

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Sachbericht zum Verbundvorhaben „Agrarsysteme der Zukunft: RUN – Nährstoffgemeinschaften für eine zukunftsfähige Landwirtschaft“

Universität Hohenheim

Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (UHOH-ILB)

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften (UHOH-IPE)

Forschungszentrum für Globale Ernährungssicherung und Ökosysteme (UHOH-GFE)

Förderkennzeichen: 031B0732E

Berichtszeitraum: 01. April 2019 – 31. August 2024

AutorInnen:

Prof. Dr. Christian Lippert (UHOH-ILB), Dr. Tatjana Krimly (UHOH-ILB),
Dr. Sabine Zikeli (UHOH-IPE), Dr. Yawen You (UHOH-IPE), Yvonne Zahumensky
(UHOH-GFE)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 031B0732E gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den AutorInnen.

Stuttgart, 24.03.2025



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM



Rural
Urban
Nutrient
Partnership

TEIL I: Kurzbericht

Inhalt

I. Aufgabenstellung	1
A) UHOH-ILB	1
B) UHOH-IPE	1
C) UHOH-GFE	1
II. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	1
A) UHOH-ILB	1
B) UHOH-IPE	2
C) UHOH-GFE	2
III. Ablauf des Vorhabens	2
A) UHOH-ILB	2
B) UHOH-IPE	3
C) UHOH-GFE	3
IV. Wissenschaftlicher und technischer Stand	4
A) UHOH-ILB	4
B) UHOH-IPE	4
C) UHOH-GFE	4
V. Wesentliche Ergebnisse (+ Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen)	4
A) UHOH-ILB	4
B) UHOH-IPE	5
C) UHOH-GFE	6

I. Aufgabenstellung

A) UHOH-ILB

Aufgabe im Teilmodul II war es zum einen Design-Düngemittel bezüglich der Rentabilität zu analysieren und anhand einzelbetrieblicher aktivitätsanalytischer Modelle für unterschiedliche Betriebstypen die Bedingungen und den möglichen Umfang ihrer Nutzung in der Landwirtschaft zu untersuchen. Zum anderen sollte über Szenarien der Einsatz der neuartigen Düngemittel und die sich ergebenden Stoffstrombeziehungen in den Raum projiziert werden. In Teilmodul III sollten durch Befragungen und Choice-Experimente die Präferenzen der Landwirt/innen ermittelt werden, unter denen mit einem großflächigen Einsatz von Design-Düngemitteln zu rechnen ist. Im Kernmodul war das ILB mit seiner Expertise aus Sicht der Landwirtschaft beratend in die Planung und Gestaltung von Nährstoffkreisläufen in rural-urbanen Räumen eingebunden.

B) UHOH-IPE

Die Aufgaben von AP I.6 / UHOH IPE umfassten a) die Untersuchung der Effizienz der vom Projektpartner USTUTT-ISWA hergestellten Design-Düngemitteln, b) die Entwicklung von Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz dieser Design-Düngemittel und c) die Bewertung der Schadstoffe (Schwermetalle, Spurenstoffe) in den Design-Düngemitteln und einer möglichen Belastung von Pflanzen und Böden durch den Einsatz dieser Dünger.

C) UHOH-GFE

Die Aufgaben von KM.3 umfassten die Projektkommunikation, allgemeine Öffentlichkeitsarbeit, die Dissemination von Forschungsergebnissen, die Stakeholderintegration und den Politikdialog. Das Kernstück war der RUN-Informations- und Erfahrungsraum, ein physischer Informations-, Lern- und Dialograum. Er hatte zum Ziel, das RUN-System lebensweltnah für Besucher/innen erfahrbar zu machen und die Technik in der RUN-Pilotanlage, bzw. die Prozesse im RUN-Kreislaufsystem mit audiovisuellen Medien und Demonstratoren zu veranschaulichen. Die Erarbeitung von niederschweligen und innovativen Kommunikationsmedien stellt dabei eine wichtige Arbeitsweise in KM.3 dar. Die Inbetriebnahme des RUN-Informations- und Erfahrungsraum war der einzige Meilenstein in KM.3.

II. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

A) UHOH-ILB

Der Projektstart verzögerte sich, da leider keine geeignete Doktorandin zur Durchführung der Arbeiten gefunden werden konnte. Nach Absprache mit dem Projektträger wurde eine erfahrenere wissenschaftliche Mitarbeiterin zur Durchführung und Auswertung der Befragungen landwirtschaftlicher Betriebe eingesetzt. Zudem wurde sie durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter mit besonderer Erfahrung im Bereich statistischer Auswertungen und Choice-Experimenten unterstützt. Dadurch konnte die Verzögerung der geplanten Aufgaben aufgeholt werden. Nach Abschluss der ersten Projektteils fand ein Personalwechsel statt. Die weiteren Arbeiten wurden von wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen durchgeführt.

Aufgrund der Beschränkungen durch die Corona Pandemie konnte die Befragung nicht wie geplant in Workshops mit den Betriebsleitern durchgeführt werden, sondern musste online erfolgen. Hierfür war es notwendig ein geeignetes Marktforschungsinstitut zu finden, das über ein Panel von Landwirtinnen verfügt. Die Zusammenarbeit erfolgte mit dem Marktforschungsdienstleister agri experts.

B) UHOH-IPE

Im Rahmen des Projektes RUN wurde über die gesamte Projektlaufzeit eine wissenschaftliche Mitarbeiter/in beschäftigt, da die Aufgabe in RUN nicht durch Stammpersonal zu bearbeiten waren. Im Projektjahr 2021 ergab sich ein Wechsel im wissenschaftlichen Personal, die neue Mitarbeiterin konnte jedoch sofort eingestellt werden. Für die Durchführung der Laboranalysen von Boden und Pflanze sowie für die Durchführung der Gefäßversuche wurde die bestehende Infrastruktur der Universität Hohenheim genutzt.

Um die im Projekt geplanten Arbeiten durchführen zu können, musste eine ausreichende Menge an Design-Düngern (Struvit), die in der RUN-Anlage vom Partner USTUTT-ISWA erst im Labormaßstab und später in der Halbtechnik produziert wurden, vorhanden sein.

Da die Analytik der Spurenstoffe in sehr niedrigen Konzentrationen in Boden und Pflanze sehr anspruchsvoll ist, kann diese nur wenigen Forschungseinrichtungen in Europa durchgeführt werden. An der Universität Hohenheim war dies nicht möglich, daher wurde eine Zusammenarbeit mit dem Wageningen Food Safety Research Lab in den Niederlanden etabliert, so dass die wissenschaftliche Mitarbeiterin dort die Analysen durchführen konnte.

C) UHOH-GFE

Für die Aufgaben in KM.3 wurde eine Wissenschaftliche Mitarbeiterin eingestellt, die über erste journalistische Berufserfahrungen und über Erfahrungen mit der Einbindung von Stakeholdern, Bürgerbeteiligungsverfahren und über interdisziplinären Kompetenzen verfügte. Zum September 2023 gab es einen Personalwechsel und die Stelle wurde im letzten Projektjahr mit einer Absolventin besetzt, die engmaschig von der Projektleitung (vorherige Projektmitarbeiterin) begleitet wurde.

Nur wenn Forschungsergebnisse vorliegen, können sie zielgerichtet kommuniziert werden. Je nach Projektphase und Fortschritt bei Forschungsergebnissen steht die Projektkommunikation und Dissemination oft vor einer Verdichtung von Aufgaben. Verzögerungen bei Forschungsergebnissen (z.B. Realexperiment der RUN-Pilotanlage) verzögerten auch die Projektkommunikation. Das Vorhaben war zudem inter- und transdisziplinär veranlagt. Die damit verbunden unterschiedlichen Sicht- und Arbeitsweisen müssen oft erst erlernt werden. Dieser Prozess ist zeitlich bei der internen Kommunikation nicht zu unterschätzen.

III. Ablauf des Vorhabens

A) UHOH-ILB

Im ersten Projektteil wurden die Online-Befragungen von Landwirtinnen durchgeführt und ausgewertet. Es wurde erhoben, unter welchen Bedingungen (zu welchen Kosten, bei welchen Düngereigenschaften und zu welchen Risiken etc.) Landwirt/innen aus unterschiedlichen Betriebstypen bereit sind, die angedachten Design-Düngemittel zu verwenden. Zudem wurden Rentabilitätsberechnungen durchgeführt und Betriebsmodelle formuliert. Insbesondere in Bezug auf das Nährstoffmanagement sowie die Bilanzierung erfolgte dies in enger Zusammenarbeit mit UHOH-IPE. Im weiteren Verlauf wurden anhand der Betriebsmodelle für unterschiedliche Szenarien Schattenpreise (innerbetriebliche Werte) von Struvit für unterschiedliche Betriebstypen ermittelt.

In multidisziplinären Szenarioworkshops wurden zukünftige Rahmenbedingungen und -annahmen für zu betrachtende Szenarien definiert. Dabei wurde für die zu entwickelnden Szenarien ein Referenzzustand für das Einzugsgebiet des Abwasserzweckverbands Heidelberg abgebildet, für den von UHOH-ILB eine Beschreibung der landwirtschaftlichen Produktion sowie der Nährstoffsituation erarbeitet wurde, um einen Berechnungsrahmen für die formulierten Szenarien zu erstellen. Dies erfolgte in Zusammenarbeit mit USTUTT-ILPÖ, TI-AT und KIT-ITAS.

B) UHOH-IPE

Im ersten Projektteil konnten, bedingt durch die Corona-Pandemie, aufgrund der nicht vorhandenen Düngemittel lediglich Nährstoffbilanzen und Düngebedarfe für Modellbetriebe in der Metropol-Region Rhein-Neckar kalkuliert werden, hier erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit UHOH-ILB. Die Planung und Durchführung der Gefäßversuche und Analysen erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Partner USTUTT-ISWA. Ursprünglich war geplant, bereits im ersten Projektjahr mit der Analyse der vom USTUTT-ISWA erzeugten Düngemittel, vor allem der Struvite und der Lösungen aus den Fällungsreaktionen zu beginnen. Aufgrund technischer Schwierigkeiten und Verzögerungen durch die Corona-Pandemie standen die ersten Struvite erst im Jahr 2022 zur Verfügung. Basierend auf den Ergebnissen zu den Nährstoffgehalten in den Düngern wurden in Gefäßversuchen die Düngewirkung in unterschiedlichen Kulturen und Gemengeanbausystemen untersucht und die Nährstoffeffizienz bewertet, ebenso wie Strategien zur Steigerung der Düngewirkung. In den Laboranalysen wurden der Nährstoff- und Schadstoffgehalt in den Design-Düngemitteln untersucht. In den Gefäßversuchen wurden die Nährstoffeffizienz, die Strategien zur Verbesserung der Effizienz und die Übertragung von Schadstoffen aus der Fällungslösung in die Design- Düngemittel bewertet. Basierend auf den Rückmeldungen der Gutachter für die Projektverlängerung wurden von USTUTT-ISWA mit Spurenstoffen gespikte Struvite hergestellt. Diese wurden dann in hydroponischen Systemen sowie im Gefäßversuch eingesetzt um das Risiko des Schadstoffstransfers vom Düngemittel in die Pflanze zu bewerten.

C) UHOH-GFE

UHOH-GFE erarbeitete im ersten Projektjahr allgemeines Informationsmaterial (Flyer, Roll-ups, Grafiken, Videos, Projekt-Homepage), ein Corporate Design, eine Kommunikationsstrategie und eine Akteursanalyse zu wichtigen Stakeholdern für das Projekt. Ab dem zweiten Projektjahr stand die Planung, Konzeption, Ausschreibung und der Bau des RUN-Informations- und Erfahrungsraums im Fokus, sowie Veranstaltungen der Öffentlichkeitsarbeit und Stakeholder-Workshops, um die RUN-Idee mit künftigen Nutzer/innen zu diskutieren. Durch die Corona-Krise kam es zu deutlichen Verzögerungen bei der Planung des RUN-Informations- und Erfahrungsraums, später zu größeren planerischen Herausforderungen aufgrund von Preissteigerungen, Standortwechsel der RUN-Pilotanlage sowie Verzögerungen bei der Inbetriebnahme der Pilotanlage. Unter anderem die Abhängigkeit von Forschungsergebnissen führte zu einer Verdichtung der kommunikativen Aufgaben zum Projektende hin mit entsprechenden Herausforderungen. Ab dem vierten Projektjahr rückten der Politikdialog und die Organisation der RUN-Abschlussveranstaltung in den Fokus. Vernetzungsaktivitäten und der Aufbau eines Stakeholder-Netzwerks gestalteten sich schwierig. Den absoluten Schwerpunkt bildete in Projektteil 2 die Erreichung des Meilensteins „Inbetriebnahme des Informations- und Erfahrungsraums“.

Teilnahme an projektinternen Veranstaltungen aller UHOH-Partner:

- 2019 – 2024: Teilnahme an den Gesamtprojekttreffen (UHOH-IPE, UHOH-ILB und UHOH-GFE)
- 4./5.02.2020: Teilnahme am AdZ-Statusseminar (UHOH-ILB, UHOH-IPE und UHOH-GFE)
- 18.02.2020: Durchführung eines Workshops mit Landwirt/innen zur Ermittlung der Risikowahrnehmung und Akzeptanzkriterien gegenüber Design-Düngern zur Vorbereitung der Befragung in Heidelberg-Kirchheim (UHOH-ILB).
- 2020 – 2023: Teilnahme an 19 Diskussionsworkshops der Arbeitsgruppe Szenarien (virtuell) (UHOH-ILB)
- 2020-2024: Teilnahme an Teilprojektleitertreffen (UHOH-ILB)
- 3.03.2021: Teilnahme am Stakeholderworkshop (UHOH-ILB und UHOH-IPE)
- 19.04.2021: Teilnahme am Projektbeiratstreffen (UHOH-ILB, UHOH-IPE und UHOH-GFE)

- 20.09.2021: Teilnahme an Gesprächsrunde „Mit der RUN-Technologie Zukunft planen“ (KM1) (UHOH-ILB)
- 28./29.09.2021: Teilnahme am AdZ-Statusseminar (UHOH-ILB, UHOH-IPE und UHOH-GFE)
- 14.01.2022: Teilnahme am Stakeholderworkshop (UHOH-ILB und UHOH-GFE)
- 5./6.10.2022: Teilnahme am AdZ-Statusseminar (UHOH-IPE)
- 9.12.2022: Mitarbeit an der Vorbereitung und Teilnahme am Szenarien-Workshop in Stuttgart (UHOH-ILB und UHOH-GFE)
- 27./28.9.2023: Teilnahme am AdZ-Statusseminar (UHOH-IPE, UHOH-GFE)
- 7./8.10.2024: Teilnahme am Stakeholderworkshop und an der RUN-Abschlusskonferenz (UHOH-ILB, UHOH-IPE)

IV. Wissenschaftlicher und technischer Stand

A) UHOH-ILB (Auswahl der wichtigsten Fachliteratur und Webanwendungen)

- Hensher, D.A., J.M. Rose and W.H. Greene (2015): Applied Choice Analysis. 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Mc Fadden, D. (1974): Conditional Logit Analysis and Qualitative Choice Behavior. In: Zarembka, P. (ed.): Frontiers in Econometrics. Academic Press, New York: 105-142.
- Mußhoff, O. und N. Hirschauer (2016): Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. 4. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München.
- Kalkulationsdaten und Webanwendungen zur Betriebsplanung von KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.), LfL (Landesanstalt für Landwirtschaft) und LEL (Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum)
- Daten des Statistischen Bundesamts sowie der Statistischen Landesämter

B) UHOH-IPE

Im Rahmen von RUN wurde auf die üblichen wissenschaftlichen Datenbanken wie Scopus u.ä. zugegriffen, die an den deutschen Hochschulen zur Verfügung stehen. Darüberhinausgehende Informations- und Dokumentationsdienste wurden nicht genutzt.

C) UHOH-GFE

Die Projektmitarbeiterin in KM.3 stützte sich auf etablierte Strategien der Öffentlichkeitsarbeit, hat zum Beispiel Techniken des Storytellings eingesetzt und unterschiedliches Leseverhalten in den Informationsmaterialien berücksichtigt. Auch wurde ein starker Fokus auf die Visualisierung von komplexen Zusammenhängen gelegt.

V. Wesentliche Ergebnisse (+ Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen)

A) UHOH-ILB

Die Befragung konventionell wirtschaftender Landwirt/innen in Deutschland hat gezeigt, dass bei der Mehrheit keine grundsätzlichen Vorbehalte gegen „Design-Düngemittel“, die aus häuslichem Abwasser und Küchenabfällen gewonnen werden, besteht. Die Verwendung können sie sich am ehesten auf Flächen vorstellen, deren Erzeugnisse nicht für den direkten menschlichen Konsum bestimmt sind. Für rund zwei Drittel der Landwirt/innen ist die Keimfreiheit und für fast ebenso viele die Arzneimittelfreiheit von ganz besonderer Bedeutung und für jeweils knapp die Hälfte eine gute Streuqualität des Düngers, niedrige Schwermetallgehalte und verlässliche Nährstoffgehalte. Für die meisten ist der Reinnährstoffpreis eine wichtige Größe. Die Ergebnisse des Choice Experiments zeigen, dass Landwirt/innen, die keine Non-Food-Produkte erzeugen und keine Direktvermarktung betreiben, einen Recyclingdünger nur bei einem Preisabschlag von etwa 10% akzeptieren würden. Die durchschnittliche

Zahlungsbereitschaft sinkt erheblich, wenn der Schwermetallgehalt relativ hoch ist und das Fehlen von Arzneimittelrückständen nicht garantiert werden kann.

Um die potenzielle Nachfrage nach Struvit auf Betriebsebene abzuleiten wurden unterschiedliche Modellbetriebe mithilfe der linearen Programmierung optimiert. Im Allgemeinen können die hieraus abgeleiteten Schattenpreise von Struvit als Höchstpreise interpretiert werden, zu denen es an die jeweiligen landwirtschaftlichen Betriebe verkauft werden könnte. Im konventionellen Ackerbau stellen sie in der Regel relative Zukaufswerte als Ersatz ansonsten zugekaufter Handelsdünger dar, können aber auch als Veredlungswerte interpretiert werden, wenn durch eine zusätzliche Gabe von Struvit andere Kulturen angebaut werden können. Es stellt sich die Frage, ob alle Landwirt/innen die berechneten Schattenpreise, die in gewisser Weise die Obergrenze ihrer Zahlungsbereitschaft darstellen, tatsächlich zahlen würden. In der realen Welt sind die Kosten und Ertragsniveaus sowie die Präferenzen der Landwirt/innen heterogen, was zu differenzierten Schattenpreisen und folglich zu einer aggregierten abgestuften Struvit-Nachfragefunktion führt. Die aus unseren Modellbetrieben gewonnenen Schattenpreise dürften jedoch die Größenordnungen der landwirtschaftlichen Zahlungsbereitschaften für Recyclingdünger recht gut widerspiegeln.

B) UHOH-IPE

Struvit aus dem RUN-Verfahren hat eine ähnliche Nährstoffkonzentration und P-Düngewirkung wie andere Struvite aus anderen Herstellungsprozessen. Faktoren wie Partikelgröße, Ausbringungsmethode, Boden-pH-Wert und Pflanzentyp könnten die Düngewirkung von Struvit beeinflussen. Wurde den die RUN-Struvite als feine Partikel ausgebracht und gleichmäßig mit dem Boden vermischt, zeigte sich im Gefäßversuch eine ähnliche Düngewirkung wie bei handelsüblichen P-Düngern. In den Gefäßversuchen führten Strategien wie der Gemengeanbau mit Leguminosen oder eine modellhafte Fruchtfolge mit unterschiedlichen Kulturen jedoch nicht zu einer signifikanten Erhöhung des Ertrags oder der P-Nutzungseffizienz, wenn die RUN-Struvite im Wurzelraum als Unterfußdüngung platziert wurden, was einer Ausbringung in der landwirtschaftlichen Praxis entspricht. Die Ausbringung von RUN-Struvit erhöhte jedoch den verfügbaren P im Boden. Allerdings wurden im Rahmen des Projektes keine kurz- und langfristigen Feldversuche durchgeführt. Diese sind jedoch notwendig, um die Eignung von Struviten aus dem RUN-Verfahren als Düngemittel für Landwirtschaft und Gartenbau zu prüfen.

Das Risiko einer Verunreinigung des RUN-Struvits durch Schwermetalle und organische Schadstoffe ist gering, da in dem aus Küchenabfällen und Schwarzwasser hergestellten Struvit keine kritischen Mengen an Schwermetallen oder organischen Schadstoffen gefunden wurden. Die Kontamination durch Spurenstoffrückstände in Struvit wird derzeit für die Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Publikation mit Peer-Review vorbereitet. Aus Gründen der Vertraulichkeit wird der Inhalt dieses Teils in diesem Bericht nicht wiedergegeben. Die entsprechende Veröffentlichung wird nachgereicht, sobald sie veröffentlicht ist.

Innerhalb des RUN-Konsortiums wurde vor allem mit folgenden Partnern kooperiert:

- Die Design- Düngemittel wurden vom Partner in AP 1.5 (USTUT-ISWA) bereitgestellt. Die Menge und die spezifischen Anforderungen an die Design-Düngemittel (Struvit) wurden mit dem Partner ISWA abgesprochen.
- Wissensaustausch mit AP II.2 und II.3 (UHOH-ILB) zur Rentabilität des Einsatzes der Düngemittel sowie zur Modellierung von Betrieben und Nährstoffmanagement (Projektteil I)
- Wissensaustausch mit AP II.5 (TI-AT) und AP II.7 (KIT-ITAS, TI-AT, USTUTT-ILPÖ, USTUTT-ISWA, Projektteil I und II).

Extern erfolgte die Zusammenarbeit mit folgendem Partner:

- Zusammenarbeit mit Wageningen Food Safety Research zur Analyse der Spurenstoffe in den Struviten und zur Bewertung der Risiken für Boden, Pflanze und Mensch.

C) UHOH-GFE

- Die Aufgaben in KM.3 waren Schnittstellenaufgaben und erforderten die Zusammenarbeit mit allen Arbeitspaketen und Projektpartnern, mit Fachexperten, Medienagenturen und Dienstleistern unterschiedlichster Art außerhalb des Projekts.
- Konzeption, Bau und Inbetriebnahme des RUN-Informations- und Erfahrungsraums
- Planung und Organisation einer Abschlussveranstaltung am Umwelt-Campus Birkenfeld
- Erarbeitung eines Policy Briefs (noch nicht publiziert)
- Organisation von drei Stakeholderworkshops
- Produktion eines Science Comics
- AdZ-Infostand bei den Tagen der offenen Tür der Universität Hohenheim für die Hohenheimer AdZ-Projekte
- Erstellung von Materialien für Öffentlichkeitsarbeit, zwei Projektgrafiken, drei Projektfilme
- Entwicklung Projekthomepage (www.run-projekt.de)
- Projektseite auf Research Gate und X-Account (ehemals Twitter)

TEIL II: Eingehende Darstellung

Inhalt

I. Wesentliche Ergebnisse	2
A) UHOH-ILB	2
1. Potenzieller Bedarf unterschiedlicher landwirtschaftlicher Betriebstypen in Baden-Württemberg an recycelten Mineraldüngern aus Abwasser (AP II.2 und II.3).....	2
1.1 Ergebnisse der konventionellen Modellbetriebe	2
1.2 Ergebnisse des ökologischen Modellbetriebs	5
1.3 Interpretation der Schattenpreise und Schlussfolgerungen	5
2. Szenarien (AP II.7)	6
3. Akzeptanz von neuartigen Design-Düngemitteln bei Landwirt/innen (AP III.3).....	6
3.1 Ergebnisse der Befragung und des Discrete Choice Experiments konventioneller Betriebe....	6
3.2 Ergebnisse der Befragung von Öko-Betrieben	7
4. Planung und Gestaltung von Nährstoffkreisläufen in rural-urbanen Räumen (KM1)	8
B) UHOH-IPE.....	8
1. Analyse der Design-Düngemittel.....	8
1.1 Struvit.....	8
1.2 Beladener Zeolith.....	9
1.3 Nebenprodukte des Verfahrens (unbehandeltes Retentat und Pflanzenkohle.....	9
2. Effizienz von Design-Düngemitteln: Gefäßversuche	9
2.1 Kurz- und langfristige Düngewirkung von Struvit	9
2.2 Strategie I: Getreide-Leguminosen-Fruchtfolge	10
2.3 Strategie II: Getreide-Leguminosen-Gemengeanbau.....	10
2.4 Strategie III: Einsatz von Struvit in Fertigationssystemen.....	11
3. Kontaminationsrisiko für Boden, Pflanze und Mensch durch die Anwendung von RUN-Struvit	12
3.1 Langfristige Anreicherung von Schwermetallen durch Düngung mit Struviten.....	12
3.2 Kontamination durch Spurenstoffrückstände in Struvit – Ermittlung der Risiken für Boden, Pflanze und Mensch.....	12
C) UHOH-GFE	12
1. Aufbau und Beschickung einer virtuellen Plattform.....	12
2. Kommunikation allgemeine Öffentlichkeit	12
3. Vernetzung und Fachberatung	14
4. Informations- und Erfahrungsraum.....	15
II. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses	16
A) UHOH-ILB	16
B) UHOH-IPE.....	16
C) UHOH-GFE	17

III. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	17
III. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen.....	17
A) UHOH-ILB	17
1. Vorträge von Christian Lippert	17
2. Veröffentlichungen	17
B) UHOH-IPE.....	18
1. Geplante Veröffentlichungen.....	18
2. Projektarbeiten (Mastermodule)	18
3. Masterarbeit	18
4. Konferenzteilnahmen und Vorträge.....	18
C) UHOH-GFE	18
1. Veranstaltungen	18
2. Presse	18
3. Vorträge	19
4. Fachpublikation.....	19

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schattenpreis von Struvit bei unterschiedlichen Angebotslevels von Struvit für den Milchviehmodellbetrieb im <i>Szenario mit verdreifachten Düngemittelpreisen</i>	5
Abbildung 2: Rhizoboxen und Visualisierung der Düngerausbringung im Gemengeanbau ein Beispiel für Gemengeanbau und Düngerausbringung (Unterfuß-Depotdüngung)	12
Abbildung 3: Interaktives Stimmungsbarometer am Tag der offenen Tür Universität Hohenheim	15
Abbildung 4: Titelseite RUN Science Comic	15
Abbildung 5: Innenraum des RUN Informations- und Erfahrungsraums	17

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Preise und Nährstoffe der in den konventionellen Betriebsmodellen formulierten mineralischen Düngemittel	3
Tabelle 2: Landnutzung und Einsatz mineralischer Düngemittel des optimierten <i>Ackerbaumodellbetriebs</i>	4
Tabelle 3: Landnutzung und Einsatz mineralischer Düngemittel des optimierten <i>Milchviehmodellbetriebs</i>	5
Tabelle 4: Landnutzung und Düngemittleinsatz des optimierten ökologischen Ackerbaumodellbetriebs	6
Tabelle 5: Saldo Gesamtausgaben UHOH-Partner bis Projektende am 31.08.2024	21

I. Wesentliche Ergebnisse

A) UHOH-ILB

1. Potenzieller Bedarf unterschiedlicher landwirtschaftlicher Betriebstypen in Baden-Württemberg an recycelten Mineraldüngern aus Abwasser (AP II.2 und II.3)

Um die potenzielle Nachfrage nach Struvit auf Betriebsebene abzuleiten, wurden lineare Programmierungsmodelle erstellt (Mußhoff und Hirschauer, 2016). Im Folgenden werden die Modellierungsergebnisse von zwei konventionellen Betriebstypen und einem ökologisch wirtschaftenden Betrieb dargestellt. Dabei wird in einem Basisszenario zunächst von Produktpreisen und Produktionskosten vor dem russischen Überfall auf die Ukraine ausgegangen. Schließlich wird ein zweites Szenario vorgestellt, bei dem die Struvitnachfrage für den Fall eines von hohen Energiepreisen getriebenen Düngemittelmarktes und hohen Dieselpreisen abgeleitet wird. In allen Modellläufen zu den beiden Szenarien wird den Modellbetrieben kostenlos Struvit angeboten. Diese kostenlose Lieferung ist jedoch begrenzt. Die entsprechende Beschränkung wird schrittweise gelockert, um die Struvit-Schattenpreise und ihre gültigen Mengengebiete für jede analysierte Modellbetriebsumgebung zu ermitteln.

1.1 Ergebnisse der konventionellen Modellbetriebe

Im Folgenden werden die Optimierungsergebnisse bezüglich des Produktionsprogramms und der Düngestrategie eines Ackerbaummodellbetriebs und eines Milchviehmodellbetriebs für in Baden-Württemberg übliche Verhältnisse präsentiert. Tabelle 1 gibt die gängigen Mineraldünger an, die den konventionellen Modellbetrieben im Basisszenario angeboten werden, sowie deren Nährstoffgehalt.

Tabelle 1: Preise und Nährstoffe der in den konventionellen Betriebsmodellen formulierten mineralischen Düngemittel

Mineral fertilizer	Preis [€/t]	N-Gehalt [kg/t]	P-Gehalt [kg/t]	K-Gehalt [kg/t]
Kalkammonsalpeter (KAS)	231	270	-	-
Harnstoff	300	460	-	-
Ammonsulfatsalpeter ^{a)} (ASS)	246	260	-	-
Diammonphosphat (DAP)	420	180	201	-
PK-Dünger	220	-	52	199
Kali-Dünger	310	-	-	498
Struvit (MAP) ^{b)}	...	50	120	-

^{a)} Der Preis für ASS wurde gemäß dem Preisverhältnis von KAS zu ASS berechnet nach Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz (2021).

^{b)} Struvit wird den Modellbetrieben kostenlos angeboten, um seinen Schattenpreis in Abhängigkeit des Betriebstyps zu ermitteln.

Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL (2020), Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz (2021)

Im Ackerbaummodellbetrieb ändert sich im *Basisszenario* die Landnutzung nicht, wenn Struvit kostenlos angeboten wird. Eine sukzessive Erhöhung des Struvitangebots führt zu einer proportionalen Substitution des N-P-Düngers DAP durch Struvit und einer gleichzeitigen Erhöhung der Gabe von KAS, um den im Vergleich zu DAP geringeren N-Gehalt von Struvit auszugleichen (Tabelle 2). Im *Szenario mit verdreifachten Düngemittelpreisen* und ohne ein kostenloses Angebot von Struvit, wird mehr Braugerste (mit einem relativ geringen Nährstoffbedarf) bis zur zulässigen Fruchtfolgegrenze angebaut und der Anbau von Winterweizen und Raps gegenüber dem *Basisszenario* eingeschränkt. Eine sukzessive Erhöhung des kostenlosen Angebots an Struvit führt zunächst zu einer anteiligen Substitution von DAP durch Struvit und einer gleichzeitigen Erhöhung von KAS. Dies geschieht bis zu einer verfügbaren Struvitquote von 0,177 t/ha. Bei weiterer Erhöhung des kostenlosen Struvitangebots wird Braugerste sukzessive durch Raps ersetzt und der Schattenpreis für Struvit sinkt von 605 auf 394 €/t.

Tabelle 2: Landnutzung und Einsatz mineralischer Düngemittel des optimierten Ackerbaumodellbetriebs

	Landnutzung ohne Struvit	Landnutzung mit kostenlosem Struvit	Landnutzung ohne Struvit	Landnutzung mit kostenlosem Struvit
	Basisszenario		Verdreifachte Düngemittelpreise ^{a)}	
Optimierter Anbau				
Stilllegung	4,4 ha	4,4 ha	4,4 ha	4,4 ha
Winterweizen	36,3 ha	36,3 ha	11,0 ha	11,0 ha
Braugerste	22,0 ha	22,0 ha	71,5 ha	47,3 ha
Zuckerrübe	11,0 ha	11,0 ha	11,0 ha	11,0 ha
Winterraps	25,3 ha	25,3 ha	1,1 ha	25,3 ha
Kartoffeln	11,0 ha	11,0 ha	11,0 ha	11,0 ha
Ölrettich	11,0 ha	11,0 ha	11,0 ha	11,0 ha
Optimierter Düngereinsatz				
KAS	0,271 t/ha	0,314 t/ha	0,263 t/ha	0,308 t/ha
Harnstoff	0,054 t/ha	0,054 t/ha	0,016 t/ha	0,016 t/ha
ASS	0,037 t/ha	0,037 t/ha	0,002 t/ha	0,037 t/ha
DAP	0,125 t/ha	-	0,106 t/ha	-
Kali-Dünger	0,119 t/ha	0,119 t/ha	0,114 t/ha	0,116 t/ha
Struvit (MAP)	-	0,209 t/ha	-	0,197 t/ha
MAP Schattenpreis	200,38 €/t	0,00 €/t	605,13 €/t ^{b)}	0,00 €/t

^{a)} Die Preise für Diesel und die in Tabelle 1 genannten Düngemittel wurden um 200% erhöht, die übrigen Modellannahmen entsprechen dem *Basisszenario*.

^{b)} Schattenpreis bis zu einer Struvitgabe von 0,177 t pro ha; ab dieser Menge wird Braugerste sukzessive durch Winterraps ersetzt, was zu einem niedrigeren Struvitpreis in Höhe von 393,55 €/t führt.

Quelle: Darstellung auf der Basis eigener Modellrechnungen

Der konventionelle Milchviehmodellbetrieb zeigt im *Basisszenario* bei kostenloser Abgabe von Struvit ähnliche Reaktionen wie der Ackerbaumodellbetrieb (Tabelle 3). Im *Szenario mit verdreifachten Düngemittelpreisen* und ohne ein kostenloses Angebot von Struvit baut der Milchviehmodellbetrieb im Vergleich zum *Basisszenario* mehr Silomais und Kleegras und weniger Raps und Winterweizen an. Gleichzeitig geht die Futterproduktion auf dem Grünland zurück. Nur 36 % des Grünlands des Betriebs werden jetzt für die Futterproduktion genutzt. Dies geschieht bis zu einer verfügbaren Struvitquote von 0,010 t Struvit pro ha (Abbildung 1). Ab diesem Zeitpunkt wird bei weiter steigendem Struvitangebot Kleegras sukzessive durch Raps ersetzt und zusätzliche Grünlandfläche genutzt. Darüber hinaus wird DAP durch Struvit und kommerzielle N-Dünger ersetzt. Infolgedessen fällt der Schattenpreis von Struvit von 605 auf 350 €/t, bis eine Struvitquote von 0,014 t pro ha erreicht ist. Von da an wird Kleegras vollständig und Silomais sukzessive durch Raps ersetzt und es wird wieder zusätzliches Grünland genutzt, was zu einem niedrigeren Schattenpreis für Struvit von 184 €/t führt.

Tabelle 3: Landnutzung und Einsatz mineralischer Düngemittel des optimierten Milchviehmodellbetriebs

	Landnutzung ohne Struvit	Landnutzung mit kostenlosem Struvit	Landnutzung ohne Struvit	Landnutzung mit kostenlosem Struvit
	Basisszenario		Verdreifachte Düngemittelpreise ^{a)}	
Optimierter Anbau				
Stilllegung	1,3 ha	1,3 ha	1,3 ha	1,3 ha
Winterweizen	1,9 ha	1,9 ha	-	-
Wintergerste	13,2 ha	13,2 ha	13,2 ha	13,2 ha
Maissilage	5,1 ha	5,1 ha	16,0 ha	14,2 ha
Kleegras	-	-	0,8 ha	-
Winterraps	10,6 ha	10,6 ha	0,7 ha	3,3 ha
Grassilage (4 Schnitte)	6,5 ha	6,5 ha	-	-
Grassilage (2 Schnitte)	33,1 ha	33,1 ha	14,2 ha	20,7 ha
Heu (2 cuts)	3,4 ha	3,4 ha	1,3 ha	1,3 ha
Optimierter Düngereinsatz				
KAS	0,151 t/ha	0,163 t/ha	0,109 t/ha	0,120 t/ha
Harnstoff	0,036 t/ha	0,036 t/ha	-	0,008 t/ha
ASS	0,023 t/ha	0,023 t/ha	0,001 t/ha	0,007 t/ha
DAP	0,037 t/ha	-	0,006 t/ha	-
Kali-Dünger	0,043 t/ha	0,043 t/ha	0,001 t/ha	0,006 t/ha
Struvit (MAP)	-	0,062 t/ha	-	0,022 t/ha
MAP Schattenpreis	200,38 €/t	0,00 €/t	605,13 €/t ^{b)}	0,00 €/t

^{a)} Die Preise für Diesel und die in Tabelle 1 genannten Düngemittel wurden um 200% erhöht, die übrigen Modellannahmen entsprechen dem *Basisszenario*.

^{b)} Schattenpreis bis zu einer Struvitgabe von 0,010 t Struvit pro ha; ab dieser Menge wird Kleegras sukzessive durch Winterraps und zusätzlich genutztes Grünland ersetzt, was zu einem Rückgang des Schattenpreises von Struvit auf 349,65 €/t führt. Ab einer Struvitgabe von 0,014 t wird der Anbau von Kleegras eingestellt und die Maissilage sukzessive durch den Anbau von Winterraps und die Nutzung von zusätzlichem Grünland ersetzt, was in einer weiteren Abnahme des Preises für Struvit auf 184,16 €/t resultiert.

Quelle: Darstellung auf der Basis eigener Modellrechnungen

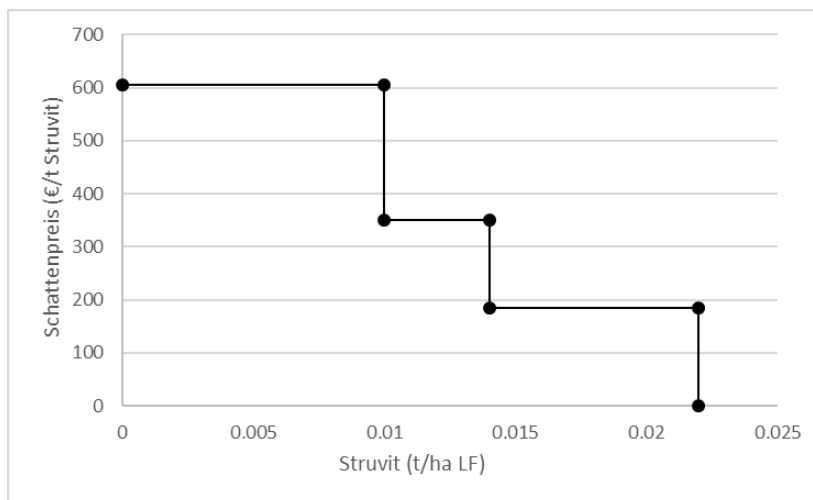


Abbildung 1: Schattenpreis von Struvit bei unterschiedlichen Angebotslevels von Struvit für den Milchviehmodellbetrieb im *Szenario mit verdreifachten Düngemittelpreisen*

Quelle: Darstellung auf der Basis eigener Modellrechnungen

1.2 Ergebnisse des ökologischen Modellbetriebs

In dem ökologischen Ackerbaubetriebsmodell werden, neben kostenlosem Struvit, die im Öko-Landbau zugelassenen Handelsdünger Weicherdiges Rohphosphat (300 €/t, 113 kgP/t) und Kali Magnesia (380 €/t, 249 kgK/t) angeboten (KTBL, 2020; LfL, 2019).

Im *Basisszenario* führt eine sukzessive Erhöhung des Struvitangebots zu einer Substitution des weicherdigen Rohphosphats durch Struvit und einer gleichzeitigen Zunahme des Erbsenanbaus bei Einschränkung der als Stickstoffquelle wirkenden Klee grasbrache, weil nun zusätzlich N aus dem Struvit bereitsteht (Tabelle 4). Im *Szenario mit verdreifachten Düngemittelpreisen* und ohne ein kostenloses Angebot von Struvit, baut der ökologische Ackerbaumodellbetrieb mehr Winterweizen (mit einem zwar höheren N-, aber geringerem P- und K-Bedarf) bis zur zulässigen Fruchtfolgegrenze an und schränkt den Anbau von Dinkel gegenüber dem *Basisszenario* ein. Zudem wird die Klee grasbrache ausgedehnt und der Anbau von Erbsen eingeschränkt. Eine sukzessive Erhöhung des kostenlosen Angebots an Struvit führt, aufgrund der zusätzlichen N-Lieferung des Struvits, wiederum zu einer Ausdehnung des Erbsenanbaus und einer Abnahme der Klee grasbrache. Zudem wird kein weicherdiges Rohphosphat mehr eingesetzt.

Tabelle 4: Landnutzung und Düngemittleinsatz des optimierten ökologischen Ackerbaumodellbetriebs

	Landnutzung ohne Struvit	Landnutzung mit kostenlosem Struvit	Landnutzung ohne Struvit	Landnutzung mit kostenlosem Struvit
	Basisszenario		Verdreifachte Düngemittelpreise ^{a)}	
Optimierter Anbau				
Winterweizen	10,0 ha	10,0 ha	25,0 ha	25,0 ha
Dinkel	25,0 ha	25,0 ha	10,0 ha	10,0 ha
Körnermais	15,0 ha	15,0 ha	15,0 ha	15,0 ha
Kartoffeln	20,0 ha	20,0 ha	20,0 ha	20,0 ha
Erbsen	7,4 ha	12,5 ha	2,8 ha	7,7 ha
Klee grasbrache	22,6 ha	17,5 ha	27,2 ha	22,3 ha
Zwischenfrucht	42,4 ha	47,5 ha	37,8 ha	42,7 ha
Optimierter Düngereinsatz				
Weicherdiges Rohphosphat	0,100 t/ha	-	0,099 t/ha	-
Kali Magnesia	0,145 t/ha	0,151 t/ha	0,138 t/ha	0,143 t/ha
Struvit (MAP)	-	0,099 t/ha	-	0,098 t/ha
MAP Schattenpreis	508,45 €/t	0,00 €/t	1003,35 €/t	0,00 €/t

^{a)} Die Preise für Diesel und die in Tabelle 2 genannten Düngemittel wurden um 200% erhöht, die übrigen Modellannahmen entsprechen dem *Basisszenario*.

Quelle: Darstellung auf der Basis eigener Modellrechnungen

1.3 Interpretation der Schattenpreise und Schlussfolgerungen

Die Analyse basiert auf der allgemeinen Annahme, dass die in den Modellen angebotenen handelsüblichen Mineraldünger konventioneller Betriebe zu den Preisen der jeweiligen Szenarien verfügbar sind. Im Falle des konventionellen Ackerbaus sind die Struvit-Schattenpreise daher als „relative Zukaufswerte“ (siehe MUBHOFF and HIRSCHAUER, 2016: 489ff.) zu betrachten. Sie ergeben sich aus den ansonsten (d. h. wenn Struvit nicht verfügbar wäre) zugekauften Mengen an Mineraldüngern, die geeignet sind, eine Tonne Struvit zu ersetzen, indem sie den gleichen Ertragseffekt erzielen, den diese Tonne in der jeweiligen betrieblichen Anbausituation erzielen würde. Eine

Ausnahme bildet der zweite berechnete Schattenpreis im *Szenario mit verdreifachten Düngemittelpreisen* bei dem konventionellen Ackerbaumodellbetrieb (394 €/t, siehe Fußnote b) in Tabelle 2). Hier ermöglicht die Gabe einer weiteren Tonne Struvit dem Modellbetrieb, mehr Winterraps auf Kosten der Braugerste zu produzieren. Die entsprechenden zusätzlichen Verkaufserlöse für den Raps abzüglich der damit verbundenen variablen Kosten und der Opportunitätskosten für die erforderliche Ackerfläche (in Bezug auf den entgangenen Deckungsbeitrag bei Braugerste) bestimmen diesen Schattenpreis, der dann als eine Art „Veredlungswert“ (siehe Mußhoff und Hirschauer, 2016: 491) zu betrachten ist. Im Allgemeinen können die abgeleiteten Schattenpreise von Struvit als Höchstpreise interpretiert werden, zu denen Struvit an die jeweiligen Betriebe verkauft werden könnte. Da Biobetriebe im Gegensatz zu konventionellen Betrieben anfälliger für Nährstoffknappheit sind und nicht auf relativ günstige Mineraldünger zurückgreifen können, sind die Schattenpreise für Struvit bei ihnen erheblich höher.

Es stellt sich die Frage, ob Landwirte wirklich die berechneten Schattenpreise, die in gewisser Weise die Obergrenze ihrer Zahlungsbereitschaft darstellen, zahlen würden. In der realen Welt sind die Kosten und Ertragsniveaus der Landwirte heterogen und unterscheiden sich von den Durchschnittswerten, die den Modellen zugrunde liegen. Folglich führen Kosten-, Ertrags- und Präferenzheterogenität zu einer aggregierten Struvit-Nachfragefunktion, die der in Abbildung 1 für einen einzelnen Milchviehmodellbetrieb dargestellten ähnelt, jedoch mit viel mehr „Stufen“ dazwischen. Die aus unseren Modellbetrieben gewonnenen Schattenpreise dürften jedoch die Größenordnungen der Zahlungsbereitschaften für Recyclingdünger gut wiedergeben.

Detaillierte Ausführungen zur Betriebsmodellierung finden sich in der Anlage 1 des ILB.

2. Szenarien (AP II.7)

Für die Beschreibung der Ist-Situation der landwirtschaftlichen Produktion im Einzugsgebiet des Abwasserzweckverbands Heidelberg als Ausgangssituation für die Szenarien wurden von UHOH-ILB Kenngrößen zur Produktionsstruktur, Betriebsstruktur (Betriebstypen), Flächennutzung, Anbauumfänge einzelner Kulturarten, Erträge und zum Umfang der Tierhaltung zusammengestellt. Anhand der Flächenumfänge der angebauten Ackerkulturen und des Grünlands und deren Durchschnittserträgen wurden die Düngebedarfe für die Hauptnährstoffe N, P und K für das Einzugsgebiet abgeschätzt. Das Wirtschaftsdüngeraufkommen wurde über die Tierhaltung abgeschätzt. Insgesamt lässt die lückenhafte und unscharfe Datenlage nur grobe Schätzungen zum Nährstoffbedarf auf den Acker- und Grünlandflächen sowie zur Nährstofflieferung aus der Tierhaltung im Einzugsgebiet zu. Die Schätzungen bilden einen Berechnungsrahmen für die im Rahmen der Szenarioworkshops diskutierten und formulierten möglichen Zukunftsszenarien (für Details zur Beschreibung der Ist-Situation sowie den abgeleiteten Szenarien siehe Abschlussbericht der Universität Stuttgart).

3. Akzeptanz von neuartigen Design-Düngemitteln bei Landwirt/innen (AP III.3)

Hinsichtlich des möglichen Einsatzes von Design-Düngemitteln, die aus häuslichem Abwasser und Küchenabfällen hergestellt werden, wurden deutschlandweite Online-Umfragen durchgeführt, um die Sichtweise und Einstellung von konventionell und ökologisch wirtschaftenden Landwirt/innen zu deren Einsatz zu untersuchen.

3.1 Ergebnisse der Befragung und des Discrete Choice Experiments konventioneller Betriebe

Die Online-Befragung konventionell wirtschaftender Landwirt/innen wurde im November 2020 über das Panel des Marktforschungsinstituts „agri EXPERTS“ durchgeführt. Es wurden unter anderem die Einstellung zu Design-Düngemitteln und die Präferenzen zu ausgewählten Eigenschaften solcher Düngemittel abgefragt sowie ein Discrete Choice Experiment durchgeführt. Zuvor, im Februar 2020, wurde ein Workshop mit Landwirt/innen zu Design-Düngemitteln aus häuslichem Abwasser und

Küchenabfällen in Heidelberg-Kirchheim durchgeführt und aus den Ergebnissen geeignete Attribute für das Choice Experiment abgeleitet.

Die Ergebnisse der Online-Befragung haben gezeigt, dass bei der Mehrheit der Landwirt/innen keine grundsätzlichen Vorbehalte gegen entsprechende Design-Düngemittel bestehen. Fast vier Fünftel der über 200 Befragten standen dieser Idee des Nährstoffrecyclings grundsätzlich positiv gegenüber. Dabei sind allerdings viele Landwirte unsicher bzw. bezweifeln, ob der Einsatz dieser Düngemittel von Anwohnern, Kollegen und Kunden akzeptiert werden würde.

Die Landwirt/innen können sich die Verwendung von Design-Düngern am ehesten auf Flächen vorstellen, deren Erzeugnisse nicht für den direkten menschlichen Konsum bestimmt sind. Insbesondere gilt dies für Futtergetreide und Energiepflanzen. Die Mehrheit der Landwirt/innen bevorzugt Design-Düngemittel in granulierter Form, während ein gutes Drittel sowohl eine granuliert als auch eine flüssige Düngerform als praktikabel empfindet. Hinsichtlich der Nährstoffzusammensetzung des Design-Düngers waren die meisten Befragten indifferent.

Für rund zwei Drittel der Landwirt/innen ist die Keimfreiheit und für fast ebenso viele die Arzneimittelfreiheit von ganz besonderer Bedeutung. Eine gute Streuqualität des Düngers, niedrige Schwermetallgehalte und verlässliche Nährstoffgehalte sind für jeweils knapp die Hälfte der Landwirt/innen (über 40 %) sehr wichtige Eigenschaften. Demgegenüber wurde niedrigen klimarelevanten Emissionen, dem Phosphorrecycling, der Nutzung heimischer Rohstoffquellen, einer frei wählbaren Zusammensetzung und einer guten Mischbarkeit von der Mehrheit der Befragten jeweils keine sehr hohe Relevanz beigemessen. Für die meisten Landwirt/innen ist der Reinnährstoffpreis eine wichtige, wohl auch stark kaufentscheidungsrelevante Größe.

Da es keine Evidenz für die Akzeptanz von Recyclingdüngern im Agrarsektor gab, wurde zur Ermittlung der Präferenzen und der Zahlungsbereitschaft der Landwirt/innen für ausgewählte Eigenschaften von Mineraldüngern aus häuslichem Abwasser und Küchenabfällen ein Discrete Choice Experiment durchgeführt und basierend auf dessen Ergebnissen ein Random-Parameter-Logit-Modell geschätzt. Bei einem angenommenen durchschnittlichen Marktpreis von etwa 300 Euro pro Tonne N-P-K-Dünger ergab das Experiment, dass Landwirt/innen, die keine Non-Food-Produkte wie Futtermittel oder erneuerbare Energien erzeugen und keine Direktvermarktung betreiben, einen entsprechenden Recyclingdünger nur bei einem Preisabschlag von etwa 10% akzeptieren würden. Die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft sinkt erheblich, wenn der Schwermetallgehalt eines Düngemittels relativ hoch ist und wenn das Fehlen von Arzneimittlrückständen nicht garantiert werden kann. Demgegenüber können eine anpassbare Nährstoffzusammensetzung und eine konstante Lieferverfügbarkeit einen verkaufsfördernden Effekt haben. Die Eigenschaften der Landwirt/innen können die erhebliche Heterogenität der Zahlungsbereitschaft für die betrachteten Düngemittelattribute nur teilweise erklären. Auch wenn diese für einen Recyclingdünger im Durchschnitt geringer ist als die für einen herkömmlichen Mineraldünger, deuten deren geschätzte Standardabweichungen darauf hin, dass nicht alle Landwirt/innen eine finanzielle Entschädigung in Form eines Preisnachlasses beim Kauf von Recyclingdüngern erwarten.

Detaillierte Ausführungen zu der Befragung und dem Discrete Choice Experiment finden sich in der Anlage 2 des ILB zu diesem Bericht sowie in Utai, K., Narjes, M., Krimly, T. und C. Lippert (2022): Farmers' preferences for fertilizers derived from domestic sewage and kitchen waste – A Discrete Choice Experiment in Germany. *German Journal of Agricultural Economics* 71 (4): 169-183.

3.2 Ergebnisse der Befragung von Öko-Betrieben

Im November 2021 wurde zusätzlich eine Online-Umfrage bei Öko-Landwirt/innen zu ihrer Einstellung gegenüber Design-Düngern aus Abwasser und Küchenabfall durchgeführt. Insgesamt haben an dieser Online-Befragung 26 deutsche Öko-Landwirt/innen teilgenommen. Allerdings konnten nur 18 Fragebögen in die Analyse einbezogen werden, da acht Landwirt/innen die Umfrage vorzeitig abgebrochen haben. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobengröße nur als Meinungsbild ökologisch wirtschaftender Betriebe anzusehen sind.

Insgesamt zeigt sich, dass zwei Drittel der befragten Öko-Landwirt/innen grundsätzlich keine Vorbehalte gegenüber Design-Düngemitteln, die aus häuslichem Abwasser und Küchenabfällen gewonnen werden, haben. Etwas mehr als die Hälfte der Öko-Landwirt/innen könnte sich auch vorstellen diese Düngemittel auszubringen. Allerdings glauben nur wenige der Befragten, dass der Einsatz dieser Düngemittel von Kunden und im Berufskollegenkreis akzeptiert werden würde. Die Zweifel sind hier stärker ausgeprägt als bei den im Jahr 2020 befragten konventionellen Landwirt/innen. Die Verwendung der Design-Düngemittel können sich die Öko-Landwirt/innen eher für Futtergetreide, Klee gras und Grünland vorstellen. Von den konventionellen Betrieben wurden ebenfalls Flächen bevorzugt, deren Erzeugnisse nicht direkt für den menschlichen Verzehr bestimmt sind. Fast allen befragten Öko-Landwirt/innen sind niedrige Schwermetallgehalte des Düngers sehr wichtig. Auch die Rückstandsfreiheit von Arzneimitteln, Keimen und Pflanzenschutzmitteln ist für die überwiegende Mehrheit von ganz besonderer Bedeutung. Keimfreiheit und Arzneimittelfreiheit waren auch für die konventionellen Landwirt/innen von erheblicher Relevanz, allerdings wurden in diesem Fall niedrige Schwermetallgehalte nur von knapp der Hälfte als sehr wichtig erachtet. Zudem legen die Öko-Landwirt/innen verglichen mit den konventionellen Betrieben deutlich mehr Wert auf niedrige klimarelevante Emissionen und die Nutzung heimischer Rohstoffquellen.

Detaillierte Ausführungen zu dieser Befragung findet sich in der Anlage 3 des ILB zu diesem Bericht. Die Ergebnisse der Befragungen wurden jeweils zeitnah aufbereitet und dem Teilprojektspartner UHEI im Rahmen von AP III.5 zur Verfügung gestellt. Für Details siehe Abschlussbericht der Universität Heidelberg.

4. Planung und Gestaltung von Nährstoffkreisläufen in rural-urbanen Räumen (KM1)

Es wurde an den fachlichen Diskussionen mit Bezug zur Landwirtschaft der Arbeitsgruppe ILPÖ-DREISEITLconsult sowie an der Gesprächsrunde „Mit der RUN-Technologie Zukunft planen“ teilgenommen. Dies erfolgte im Rahmen der Erarbeitung eines Dokuments zu den Möglichkeiten und Rahmenbedingungen von Nährstoffgemeinschaften aus planerischer Sichtweise seitens der Arbeitsgruppe ILPÖ-DREISEITLconsult. Für Details siehe Abschlussbericht der Universität Stuttgart.

Literatur

- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (Hrsg.) (2020): KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21. Darmstadt.
- Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz (2021): Marktbericht Düngemittel. URL: <https://www.lwk-rlp.de/de/markt-statistik/marktbericht/marktbericht/news/detail/News/duengemittel/>, download: 20.9.2021.
- LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2019): Basisdaten. Stand: Januar 2019. In: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten_20190131.pdf, download: 3.07.2019.
- Mußhoff, O. und N. Hirschauer (2016): Modernes Agrarmanagement. Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. 4th edition, Verlag Franz Vahlen, München.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2021): Statistische Daten 3/2021, Landwirtschaftszählung 2020 in Baden-Württemberg. CD-Rom D2211_21001_Landwirtschaftszaehlung_2020/html/impressum.html. Stuttgart.
- Utai, K., Narjes, M., Krimly, T. und C. Lippert (2022): Farmers' preferences for fertilizers derived from domestic sewage and kitchen waste – A Discrete Choice Experiment in Germany. German Journal of Agricultural Economics 71 (4): 169-183. DOI: 10.30430/gjae.2022.0235.

B) UHOH-IPE

1. Analyse der Design-Düngemittel

1.1 Struvit

Zehn Proben aus fünf Chargen (unterschiedliche Verhältnisse von Küchenabfällen und Schwarzwasser, zwei Filtrationsmethoden (Ultrafiltration und Mikrofiltration)) wurden analysiert. Der RUN-Struvit enthält im Durchschnitt 10-11% Phosphor (P). Dies entspricht der EU-Düngemittelverordnung, die einen Mindest-Phosphor(P)-Gehalt von 7 % für P-Düngermittel vorschreibt. Außerdem enthält RUN-

Struvit 5% Stickstoff (N), 8-9% Magnesium (Mg), 0,1-0,3% Kalium (K). Es wurde kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Nährstoffgehalts im Struvit zwischen den beiden Filtrationsverfahren Mikrofiltration und Ultrafiltration festgestellt.

Bei den Schwermetallen Cadmium, Blei, Chrom, Kupfer, Zink und Nickel liegen alle Werte innerhalb der in der EU-Düngemittelverordnung festgelegten Grenzwerte.

Bei den organischen Schadstoffen stellen Pestizide und Spurenstoffe (Arzneimittel, Hormone, sonstige organische Schadstoffe wie Dioxine) aufgrund der Küchenabfälle und des Schwarzwassers die größten Risiken dar. In Permeat (Hydrolysat nach Fest-/Flüssigtrennung mit Biopolymerzugabe und anschließender Ultrafiltration) wurden 750 Pestizide untersucht und nur Spuren (< 0,001%) von Benzisothiazolon (mikrobizide und fungizide Wirkung) gefunden. Acht Spurenstoffe (Diclofenac, Sulfamethoxazol, Carbamazepin, Triclosan, 2,4,8-trichlorodibenzofuran, Ibuprofen, Hydrochlorothiazide, Estradiol) wurden aufgrund ihres Vorkommens im Schwarzwasser in Deutschland ausgewählt und im Struvit untersucht. Es wurden keine der ausgewählten Spurenstoffe in den Struviten gefunden.

1.2 Beladener Zeolith

Zeolithe sind kristalline Aluminiumsilikate mit sehr hoher Sorptionsfähigkeit, die natürlich vorkommen aber auch synthetisch hergestellt werden können. Sie wurden im RUN-Verfahren verwendet, um N und K, welche nach der Struvitfällung noch in der Lösung vorhanden waren, zu adsorbieren. Der Nährstoffgehalt der beladene Zeolith war gering. Im Durchschnitt wurden rund 0,3 % N, 0,3 % Mg und 1,7 % K in beladenen Zeolithen gefunden. Daher ist sind diese nicht als Düngemittel geeignet. Natürlicher Zeolith kann jedoch als Bodenverbesserer eingesetzt werden, um die Wasserhaltekapazität von Böden zu verbessern. Werden beladene Zeolithe zu diesem Zweck eingesetzt, könnte dem Boden auf diese Weise zusätzlich Nährstoffe zugeführt werden.

1.3 Nebenprodukte des Verfahrens (unbehandeltes Retentat und Pflanzenkohle)

Im unbehandelten Retentat waren nur geringe Nährstoff- und Schwermetallkonzentrationen zu finden. Durch den Karbonisierungsprozess des Retentats konzentrierten sich diese jedoch in den Pflanzenkohlen auf. Die RUN-Pflanzenkohle enthält rund 1,6-2,4% P, 1,7% K und 0,2-0,3% Mg. Die Cu-, Zn-, Ni- und Cr-Konzentrationen in der Pflanzenkohle überstiegen die Grenzwerte der EBC-Agro-Klassifizierung auf der Grundlage des Europäischen Pflanzenkohle-Zertifikats, welches den Einsatz von Pflanzenkohlen für den Einsatz in der Landwirtschaft regelt. Dies spricht gegen eine Nutzung der RUN-Pflanzenkohle in der Landwirtschaft

2. Effizienz von Design-Düngemitteln: Gefäßversuche

2.1 Kurz- und langfristige Düngewirkung von Struvit

Insgesamt wurden zehn verschiedene Struvit-Chargen getestet. Diese wurden unter Nutzung von fünf unterschiedlichen Verhältnissen Küchenabfällen / Schwarzwasser und zwei Filtrationsmethoden (Ultrafiltration und Mikrofiltration) hergestellt.

Was die kurzfristige Düngewirkung betrifft, verhielten sich die RUN-Struvite bei einer homogenen Einmischung als feine Partikel in den Boden hinsichtlich der Auswirkung auf das Maiswachstum und die P-Aufnahme im Vergleich zur Kontrolle ähnlich wie der üblicherweise in der Landwirtschaft eingesetzte mineralische P-Dünger Diammoniumphosphat (DAP). Im Gefäßversuch mit Mais steigerte lediglich ein Struvit das Pflanzenwachstum signifikant.

Die Biomasse und der P-Gehalt des mit Struvit gedüngten Weidelgrases waren nach 3 Monaten Wachstum signifikant höher als bei der Kontrolle ohne P Düngung. Die P-Nutzungseffizienz von Struvit war ähnlich oder sogar höher als die von DAP. Daraus kann abgeleitet werden, dass feine

Struvit-Partikel, die sorgfältig in den Boden eingemischt werden, im Gefäßversuch eine vergleichbare P-Düngewirkung wie mineralischer P-Dünger aufweisen. Diese Art der Ausbringung ist jedoch in der landwirtschaftlichen Praxis nicht möglich, da Düngemittel in der Regel entweder flüssig oder pelletiert ausgebracht werden.

2.2 Strategie I: Getreide-Leguminosen-Fruchtfolge

Struvit wurde als Startdünger (Düngermenge 80%, 100% und 120% der praxisüblichen P-Menge) in einer Unterfußdüngung verwendet. Es wurde ein Versuch mit Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) und Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) als Folgekultur im Gefäß durchgeführt, um die direkte Düngewirkung von Struvit auf Getreide und die Düngewirkung auf die Folgekultur Ackerbohne zu untersuchen. Zeolith wurde als langfristig verfügbarer Kaliumdünger homogen in den Boden eingemischt.

Die Struvit-Düngung zeigte im Vergleich zur Kontrolle (Ohne P-Düngung) keine Wirkung auf die Biomasse des Weizens, dabei hatte auch eine Steigerung der Düngergabe keinen Einfluss auf die Biomasse und den P-Gehalt. Die Biomasse und der P-Gehalt des Weizens, der mit Struvit gedüngt wurde, war deutlich niedriger als bei einer Düngung mit DAP. Bei den Ackerbohnen wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen festgestellt. Alle Düngerbehandlungen erhöhten den pflanzenverfügbaren P im Boden nach der Ernte von Weizen und Ackerbohnen.

Es wurde kein signifikanter Unterschied in der Weizenbiomasse und der K-Konzentration im Aufwuchs durch die Zugabe von Zeolithen im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle gefunden. Die Zugabe von Zeolithen erhöhte jedoch die Wasserhaltekapazität des Bodens um etwa 3 %.

Die P-Nutzungseffizienz (PUE) war zwischen den Behandlungen sehr unterschiedlich, wobei sich die Positivkontrolle DAP (13%) stark von den unterschiedlichen Struvitdüngewarianten unterschied: Struvit hatte eine deutlich niedrigere PUE als der mineralischer P-Dünger DAP. Auch eine Steigerung der Düngermenge führte nicht zu einer erhöhten PUE.

Die Versuche zeigten, dass eine Struvit-Düngung im Gefäßversuch, bei der der Dünger platziert im Wurzelraum und nicht homogen in den Boden eingemischt wird, im Vergleich zur mineralischem P-Düngung eine deutlich geringere Düngewirkung auf die erste Kultur (Weizen) hatte. Die zweite Kultur (Ackerbohnen) profitierte ebenfalls nicht von der vorherigen Struvit-Düngung.

2.3 Strategie II: Getreide-Leguminosen-Gemengeanbau

Ziel dieses Versuches war es zu prüfen, ob ein Gemenge von Mais mit Leguminosen, die besser als andere Kulturpflanzen in der Lage sind, P aus dem Boden aufzunehmen, die P-Verfügbarkeit aus Struvit (Ausbringung als Unterfußdüngung) in einem modellhaften Anbausystem steigert. Eine Mais-Monokultur bzw. ein Gemenge aus Mais und Ackerbohnen wurden in Rhizoboxen angebaut (Abbildung 1). Struvit wurde entweder unter Mais in der Monokultur oder unter Ackerbohne in der Gemengekultur ausgebracht. Es wurde angenommen, dass die Versauerung der Rhizosphäre durch die Ackerbohne die Auflösung von Struvit verbessern und der Mais aufgrund seiner hohen morphologischen Wurzelplatzität das um den Struvit herum gelöste P aufnehmen könnte.



Abbildung 2: Rhizoboxen und Visualisierung der Düngerausbringung im Gemengeanbau (Unterfuß-Depotdüngung)

Die Ergebnisse zeigten, dass der Gemengeanbau keinen signifikanten Einfluss auf die Maisbiomasse und den P-Gehalt in den Struvit-Behandlungen hatte. Der handelsübliche mineralische P-Dünger (DAP) als Positivkontrolle verbesserte das Maiswachstum und die P-Aufnahme im Vergleich zur Struvit-Behandlung signifikant, allerdings nur im Gemengeanbau mit Leguminosen. Dies könnte auf die mögliche Konkurrenz zwischen zwei Maispflanzen in der Monokultur zurückzuführen sein.

Die P-Nutzungseffizienz von Struvit war in beiden Anbausystemen deutlich niedriger als die von DAP. Der pH-Wert im Boden zeigte keine signifikante Versauerung der Rhizosphäre durch die Absonderung von versauernd wirkenden Substanzen (Wasserstoffionen, Phosphatase, Carboxylate) durch die Ackerbohne. Dies könnte der Grund dafür sein, dass die Ackerbohne die Lösung von Struvit im Boden nicht verbessern konnte.

Um die P-Lösung aus den Struviten zu visualisieren wurde ein mit Fe-Oxid imprägniertes Filterpapier auf das Düngedepot in der Rhizobox gelegt, um das Orthophosphat in der Bodenlösung um das Struvit-Depot herum zu binden. Nach Zugabe eines Färbereagens zeigt sich das aus der Bodenlösung ins Filterpapier aufgenommene Orthophosphat in Form von dunkelgrünen Flecken auf dem Filterpapier. Leider konnte die Filterpapiermethode nicht erfolgreich eingesetzt werden, da die Farbreaktion weniger stark war als erwartet. Allerdings konnte zumindest in der DAP-Behandlung eine stärkere Färbung im Vergleich zur Kontrolle und zur Struvit-Behandlung beobachtet werden. Daneben wurde jedoch auch das pflanzenverfügbare P in Bodenproben bestimmt, welche ringförmig in 3 cm, 6 cm und 9 cm Entfernung vom Struvit-Düngerdepot entnommen wurden. Eine Düngung mit DAP führte zu einem fast dreifach höheren Wert an pflanzenverfügbarem P als eine Düngung mit Struvit. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem P war unter der Struvit-Behandlung im Monokulturanbau höher als im Zwischenfruchtanbau. Dies deutet darauf hin, dass die stärkere P-Aufnahme durch Mais die P-Auflösung aus Struvit steigern könnte.

2.4 Strategie III: Einsatz von Struvit in Fertigationssystemen

Hierfür wurde Struvit als P-Dünger in einer Nährstofflösung für den Anbau von Basilikum als Topfkultur verwendet und mit einer Struvitgabe in Form von festem Dünger verglichen. Zwischen den Behandlungen wurden keine signifikanten Unterschiede in der Basilikum-Biomasse und der P-Konzentration in der Pflanze festgestellt. Bei der Ausbringung von Struvit als Feststoff wurden eine Erhöhung des Gehalts an pflanzenverfügbarem P im Boden beobachtet. Die Zufuhr von gelöstem

Struvit führte nicht zu einer Erhöhung des Gehaltes an pflanzenverfügbarem P, was womöglich auf eine schnelle P-Immobilisierung im Boden zurückzuführen ist.

3. Kontaminationsrisiko für Boden, Pflanze und Mensch durch die Anwendung von RUN-Struvit

3.1 Langfristige Anreicherung von Schwermetallen durch Düngung mit Struviten

Obwohl die Schwermetallkontamination in Struvit in der Regel kein Problem darstellt, kann es bei einer langfristigen Anwendung von Struvit als Düngemittel potentiell zu einem hohen Eintrag von Schwermetallen in den Boden kommen, da dieser im Vergleich zu mineralischem P-Dünger eine relativ geringe P-Konzentration enthält und daher die Aufwandmenge an Dünger größer ist, um eine ähnliche Düngewirkung wie mit mineralischem P-Dünger zu erzielen. Daher wurde die potentielle Anreicherung von Schwermetallen im Boden durch eine 200 Jahre andauernde Düngung mit RUN-Struvit in praxisüblichen Mengen berechnet und mit Triple-Superphosphat (TSP) als handelsüblichen P-Dünger verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Struvit im Vergleich zu TSP nach 200-jähriger Anwendung zu Weizen zu wesentlich niedrigeren Cadmium- und Chrom-Konzentrationen im Boden führt. Auch die Nickel-Konzentration im Boden ist bei einer Struvit-Düngung deutlich niedriger als bei der TSP-Düngung. Beide Düngemittel führten zu ähnlichen Blei- und Zink-Konzentrationen im Boden, die Kupfer-Konzentration im Boden war bei der Struvit-Behandlung höher. Im Vergleich zu Triple-Superphosphat wird der Eintrag von Cadmium, welches im Boden relativ mobil ist, reduziert, und somit das Risiko für den Menschen verringert. Insgesamt stellt der RUN-Struvit kein wesentliches Risiko für den Eintrag von Schwermetallen in den Boden dar.

3.2 Kontamination durch Spurenstoffrückstände in Struvit – Ermittlung der Risiken für Boden, Pflanze und Mensch

Dieser Teil wird derzeit für die Veröffentlichung in einer wissenschaftlichen Publikation mit Peer-Review vorbereitet. Aus Gründen der Vertraulichkeit wird der Inhalt dieses Teils in diesem Bericht nicht wiedergegeben. Die entsprechende Veröffentlichung wird nachgereicht, sobald sie veröffentlicht ist.

C) UHOH-GFE

1. Aufbau und Beschickung einer virtuellen Plattform

Innerhalb des ersten Projektjahrs wurde seitens UHOH-GFE für KM.3 eine Projekt-Homepage (www.run-projekt.de) entwickelt, mit Inhalten gefüllt, veröffentlicht und bis zum Projektende fortlaufend aktualisiert und erweitert. Auch eine Projektseite auf der Plattform Research Gate wurde erstellt und eine Plattform für den internen Austausch (ILIAS-Gruppe) geschaffen. Im zweiten Projektjahr eröffnete UHOH-GFE einen X-Account (ehemals Twitter), um auch über Social Media Reichweite zu erzielen. Im Durchschnitt besuchten 37 Personen aus Deutschland pro Monat die RUN-Projekt-Homepage mit einer Sitzungsdauer von rund 5 Minuten. Das Niveau der Besucher pendelte sich ab Ende 2021 bis zum Projektende auf etwa 30 Besuche pro Monat ein.

2. Kommunikation allgemeine Öffentlichkeit

Neben einer Pressemitteilung zum Projekt-Kick-off wurden verschiedene Materialien für die Öffentlichkeitsarbeit erstellt und aktualisiert (Projekt-Roll-up Projekt-Flyer sowie zwei Projektgrafiken, drei Projektfilme in Zusammenarbeit mit Grafik-/Medienagenturen). Darüber hinaus erarbeitete UHOH-GFE ein Corporate Design für die Projekt-Homepage und Vorlagen für Power-Point-Präsentationen, Poster und interne Berichte. Die Projektfilme sollten ursprünglich von einer Medienagentur im Rahmen der Entwicklung von audiovisuellen Medien für die Innengestaltung des

RUN-Informations- und Erfahrungsraums erarbeitet werden. Insbesondere in den Corona-Jahren 2020/2021 wurden diese jedoch von UHOH-GFE zusammen mit anderen Mediengestaltern früher produziert und veröffentlicht. Bei der Filmproduktion gehörte die Entwicklung des Storyboards, die Auftragsvergabe, Organisation des Drehs, Abstimmung der Nachproduktion und finale Abnahme zu den Aufgaben von UHOH-GFE. In Projektteil 1 wurden zwei Videos produziert und auf dem YouTube-Kanal der Universität Hohenheim am 17.03.2021 veröffentlicht (634 Aufrufe), bzw. am 06.10.2023 veröffentlicht (132 Aufrufe). In Projektteil 2 wurde ein Video produziert und am 08.05.2024 über den YouTube-Kanal der Universität Hohenheim veröffentlicht, sowie über die RUN-Projekt-Website (104 Aufrufe).

In den Jahren 2022, 2023 und 2024 war das Projekt RUN beim Tag der offenen Tür der Universität Hohenheim über einen Stand vertreten. Das GFE organisierte und betreute diesen Stand der Hohenheimer Agrarsysteme der Zukunft-Konsortien (NOcPS, GreenGrass und Onfield/ Fahrerkabine 4.0) federführend in Zusammenarbeit mit den Partner-Konsortien. Ein Interaktives Stimmungsbarometer diente am Tag der offenen Tür 2022 als sehr guter Gesprächsanreiz, um mit Besucher/innen in den Austausch über die RUN-Idee zu kommen. Sie konnten per Tischtennisball abstimmen, ob sie die Nahrungsmittel essen würden, die mit RUN-Dünger hergestellt wurden. Das Stimmungsbarometer fand viel Anklang: 275 Stimmen wurden insgesamt abgegeben, 93,5 % antworteten mit „Ja“. Im Jahr 2023 konnten Besucher/innen mit der virtuellen Brille der AdZ einen Rundgang durch alle Projekte der Förderlinie machen. Auch ein AdZ-Wimmelbild zum Ähren-Zählen (modifiziertes AdZ-Zukunftsbild), das von NOcPS zur Verfügung gestellt wurde, war gut geeignet, um in den Austausch über RUN und die anderen AdZ-Verbundvorhaben zu kommen. Die Tischtennisbälle des Stimmungsbarometers aus 2022 wurden 2023 für ein Bällebad-Quiz zu den Hohenheimer AdZ-Projekten umfunktioniert und zogen ebenfalls viele junge Besucher/innen an.



Abbildung 3: Interaktives Stimmungsbarometer am Tag der offenen Tür Universität Hohenheim

Über Fördermittel der Hochschulkommunikation der Universität Hohenheim im Rahmen des Jahrs der Bioökonomie 2020/2021 konnte UHOH-GFE für RUN einen Science Comic über die RUN-Idee und die Geschichte des Abwassersystems in Deutschland als innovatives öffentlichkeitswirksames Projekt produzieren.



Abbildung 4: Titelseite RUN Science Comic

Das Ziel war, Bioökonomie-relevante Themen auch für ein jüngeres Publikum sichtbar zu machen und ein innovatives und niederschwelliges, didaktisch reduziertes Medium der Wissenschaftskommunikation zu realisieren. Bei Veranstaltungen erwies sich der Comic als Eye Catcher und fand viel Anklang. Mit ihm konnte ein erster Schritt zur Enttabuisierung des Themas Fäkalien erreicht und ein Impuls zum Umdenken im eigenen Konsumverhalten gegeben werden. Ein Hauptaugenmerk bei der Entwicklung des Comics wurde auf das Character Design gelegt, damit sich möglichst viele Leser/innen mit den Figuren und deren unterschiedlichen Perspektiven auf das Thema identifizieren können.

3. Vernetzung und Fachberatung

Für eine zielgerichtete Kommunikation mit Stakeholdern erstellte UHOH-GFE zu Beginn des Projekts eine Stakeholderanalyse mit Visualisierung als Zwiebelmodell. Diese Analyse wurde in Projektteil 1 einmal, sowie in Projektteil 2 ebenfalls im Zuge der Standortänderung der RUN-Pilotanlage nach Rheinland-Pfalz (Umwelt-Campus Birkenfeld) aktualisiert.

UHOH-GFE organisierte federführend in enger Abstimmung mit der Verbundkoordination insgesamt drei Stakeholder-Workshops. Sie hatten zum Ziel, wichtige Zielgruppen aus der Zivilgesellschaft, Wirtschaft, Verwaltung, Politik und Wissenschaft anzusprechen und mit ihnen in einen Dialog über das RUN-System zu kommen. Mit diesem Austausch verfolgte RUN zudem das Ziel, auch bei Entscheidungsträger/innen das RUN-System als Alternative auf die Agenda zu setzen und zu diskutieren. Der erste Stakeholder-Workshop mit dem Titel „Bioabfall und Abwasser: Neue Nährstofflieferanten für die Landwirtschaft“ fand am 03.03.2021 Corona-bedingt online statt und diente in erster Linie zur Vorstellung der Projektidee. Hier wurde mit 14 externen Akteuren aus der Abwasser- und Sanitärbranche, Vertreter/innen von Ministerien, und der Zivilgesellschaft, sowie Vertreter/innen aus der Stadtverwaltung Heidelberg und Vertreter/innen des Landesbauernverbands die Projektidee auf deren Umsetzbarkeit in der Praxis diskutiert. Mit den Teilnehmer/innen wurden grundsätzliche Fragen zu fördernden und hemmenden Faktoren im Hinblick auf drei Themenbereiche „Neuer Technologischer Ansatz“, „Einsatz in der Landwirtschaft“ und „Nutzerperspektiven“ diskutiert. Der Fokus der Diskussion lag beim Thema Technik bei möglichen Spurenstoffen und rechtliche Hürden bei den Stoffströmen. In der Diskussionsrunde zum Thema „Einsatz in der Landwirtschaft“ sollte die Praxistauglichkeit der RUN-Technologie im Hinblick auf eine neue landwirtschaftliche Praxis diskutiert werden. Hierbei kam zum Ausdruck, dass die Nutzung und die Effekte der Biokohle genauer angeschaut werden sollten, aber auch die Risikowahrnehmung der Nutzer/innen bezüglich Hygienisierung (Verbraucher/innen) und Rechtssicherheit (Landwirt/innen) beachtet werden müssten. Beim Thema Nutzerperspektiven wurde viel Aufmerksamkeit auf eine gute Öffentlichkeitsarbeit und intensive Aufklärung gelegt, um möglicher Skepsis wegen Hygiene- und Sicherheitsbedenken entgegenzuwirken.

Der zweite Stakeholder-Workshop fand am 14.01.2022 mit 13 externen Teilnehmer/innen ebenfalls online und unter dem Titel „RUN – keine Utopie, sondern praktische Vision“ statt. Dort wurden die vorläufigen Ergebnisse der Szenarioentwicklung sowie der Nachhaltigkeitsbewertung als Soll-Ist-Vergleich speziell im Hinblick auf die praktische Umsetzbarkeit diskutiert. Details zu beiden Workshopthemen finden sich in den Abschlussberichten der RUN-Partner USTUTT-ILPÖ und KIT-ITAS.

Im dritten und letzte Stakeholder-Workshop wurden Projektabschlussergebnisse und vor allem die RUN-Pilotanlage diskutiert. Da die Pilotanlage erst im Frühsommer 2024 am Umwelt-Campus Birkenfeld in Betrieb genommen wurde und einige Durchläufe für valide Ergebnisse nötig waren, fand dieser Stakeholder-Workshop 3 am 07.10.2024 in hybrider Form am Umwelt-Campus Birkenfeld vor Ort bei der RUN-Pilotanlage und mit dem Titel „RUNning out of resources - Praxistransfer innovativer Abwassertechnologien zur Kreislaufführung von Nährstoffen“ statt. Zu diesem Zeitpunkt hatte das Projekt bereits geendet und bis auf die Universität Stuttgart konnte kein Projektpartner kostenneutral verlängern. UHOH-GFE hat diesen dritten Stakeholder-Workshop federführend geplant und in die Wege geleitet. Eine persönliche Teilnahme seitens UHOH-GFE am Stakeholder-Workshop 3 konnte aufgrund der Terminierung nach Projektende und neuer Arbeitsverpflichtungen nur noch begrenzt stattfinden. Eine Dokumentation des Stakeholder-Workshops 3 liegt UHOH-GFE nicht vor.

Eine weitere Aufgabe von UHOH-GFE war die Erstellung von Policy Briefs. Das Ziel eines Policy Briefs ist, dass er mit validen Forschungsergebnissen eine argumentative Handreichung für Entscheidungsträger/innen schafft und damit möglichst bewirkt, dass z.B. die neue RUN-Technologie auf die politische Agenda gesetzt wird. Es konnte zum Ende des Projekts eine weitestgehend gelayoutete Version eines Policy Briefs mit dem Titel „Kreislaufführung von Nährstoffen in der Landwirtschaft mit neuer RUN-Technologie. Von der Idee zur erfolgreichen Umsetzung“ verfasst werden. Aktuell konnte dieser noch nicht veröffentlicht werden.

Die in KM.3 geplante Abschlussveranstaltung musste aufgrund der Budgetkürzungen im Zuge der Aufstockung zu Projektteil 2 in 2022 mit einem sehr geringen Budget von 6.000 EUR realisiert werden. Angedacht war, dass sie deshalb an eine andere, größere Veranstaltung angedockt wird. Diese Idee wurde jedoch verworfen, da das Kernstück des Projekts, die RUN-Pilotanlage, im Zuge der Veranstaltung für Teilnehmer/innen zu besichtigen sein sollte. Daher fand die Abschlusskonferenz mit vorgeschaltetem Stakeholder-Workshop 3 am 08.10.2024 am Umwelt-Campus Birkenfeld in hybrider Form und nach dem Projektende mit dem Titel „Regionale Stadt-Land-Partnerschaften im Projekt RUN: Wie werden Bioabfall und Abwasser zu Düngern und Wertstoffen für die Landwirtschaft?“ statt. Eine persönliche Teilnahme seitens UHOH-GFE konnte aufgrund der Terminierung nach Projektende nicht mehr stattfinden. Eine Dokumentation der Ergebnisse liegt UHOH-GFE nicht vor.

4. Informations- und Erfahrungsraum

Bei dem Informations- und Erfahrungsraum handelt es sich um den einzigen Meilenstein in KM.3. Er fungierte als Dialograum und Lernort. Zum Ende von Projektteil 1 sollte der Raum ursprünglich in räumlicher Nähe zur RUN-Pilotanlage in Betrieb genommen werden (Inbetriebnahme = Meilenstein). Nach vielfältigen konzeptionellen Vorarbeiten ab 2020 musste der Raum ab 2021 aufgrund der Unsicherheiten des Standorts der RUN-Pilotanlage in Heidelberg als standortunabhängige mobile Version neu konzipiert werden. Die Ausschreibung für den Informations- und Erfahrungsraum erfolgte Ende 2021, die Auftragsvergabe im Februar 2022.

Der Raum wurde als demontier- und transportierbare mobile Version vorzugweise aus Naturmaterialien geplant. Er sollte auf der Größe einer ca. 30 m² großen 1-Zimmer-Wohnung in ein Alltagssetting eingebettet sein und die RUN-Technologie durch Demonstration an einer Küchenzeile erfahrbar machen. Der Bau und die Inbetriebnahme des Raums durchliefen zahlreiche planerische Herausforderungen (Standortwechsel der RUN-Pilotanlage, Mehrkosten von ca. 10 % durch den Ukrainekrieg, planerische Herausforderungen am temporären Standort der Universität Stuttgart, Produktionsausfälle). Er konnte dadurch erst am 17.04.2024 mit einem Opening-Event eröffnet werden.



Abbildung 5: Innenraum des RUN Informations- und Erfahrungsraums

II. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses

A) UHOH-ILB

Sowohl die durch das ILB erarbeiteten Ergebnisse aus den betrieblichen Modellierungen als auch die Befragungsergebnisse und die Zahlungsberechtigkeitsanalyse liefern wertvolle Anhaltspunkte zu den Möglichkeiten, Recycling-Dünger zukünftig bei ausreichender Akzeptanz durch die landwirtschaftliche Praxis einzusetzen.

B) UHOH-IPE

Der P-Gehalt im RUN-Struvit erreicht die Anforderungen der EU-Düngemittelverordnung, und ähnelt dem von Struviten aus anderen Ausgangsmaterialien. Das Ausgangsmaterial für die Struvitproduktion und das Verhältnis von Küchenabfällen zu Schwarzwasser hatte also keinen Einfluss auf den Nährstoffgehalt des Endprodukts. Der Schwermetallgehalt im Struvit wurde jedoch durch das unterschiedliche Verhältnis von Küchenabfällen und Schwarzwasser beeinflusst. Der Grund dafür ist noch unklar. Sollte der RUN-Prozess weiterverfolgt werden, müssen hier weitere Untersuchungen folgen. In dem aus Schwarzwasser hergestellten Struvit wurden keine der im Projekt untersuchten Spurenstoffe gefunden. Grundsätzlich sind Struvite aus dem RUN-Prozess aufgrund geringer Kontaminationsrisiken in der Landwirtschaft einsetzbar. Die Ergebnisse aus RUN können Informationen für weitere Verfahren zur Struvit-Gewinnung aus Abwässern und anderen Reststoffen liefern.

Struvit zeigte eine ähnliche Wirksamkeit wie Mineraldünger, wenn er in gleichmäßig mit dem Boden vermischt wird. Dies könnte für eine Anwendung im Gartenbau z.B. für Containerware interessant sein, bedarf aber noch weiterer Forschung. Wenn Struvit als Depotdünger eingesetzt wird, ist seine Düngewirkung zumindest im Gefäß weitgehend reduziert. Hier muss noch weiter an der Formulierung des Düngers gearbeitet werden, bevor dieser in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann. Auch diese Ergebnisse sind für Struvite aus anderen technischen Prozessen anwendbar und können daher über RUN hinaus in der praxisorientierten Forschung zur Nutzung von Reststoffen genutzt werden. Dies gilt auch für die Ergebnisse zur Kontamination mit organischen Schadstoffen v.a. Arzneimittelrückständen.

C) UHOH-GFE

Der Science Comic ist ein gutes niederschwelliges Kommunikationsmedium. Solch ein Science Comic kann in anderen Projekten ebenfalls zur Wissenschaftskommunikation und besseren Öffentlichkeitswirksamkeit entwickelt werden.

Der RUN-Informations- und Erfahrungsraum wurde unentgeltlich zur Nachnutzung im Sinne des Projekts/ im wissenschaftlichen Sinne an die Verbundkoordination USTUTT-ISWA übergeben. Grundsätzlich besteht dort somit die Möglichkeit, den Raum weiterhin als Dialograum und/oder Forschungsraum zu nutzen oder Dritten für Derartiges zur Verfügung zu stellen.

III. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Keine.

III. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

A) UHOH-ILB

1. Vorträge von Christian Lippert

Nutzerperspektiven/Nährstoffgemeinschaften – Ergebnisse einer Akzeptanzstudie zu Designdüngemitteln bei Landwirten. Online-Vortrag auf dem Statusseminar 2021 Agrarsysteme der Zukunft (gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung) am 28.09.2021.

Akzeptanz von sekundären Düngemitteln, Projekt RUN. Online-Vortrag auf der Veranstaltung Nährstoffe im Abwasser – Rückgewinnung als Schlüssel für regionale Stoffkreisläufe der Umwelttechnik BW GmbH (Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg) am 02.03.2023.

Akzeptanz von aus Abwasser und Küchenabfällen gewonnenen Düngemitteln und Anforderungen an Design-Dünger seitens der Landwirtschaft. Vortrag auf dem Statusseminar 2023 Agrarsysteme der Zukunft (gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung) am 27.09.2023 in Berlin.

Präferenzen und Potenzial für den Einsatz von Recycling-Düngemitteln in der Landwirtschaft. Vortrag auf dem „9. Kongress Phosphor ein kritischer Rohstoff mit Zukunft – Im Dialog: Phosphor-Rückgewinnung“ des Landesverbands Baden-Württemberg der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. am 23.11.2023 in Stuttgart-Bad Cannstatt.

Potential Demand of Different Farm Types in Baden-Württemberg for a Mineral Fertilizer from Sewage. Vortrag auf der 64. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. (GEWISOLA) am 27.09.2024 in Gießen.

Präferenzen der Landwirtschaft zu mineralischen Recycling-Düngern. Vortrag auf der Abschlusskonferenz zum Forschungsprojekt Rural Urban Nutrient Partnership (RUN) „Regionale Stadt-Land-Partnerschaften im Projekt RUN: Wie werden Bioabfall und Abwasser zu Düngern und Wertstoffen für die Landwirtschaft?“ am 08.10.2024 im Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier in Birkenfeld-Neubrücke.

2. Veröffentlichungen

Utai, K., Narjes, M., Krimly, T. and C. Lippert (2022). Farmers' Preferences for Fertilizers derived from Domestic Sewage and Kitchen Waste – A Discrete Choice Experiment in Germany. German Journal of Agricultural Economics, Volume 71 (2022), Number 4.

Lippert, C., Krimly, T. und F. König (2025). Potential Demand of Different Farm Types in Baden-Württemberg for a Mineral Fertilizer from Sewage – geplante Veröffentlichung basierend auf dem GEWISOLA-Beitrag vom 27.09.2024.

B) UHOH-IPE

1. Geplante Veröffentlichungen

- The safety of struvite recovered from urban waste: nutrient recovery and bioaccumulation of contaminants of emerging concern in lettuce (Zeitschrift: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*)
- Effect of intercropping with faba bean on the effectiveness of localized struvite to young maize (Zeitschrift: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*)

Im Rahmen des Projektes durchgeführte Studienarbeiten:

2. Projektarbeiten (Mastermodule)

- Assessment of the Safety and Fertilizer Efficiency of Struvite as an Alternative P Fertilizer for Organic Farming
- Improving the Efficiency of Designed Fertilizers From Kitchen Waste and Blackwater

3. Masterarbeit

Investigation on the Efficiency of Designed Fertilisers Produced from Blackwater and Kitchen waste

4. Konferenzteilnahmen und Vorträge

- Yawen You: 55th Annual Conference 2023 of the German Society of Plant Nutrition: Poster: Rural-urban nutrient partnership (RUN): Nutrient recycling with designed fertilizers
- Yawen You: The nutrient availability and safety of RUN fertilizer Vortrag auf der Abschlusskonferenz zum Forschungsprojekt Rural Urban Nutrient Partnership (RUN) „Regionale Stadt-Land-Partnerschaften im Projekt RUN: Wie werden Bioabfall und Abwasser zu Düngern und Wertstoffen für die Landwirtschaft?“ am 08.10.2024 im Umwelt-Campus Birkenfeld der Hochschule Trier in Birkenfeld-Neubrück.

C) UHOH-GFE

1. Veranstaltungen

- „Meet-the-Scientist-Event“ im September 2020 auf dem Ausstellungsschiff „MS Wissenschaft“ in Heidelberg zusammen mit UHEI
- Vorstellung des Projekts RUN Online-Gesprächsreihe Hohenheimer Zukunftsgespräche. Unter dem Titel "Was wäre, wenn Abfall und Abwasser unsere Felder düngen?" zusammen mit UHOH-IPE

2. Presse

- Pressemitteilung der Universität Stuttgart zum Projektstart am 02.08.2019
- Pressemitteilung der Universität Hohenheim zu RUN 07.06.2021 „Schaufenster Bioökonomie: Dünger aus Bioabfällen und häuslichen Abwässern“
- Pressemitteilung der Universität Hohenheim am 6. Dezember 2022 über die Ergebnisse der Studie zur Akzeptanzstudie des UHOH-ILB

3. Vorträge

- Vortrag zu Ergebnissen der Akzeptanzstudie am 10. Oktober 2023 stellvertretend für Prof. Dr. Lippert (UHOH-ILB) beim jährlichen Forum der Deutschen Phosphor-Plattform in Frankfurt/Main („DPP – FORUM 2023: P-Recycling – Stillstand oder Fortschritt?!“)

4. Fachpublikation

- Steinmetz, H., Fritzsche, A. und Y. Zahumensky (2023): Düngemittel & Biokunststoffe aus Schwarzwasser und Küchenabfällen für eine zukunftsfähige Landwirtschaft. In: Wasser und Abfall 3/2023, S. 14-18.