeweils Mittelwert und Standardabweichung von 5 Wiederholungen. Mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander ($p \leq 0,05$).

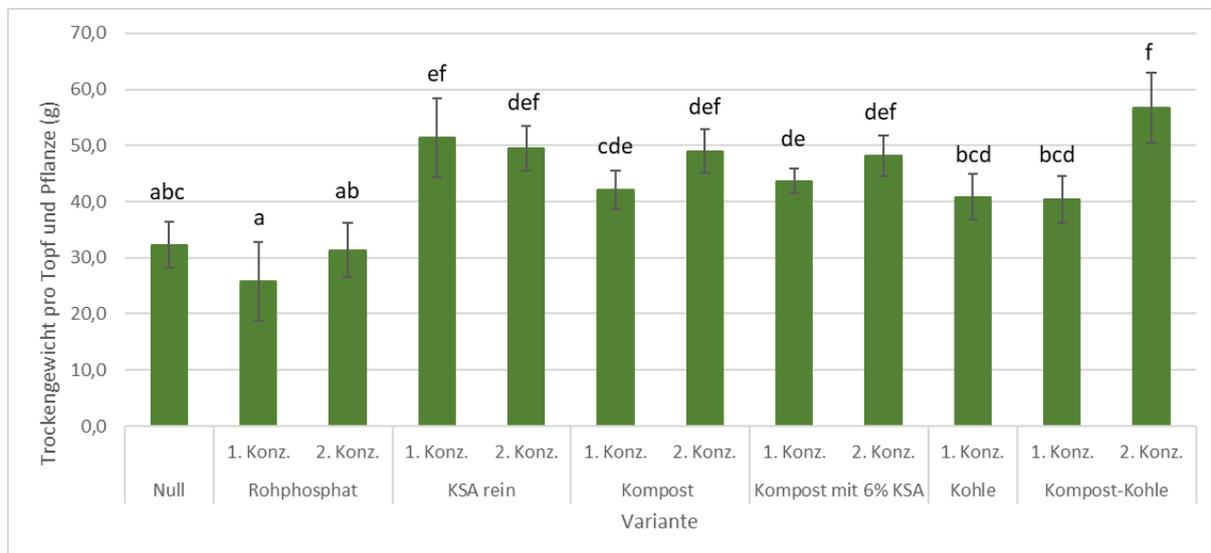


Abb. 6 Trockengewicht von ober- und unterirdischer Biomasse nach 9 Wochen bei der Ernte. Jeweils Mittelwert und Standardabweichung von 5 Wiederholungen. Mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander ($p \leq 0,05$).

Tabelle 4 und Abb.7 zeigen die Gesamt-Phosphor Entzüge (ober- und unterirdischen Biomasse) der Mais Pflanzen pro Topf in jeweils 5 Wiederholungen. Die Phosphor Entzüge zeigen eine Spannweite von 182 mg P/Topf in der Rohphosphat Variante bis 579 mg P/Topf in der Klärschlammasche Variante. Sowohl die beiden Rohphosphat Varianten als auch die Kompost-Kohle Variante konnten sich nicht

signifikant von der Nullvariante unterscheiden. Die signifikant höchsten Phosphor Entzüge zeigten ebenfalls wieder die höheren Düngergaben der reinen Klärschlammasche, die Kompostvariante, die Kompost-KSA Variante und die Kompost-Kohle Variante.

Tabelle 4 Mittelwerte und Standardabweichung der Trockengewichte und des Phosphor Gehaltes der ober- und unterirdischen Biomasse sowie der Gesamt-P Entzug der gesamten Pflanze pro Topf

| Variante | | TG | TG | P-Gehalt | P-Gehalt | P-Entzug |
|--------------------|----------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| | | oberirdische Biomasse [g/Topf] | unterirdische Biomasse [g/Topf] | oberirdische Biomasse [mgP/Topf] | unterirdische Biomasse [mgP/Topf] | ober- und unterirdische Biomasse [mgP/Topf] |
| Null | | 27,2 (±4,1) | 5,1 (±1,0) | 29,2 (±4,6) | 3,0 (±0,7) | 32,2 (±4,2) |
| Rohphosphat | 1. Konz. | 21,6 (±6,0) | 4,2 (±1,1) | 21,2 (±2,7) | 3,1 (±0,6) | 24,2 (±3,3) |
| | 2. Konz. | 25,9 (±3,7) | 5,5 (±1,2) | 26,3 (±2,5) | 3,8 (±0,5) | 30,0 (±3,0) |
| KSA rein | 1. Konz. | 42,6 (±6,2) | 8,8 (±0,9) | 67,2 (±6,9) | 7,3 (±0,6) | 74,5 (±7,5) |
| | 2. Konz. | 41,3 (±2,9) | 8,2 (±1,2) | 81,2 (±7,6) | 9,4 (±1,3) | 90,5 (±8,6) |
| Kompost | 1. Konz. | 35,6 (±3,0) | 6,5 (±0,5) | 46,2 (±2,8) | 4,3 (±0,3) | 56,8 (±21,4) |
| | 2. Konz. | 41,2 (±3,1) | 7,8 (±0,9) | 69,9 (±4,5) | 6,4 (±0,8) | 76,3 (±5,0) |
| Kompost mit 6% KSA | 1. Konz. | 36,8 (±1,9) | 6,9 (±0,3) | 42,3 (±7,9) | 4,1 (±0,3) | 46,4 (±8,2) |
| | 2. Konz. | 40,8 (±2,6) | 7,5 (±1,1) | 69,8 (±5,8) | 6,2 (±0,6) | 76,0 (±6,2) |
| Kohle | 1. Konz. | 34,2 (±3,4) | 6,6 (±0,7) | 41,4 (±4,9) | 4,1 (±0,3) | 45,5 (±5,1) |
| Kompost-Kohle | 1. Konz. | 34,1 (±3,7) | 6,2 (±0,7) | 33,5 (±5,7) | 3,9 (±0,6) | 37,4 (±6,0) |
| | 2. Konz. | 47,3 (±4,8) | 9,4 (±1,5) | 66,9 (±4,5) | 6,8 (±1,7) | 73,7 (±4,5) |

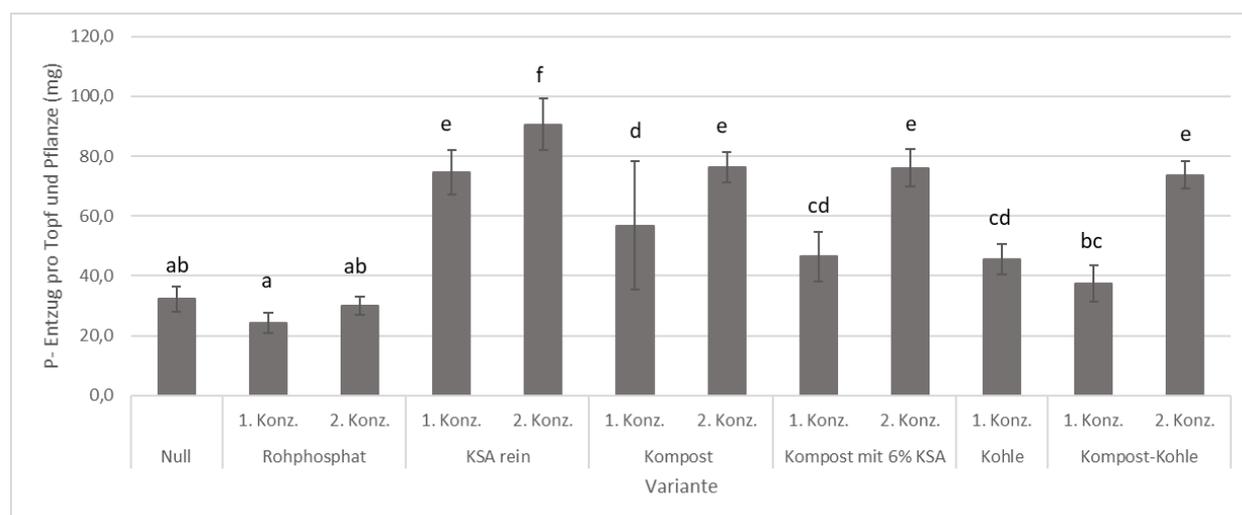


Abb. 7 Phosphor Entzug der ober- und unterirdischen Biomasse nach 9 Wochen bei der Ernte. Jeweils Mittelwert und Standardabweichung von 5 Wiederholungen. Mit dem gleichen Buchstaben gekennzeichnete Varianten unterscheiden sich nicht statistisch signifikant voneinander ($p \leq 0,05$).

Die Ergebnisse zeigen, dass der Kompost, die Kompost-KSA Mischung, die Kompost-Kohle Mischung als auch die unbehandelte Klärschlammasche aus der Monoverbrennung, mit jeweils der

höheren Düngengebe, die höchste Düngewirkung erzielen. Interessant ist hierbei, dass gerade die Klärschlammasche, welche eigentlich einen geringen Anteil an pflanzenverfügbaren Phosphor besitzt, eine sehr gute Düngewirkung zeigte. Der Phosphor in der Klärschlammasche liegt in der Klärschlammasche in schwer löslichen Calcium Verbindungen wie Whitlockit und Hydroxyapatit vor und ist im Wasser praktisch unlöslich (Kratz, 2014). Der im Gefäßversuch verwendete sandig-lehmige Boden, lag im leicht sauren Bereich und dürfte somit für die Phosphor Freisetzung aus der Klärschlammasche optimal gewesen sein. Denn obwohl der Mais zu Beginn des Wachstums ein schlechtes Phosphataneignungsvermögen hat und deshalb für ausreichend wasserlösliches Phosphat im Wurzelbereich des Keimlings zu sorgen ist (Petritz, 2019), zeigten die Klärschlammasche Variante, auch im Jugendstadium, in der höheren Düngergebe keine und in der geringen Düngergebe nur sehr geringe Mangelerscheinungen. Diese leicht sauren Boden Bedingungen wären aber eigentlich auch für das Rohphosphat optimal, denn weicherde Rohphosphate sind laut Literatur für saure bis leicht saure Bodenverhältnisse ($pH 6,5$) mit ausreichend hoher biologischer Aktivität und Bodenfeuchte geeignet (Baab, 2014). Obwohl im Gefäßversuch auch auf eine ausreichende Wasserversorgung der Mais Pflanzen geachtet wurde, zeigte das Rohphosphat in beiden Varianten keine Düngewirkung. Römer (2013) und Waida & Weinfurtner (2011) konnten, im Gegensatz dazu, in ihren Gefäßversuchen mit Mais teilweise ähnliche Löslichkeiten zwischen Rohphosphaten und Klärschlammaschen oder anderen Phosphorrecycling Produkten erzielen.

Die Kompost-KSA Mischung konnte in diesem Versuch keine höhere Düngewirkung als die Variante, welche nur mit Kompost gedüngt wurde, erzielen. Die Zugabe von nur 6 % ist einerseits vielleicht zu gering, um signifikante Auswirkungen zu erzielen, andererseits konnte Waida & Weinfurtner (2011) in ihren Untersuchungen beobachten, dass die meisten Phosphor-Recyclingprodukte über eine nachhaltige Düngewirkung verfügen, da sie erst in der Nachfrucht eine höhere Ertragswirkung zeigten.

Bei der Variante in der ausschließlichen Kohle (Pflanzenkohle) dem Boden zugefügt wurde, konnte die Wirkungsweise der Kohle gezeigt werden. Kohle ist hochporös und besitzt eine Oberfläche von 200-500 m² pro Gramm. Durch ihre große Oberfläche ist sie in der Lage bis zur fünffachen Menge ihres Eigengewichts an Wasser und gelösten Nährstoffen aufzunehmen. Wird reine Pflanzenkohle in den Boden gebracht, entzieht sie ihrer Umgebung das Wasser sowie die darin gelösten Stoffe, daher ist auch nur wenig Düngewirkung im Versuch zu erkennen. Wird hingegen Kompost mit Biokohle angereichert, wirkt sich ihre Fähigkeit, Feuchtigkeit zu speichern, Nährstoffe zu binden und die Aktivität von Mikroorganismen erhöhen positiv im Kompostierungsprozess aus. (Kammann & Glaser, 2014). Auch wenn in der Jugendentwicklung die Kompost-Kohle Mischung auch in der höheren Konzentrations-Zugabe nicht ausreichend Phosphor der Mais-Pflanze zur Verfügung stellen konnte und eine deutliche Rotfärbung der Blätter zu erkennen war, zeigte die Variante zu Versuchsende sehr gute Ergebnisse und hohe Phosphor Entzüge.

5 Literatur

- Baab G. (2014): Haupt und Spurenelemente Teil 2: Das Nährelement Phosphor; Öko-Obstbau 2: 4-9
- BMLFUW (2015): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich Statusbericht 2014, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- BMLFUW (2013): Grüner Bericht 2013 - Gemäss § 9 des Landwirtschaftsgesetzes, 54. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- BMLFUW (2019): Grüner Bericht 2019 - Gemäss § 9 des Landwirtschaftsgesetzes, 60. Auflage, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- Egle L., Rechberger H., Zessner M. (2014a): Endbericht Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW)
- Egle L., Rechberger H., Zessner M. (2014b): Endbericht: Phosphorbilanz Österreich; Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- Kammann C. & Glaser B. (2014): Wechselwirkung von Kompost und Pflanzenkohle – eine fruchtbare Beziehung? Müll und Abfall Fachzeitschrift für Abfall- und Ressourcen-wirtschaft; Ausgabe 03
- Kühne O., Currin A.M. (2014): Analyse der Nachhaltigkeit der Kompostverwertung in Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland; Universität Saarland; Auftraggeber: Gütegemeinschaft Kompost Region Südwest e.V.
- Kratz S. (2014): Methoden zur Abschätzung der Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor aus Produkten der Abwasserreinigung; JKI – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig,
- Niederösterreichischer Abfallwirtschaftsplan 2018: „Wertvolle“ Abfälle
- Petritz C. (2019): Mais bedarfsgerecht düngen; Landwirtschaftskammer Kärnten
- Römer W. (2013): Phosphor-Düngewirkung von P-Recyclingprodukten; Korrespondenz Abwasser, Abfall (60) Nr.3
- Schröder B. (2018): Phosphor: Lebensspender aus dem Schlamm; telepolis; heisse
- Severin M., Ahl C. Kücke M., Van den Weghe H. und Greef J. (2013): Phosphatlöslichkeiten und Phosphatdüngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung-Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren; Landbauforschung Appl Agric Forestry 3 (63)235-244
- Tauton A.E., Welch S.A., Banfield J.F. (2000): Microbial controls on phosphate and lanthanide distribution during granite weathering and soil formation. Chemical Geology 169, 371-382
- Vanas F. (2016): Aktuelle Situation und zukünftige Entwicklungen bei der Klärschlamm-ent-sorgung in Österreich; Masterarbeit Universität für Bodenkultur Wien Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt
- Wagner A. & Illmer P. (2004): Kompostierung-neue Betrachtung einer alten Technik; Ber.nat.-med.Verein Innsbruck; Band 91: S. 293-321

Waida C. & Weinfurtner K. (2011): Untersuchung der in der Förderinitiative erzeugten Produkte,
Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie Schmallenberg

wien. gv.at, 2019:

<https://www.wien.gv.at/umwelt/ma48/entsorgung/abfallbehandlungsanlagen/aba/kompostwerklobau.html>; 01.12.2019



EVROPSKÁ UNIE

Dieses Material wurde im Rahmen des Projekts ATCZ 42 INTEKO erstellt

2019