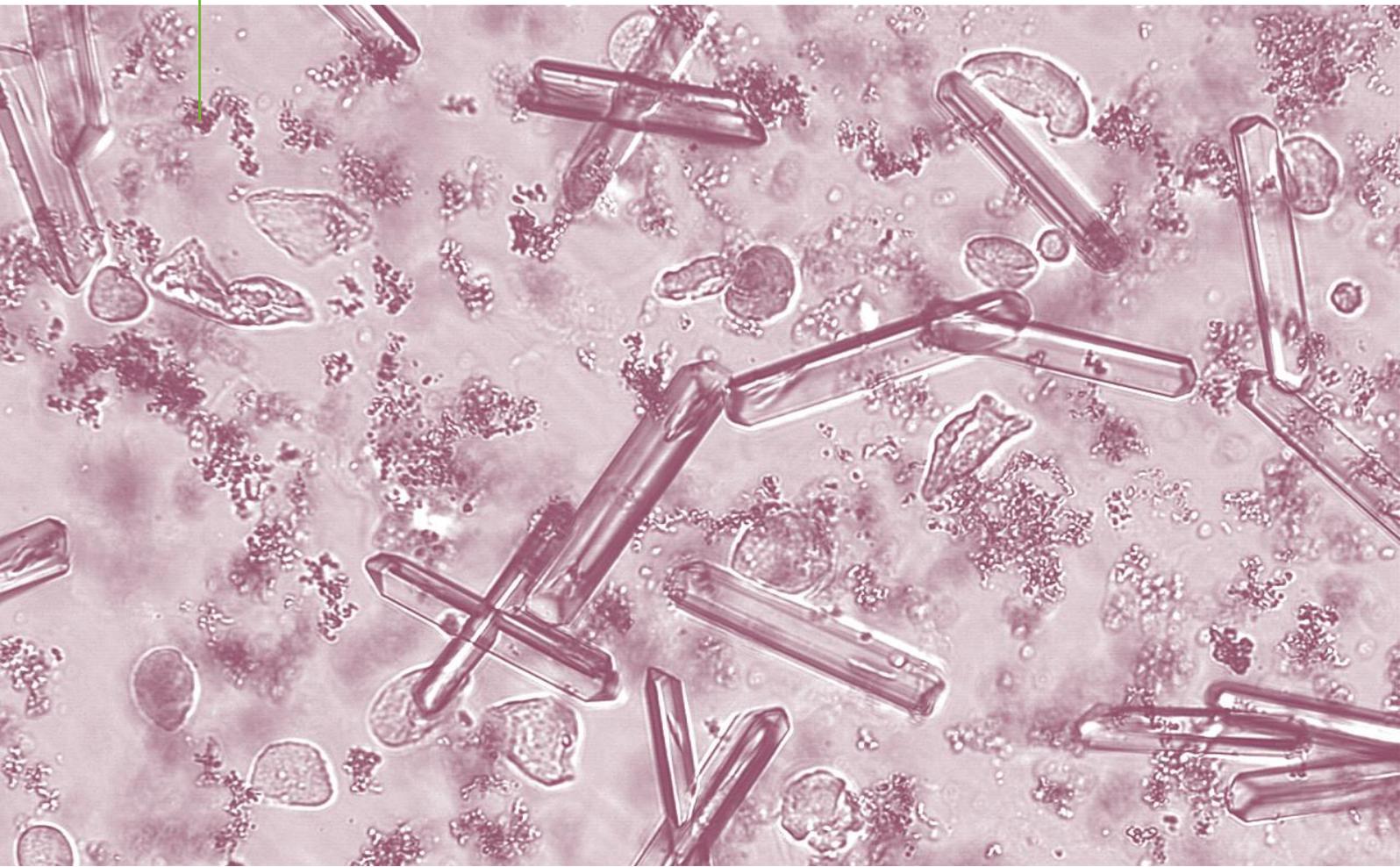




ISOE-Materialien Soziale Ökologie 76

Markus Rauchecker, Engelbert Schramm, Jonathan Pillen,
Franziska Gromadecki, Janina Heinze, Heinrich Ripke,
Michaela Rohrbach, Martina Winker

Transformation zu einer nachhaltigen regionalen Phosphor- Kreislaufwirtschaft durch den Aufbau von Struvitnetzwerken



**Markus Rauchecker, Engelbert Schramm, Jonathan Pillen,
Franziska Gromadecki, Janina Heinze, Heinrich Ripke,
Michaela Rohrbach, Martina Winker**

Transformation zu einer nachhaltigen regionalen Phosphor-Kreislaufwirtschaft durch den Aufbau von Struvitnetzwerken

ISOE-Materialien Soziale Ökologie, Nr. 76

DOI 10.5281/zenodo.13919962

ISSN 1614-8193

Die Reihe „ISOE-Materialien Soziale Ökologie“ setzt die Reihe
„Materialien Soziale Ökologie (MSÖ)“ (ISSN: 1617-3120) fort.

Herausgeber:

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH

Hamburger Allee 45

60486 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2024

Zitiervorschlag:

Rauchecker, Markus/Engelbert Schramm/Jonathan Pillen/Franziska Gromadecki/Janina Heinze/
Heinrich Ripke/Michaela Rohrbach/Martina Winker (2024): Transformation zu einer nachhaltigen
regionalen Phosphor-Kreislaufwirtschaft durch den Aufbau von Struvitnetzwerken. ISOE-Materialien
Soziale Ökologie 76. Frankfurt am Main



Namensnennung – Weitergabe unter gleichen
Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

Zu diesem Text

Mit der Phosphorrückgewinnungspflicht und dem Verbot der bodenbezogenen Klärschlammverwertung für große und mittelgroße Kläranlagen in der Klärschlammverordnung hat die Bundesregierung entscheidende Impulse für die Transformation zu einer Phosphor-Kreislaufwirtschaft in Deutschland gesetzt. Die Wahl der verfahrenstechnischen Variante der Struvitfällung erlaubt dessen nachhaltige und regionale Umsetzung. Deshalb beschäftigt sich die vorliegende Studie mit rechtlichen Rahmenbedingungen, Transformationsakteuren und Ansatzpunkten für regionale Struvitnetzwerke. Hierzu wurden qualitative Interviews mit Vertreter*innen relevanter Verbände, einer Düngbehörde und eines Düngemittelherstellers geführt. Zudem wurde mit Vertreter*innen eines Abwasserverbandes eine Konstellationsanalyse durchgeführt. Die Analyse zeigt, dass durch die Aufnahme von Fällungsprodukten als Komponentenmaterialkategorie 12 (CMC 12) in die EU-Düngemittelverordnung und von Struvitdüngern in die Positivliste der EU-Ökoverordnung die Rechtssicherheit für die Nutzung von Struvitdüngern verbessert wurde. Zudem wird deutlich, dass Abwasserbeseitiger, die sich für die Struvitfällung entschieden haben; Anlagenhersteller; Forschungseinrichtungen; Düngemittelhersteller, die mit Ausgangsstoffen aus dem Abfallbereich arbeiten; Ökolandbauverbände; Ökolandwirt*innen; an Innovation interessierte konventionelle Landwirt*innen und Verbände für Phosphorrecycling an der Struvitfällung, Struvitdüngerherstellung und -nutzung mit großem Interesse arbeiten. Mit diesen Akteuren ist der Aufbau von regionalen Struvitnetzwerken möglich. Schlüsselakteure von Struvitnetzwerken können Gemeinschaftsunternehmen von Kläranlagenbetreibern, Düngemittelhersteller und -mischer sowie Groß- und Landhandel sein. Im Moment scheinen Düngemittelhersteller, die Ausgangsstoffe aus dem Abfallbereich verarbeiten, am besten als Schlüsselakteur geeignet zu sein. Alte Klärschlammnetzwerke können ebenfalls als Transformationstreiber fungieren.

About this text

With the phosphorus recovery obligation and the ban on soil-related sewage sludge utilization for large and medium-sized sewage treatment plants in the Sewage Sludge Ordinance, the German government has provided decisive impetus for the transformation to a phosphorus circular economy in Germany. The choice of the process engineering variant of struvite precipitation allows for its sustainable and regional implementation. Therefore, the present study deals with the legal framework, transformation actors and starting points for regional struvite networks. To this end, qualitative interviews were conducted with representatives of relevant associations, a fertilizer authority and a fertilizer manufacturer. In addition, a constellation analysis was carried out with representatives of a wastewater association. The analysis shows that the inclusion of precipitation products as component material category 12 (CMC 12) in the EU Fertilizing Products Regulation and of struvite fertilizers in the positive list of the EU Organic Regulation has improved the legal certainty for the use of struvite fertilizers. Furthermore, it is clear that wastewater treatment plant operators that have opted for struvite precipitation, plant manufacturers, research institutions, fertilizer manufacturers that work with raw materials from the waste sector, organic farming associations, organic farmers, conventional farmers interested in innovation and associations

for phosphorus recycling are working on struvite precipitation, struvite fertilizer production and use with great interest. With these actors, the establishment of regional struvite networks is possible. Key actors of struvite networks can be joint ventures of wastewater treatment plant operators, fertilizer manufacturers and blenders, as well as agricultural wholesalers and retailers. At the moment, fertilizer manufacturers that process waste-derived raw materials appear to be best suited as key actors. Old sewage sludge networks can also act as drivers of transformation.

Inhalt

1	Einleitung.....	6
2	Vorgehensweise.....	8
2.1	Interviews	8
2.2	Konstellationsanalyse	8
3	Rechtliche Rahmenbedingungen für die Herstellung und Inverkehrbringung von Struvitdünger	9
4	Akteure der Transformation zur Struvitherstellung und -nutzung in Deutschland	10
4.1	Abwasserbeseitiger	10
4.2	Düngemittelhersteller/-mischer.....	13
4.3	Groß-, Landhandel, landwirtschaftliche Berater und Lohnunternehmer	15
4.4	Landwirt*innen.....	16
4.5	Lebensmittelindustrie und -handel	19
4.6	Staatliche Regulierungs- und Kontrollinstanzen.....	19
4.7	Forschungseinrichtungen.....	20
4.8	Verbände für Phosphorrecycling.....	20
4.9	Zusammenfassung: Interessen der Akteursgruppen in Bezug auf Struvit.....	20
5	Ansatzpunkte für zukünftige Struvitnetzwerke	22
5.1	Mögliche Transformation von lokaler Klärschlammverwertung zur Struvitnutzung: Verbandsinterne Weitergabe innerhalb des Abwasserverbands Braunschweig.....	22
5.2	Mögliche Schlüsselakteure zur Aufspannung von Struvitnetzwerken	27
6	Fazit und Ausblick.....	29
7	Quellen und Literatur	33
8	Anhang	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flussdiagramm der Abwasserverwertung und Struvitnutzung.....	23
Abbildung 2: Flussdiagramm der Abwasser- und Klärschlammverwertung.....	37

1 Einleitung

Mineralische Phosphorvorkommen sind endlich und hauptsächlich außerhalb der Europäischen Union zu finden, gleichzeitig ist Phosphor ein essenzieller Nährstoff für die landwirtschaftliche Produktion. Der importierte Phosphor aus Rohphosphatlagerstätten ist mit Schwermetallen und radioaktiv belastet (Kraus et al. 2019 a). Zudem stammt der Phosphor aus geopolitisch gesehen instabilen Regionen, was ein Risiko für die Versorgungssicherheit darstellt. Der Phosphor in Haushalts- und Industrieabwässern bleibt dagegen meist ungenutzt. Potenziell belastet er die Gewässer und wird daher abgetrennt (Brownlie et al. 2022, Kind 2020, Pillen et al. 2023). Die Bundesregierung hat die bisherige bodenbezogene Klärschlammverwertung auf landwirtschaftlichen Flächen ab 2029 verboten.

Zur Risikominderung und zur Verbesserung der Phosphor-Governance wird empfohlen, bei der Reduzierung des Phosphordüngerverbrauchs und vor allem beim Phosphorrecycling aus Abfällen und Abwässern anzusetzen (Brownlie et al. 2022, Rosemarin/Ekane 2016). Zum einen strebt die deutsche Bundesregierung die Steigerung der Phosphordüngungseffizienz mit Blick auf den Gewässerschutz an (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2020). Zum anderen hat die Bundesregierung eine Phosphorrückgewinnungspflicht ab 2029 für größere Kläranlagen und ab 2032 für mittelgroße Kläranlagen eingeführt und gleichzeitig die bodenbezogene Klärschlammverwertung für diese Kläranlagen verboten (AbfKlärV 2017, Douhaire et al. 2024). Damit verfolgt die Bundesregierung einen Umbau des Nährstoffkreislaufs für Phosphor, der bisher in einigen Bundesländern über die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung geschlossen werden konnte. Die rechtlichen Vorgaben in der deutschen Klärschlammverordnung (AbfKlärV 2017) eröffnen zwei Wege für den zukünftigen Phosphorkreislauf: die Phosphorrückgewinnung durch die Struvitfällung auf der Kläranlage (Struvitweg) oder durch die thermische Verwertung des Klärschlammes und des anschließenden Recyclings des Phosphors aus der Asche. Das gefällte Rohstruvit und die phosphorhaltigen Aschen können als Ausgangsstoffe für Dünger genutzt werden.

Mit der Klärschlammverordnung hat die Bundesregierung einen entscheidenden Impuls für die Transformation zu einer Phosphor-Kreislaufwirtschaft in Deutschland gesetzt. Der Struvitweg erlaubt dessen nachhaltige und regionale Umsetzung. Allerdings sind Fragen der technologischen Optimierung der Struvitfällung (Kabbe/Kraus 2022), der Pflanzenwirksamkeit (Kratz/Vogel/Adam 2019, Römer/Steingrobe 2018), der Schadstoffbelastung (Kraus et al. 2019 a, b; Weisengruber et al. 2018), der Akzeptanz und Markteinführung von Struvitdünger (Kraus et al. 2019 b, Montag et al. 2015, Pillen et al. 2023, Utai et al. 2022), der Nachhaltigkeit der Struvitdüngerherstellung (Kraus et al. 2019 a, b), der rechtlichen Bewertung von Struvit (Douhaire et al. 2024, Garske et al. 2018), der Wirtschaftlichkeit, der Kosten und deren Übernahme (Kabbe 2018, Montag et al. 2015) und der organisatorischen Ausgestaltung von Struvitnetzwerken oder Wertschöpfungsketten (Kabbe/Kraus 2022, Montag et al. 2015) und die Transformationspfade hin zu einer zukünftigen Phosphor-Kreislaufwirtschaft bisher nur zum Teil beantwortet bzw. an ihrer Beantwortung wird – unter anderem im BMBF-geförderten Projekt P-Net, aus dem auch diese Publikation stammt – gearbeitet. Das Projekt P-Net fokussiert auf die Etablierung eines regionalen Phosphornetzwerks in der Region rund um Braunschweig und Gifhorn. Dies umfasst die Optimierung des Phosphorrecyclings durch Struvitfällung auf der Kläranlage, die Herstellung von Struvitdünger sowie ökonomische, institutionelle und rechtliche Fragestellungen (Douhaire et al. 2024, Pillen

et al. 2023). Auch die vorliegende Studie zu Transformationsakteuren und Ansatzpunkten für zukünftige Struvitnetzwerke zählt dazu und stellt die folgende übergeordnete Forschungsfrage:

- Wie kann die Transformation zur Struvitherstellung und -nutzung mit Blick auf die dafür notwendigen Akteursnetzwerke gelingen?

Diese Forschungsfrage wird durch zwei Teilfragen konkretisiert:

- Welche rechtlichen Regelungen, Technologien, Ressourcen, Akteure und Netzwerke im Bereich der Struvitherstellung und -nutzung tragen zum Gelingen der Transformation bei?
- Ermöglichen alte Klärschlammnetzwerke einen leichteren Umstieg auf Struvitherstellung und -nutzung?

Teile der Datenerhebung für die Studie fanden vor Beginn des Ukrainekriegs statt, also vor dem Anstieg der Energie- und Rohstoffpreise sowie der Rohstoffverknappung und erheblichen Lieferkettenproblemen. Der andere Teil der Datenerhebung erfolgte in einem Kontext, der sich wiederum von den aktuellen Bedingungen im Düngemittelbereich unterscheidet. Die Datenerhebung erfolgte durch Expert*inneninterviews von Dezember 2021 bis Januar 2023 und im Rahmen des Workshops zur Konstellationsanalyse im Herbst 2022. Die Ergebnisse mit Blick auf die relevanten Akteure in Punkt 4 basieren teilweise auf den sich über die Zeit veränderten Kontextfaktoren wie der vorübergehenden Chemikalienknappheit für Kläranlagen und dem vorübergehenden Anstieg der Phosphatdüngerpreise. Die Veränderungen der Kontextfaktoren bis zur Abfassung des Textes wurden an den entsprechenden Stellen angemerkt. Die Ergebnisse mit Blick auf die möglichen Netzwerkkonstellationen (Punkt 5) sind jedoch davon unabhängig und auch aus heutiger Sicht als vollständig belastbar zu bewerten.

2 Vorgehensweise

2.1 Interviews

Für eine Analyse der Phosphornetzwerke von den Kläranlagen bis zu den Äckern wurden zuerst die Interessen und ökonomischen Notwendigkeiten der einzelnen Akteursgruppen und ihre (mögliche) Rolle innerhalb der Netzwerke analysiert. Dafür wurden zwischen Dezember 2021 und Januar 2023 neun qualitative Interviews (Bogner et al. 2009) mit Vertreter*innen einer Düngbehörde, eines Düngemittelherstellers und der folgenden Verbände geführt:

- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA)
- Industrieverband Agrar (IVA)
- Bundesverband der Düngemischer
- Deutscher Bauernverband (DBV)
- Ökolandbauverband Bioland
- Deutsche Phosphorplattform (DPP)
- European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP)

Die Interviews wurden online durchgeführt und dauerten im Schnitt eine Stunde und 40 Minuten. Drei Interviews wurden mit zwei Interviewpartner*innen durchgeführt und sechs waren Einzelinterviews. Im Anschluss wurde das Audiomaterial transkribiert. Mithilfe der Software MAXQDA wurde eine Qualitative Inhaltsanalyse (Mayring 2015) durchgeführt. Die vorher festgelegten Kategorien wurden durch Kategorien, die aus dem Interviewmaterial induktiv gebildet wurden, ergänzt. Auf Basis der Kategorien wurde das Textmaterial strukturierend kodiert.

2.2 Konstellationsanalyse

Für die Betrachtung gegenwärtiger und möglicher zukünftiger Netzwerke wird auf der Akteur-Netzwerk-Theorie aufgebaut, die als Mittel zur Erklärung wissenschaftlich-technischer Innovationen von Michel Callon und Bruno Latour entwickelt und ausgearbeitet worden ist (Schulz-Schäfer 2000). Mit ihrer Hilfe lassen sich Konstellationen von handelnden Personen, Organisationen und Institutionen, rechtlichen Vorschriften sowie technischen und natürlichen Objekten identifizieren, die die Einführung von Neuerungen und das Beschreiten nachhaltiger Entwicklungen begünstigt. Dafür wird die aus der Technik- und Innovationsforschung bekannte Konstellationsanalyse genutzt (vgl. Ohlhorst et al. 2007), die mit ausgewählten Praxispartnern in einer vereinfachten Weise durchgeführt wurde, indem dem Weg des Phosphors durch das Akteursnetzwerk gefolgt wurde (Schramm et al. 2023).

Am 14. Oktober 2022 wurde dazu mit drei Landwirten, die alle dem Vorstand des Abwasserverbands Braunschweig (AVB) angehören, und den verbandseigenen Fachleuten für Klärschlamm- & Abwasserverwertung, ein Workshop durchgeführt, auf dem nacheinander zwei Konstellationsanalysen erstellt wurden. Zunächst wurde mit den Expert*innen des AVB erhoben, welche Konstellation derzeit besteht und die aktuelle Abwasserverregnung und Klärschlammverwertung begünstigt. Anschließend wurde gemeinsam überlegt, wie sich dieses Phosphornetzwerk verändern müsste, damit eine regionale Verwertung von Rohstruvit begünstigt wird. Die sich ergebenden Konstellationsdiagramme mit den resultierenden Phosphornetzwerken wurden gemeinsam auf der Sitzung überprüft; zentrale Konstellationsbeschreibungen wurden anschließend qualitätsgesichert.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen für die Herstellung und Inverkehrbringung von Struvitdünger¹

Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung und das Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung für Kläranlagen ab 100.000 Einwohnerwerten (EW) ab 2029 bzw. ab 50.000 EW ab 2032 in der Novelle der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) bedeutet für die Kläranlagenbetreiber, sich für eine Phosphorrückgewinnung durch Struvitfällung oder durch Monoverbrennung mit anschließendem P-Recycling entscheiden zu müssen. Viele Kläranlagenbetreiber tendieren aufgrund des Zeitdrucks – der Entsorgungsweg musste bereits bis 2023 festgelegt und an die Behörden kommuniziert werden – zur Auslagerung der Entsorgungsfrage an Verbrennungsanlagen und weniger zur Struvitfällung auf der Kläranlage, bei der die Kläranlage selbst für die Einhaltung der Rückgewinnungsquoten verantwortlich ist. Aufgrund der guten Düngewirkung, der geringen Schadstoffbelastung, der umweltfreundlicheren Herstellung und einem Schließen des Phosphorkreislaufs auf regionaler Ebene ist Struvit als Dünger prädestiniert.

Im Jahr 2021 wurde auf EU-Ebene durch die Schaffung der Komponentenmaterialkategorie CMC 12 für gefällte Phosphatsalze und deren Folgeprodukte als Ergänzung zur EU-Düngeprodukteverordnung folgerichtig ein Weg zur EU-Zulassung von Struvitdüngern eröffnet. Zudem wurde im Jahr 2023 Struvitdünger, der nach der EU-Düngeprodukteverordnung zugelassen ist, in die Positivliste der EU-Ökoverordnung aufgenommen und damit die Nutzung im Ökolandbau ermöglicht. Nach der deutschen Düngemittelverordnung (DüMV) sind hingegen Fällungsprodukte aufgrund der geforderten Wasserlöslichkeit, die Struvitdünger nicht erfüllt, nur über Umwege in Verkehr zu bringen (Douhaire et al. 2024). Allerdings ist die Problematik dieser rechtlichen Hürde bekannt, und das Kriterium der Wasserlöslichkeit für Recyclingdünger soll bei der nächsten Reform der DüMV gestrichen werden (Interview 1). Dann könnte Struvitdünger entweder über ein EU-Zulassungsverfahren oder über die Kennzeichnung nach deutscher DüMV auf den Markt gebracht werden.

Allerdings bestehen nach wie vor rechtliche Hürden für Struvitdünger. Die nach EU-Düngeprodukteverordnung vorgeschriebene Konformitätsbewertung des Düngeprodukts und die zudem notwendige REACH-Registrierung der wirksamen Chemikalien werden von den befragten Experten als kostenintensiver und zeitaufwendiger als die Inverkehrbringung nach deutscher DüMV beschrieben. Hinzu kommt, dass die Konformitätsbewertungsstellen jetzt erst nach und nach eingerichtet werden –in Deutschland gibt es zum Beispiel noch keine solche Stelle (European Commission 2023).

¹ Zu diesen Rechtsfragen liegt ein detailliertes Gutachten mit dem Titel „Herstellung und Inverkehrbringung von Struvitdünger rechtssicher gestalten. Diskussion aktueller rechtlicher Fragen“ (Douhaire et al. 2024) vor und ist unter dem folgenden Link abrufbar: <https://isoe-publikationen.de/fileadmin/redaktion/ISOE-Reihen/msoe/msoe-75-isoe-2024.pdf>

4 Akteure der Transformation zur Struvitherstellung und -nutzung in Deutschland

Um wieder eine Kreislaufwirtschaft von der Fällung aus dem Abwasser bis zur mit dem daraus gewonnenen Dünger versorgten Kulturpflanze zu etablieren und zu organisieren, muss ein Akteursnetzwerk entstehen, an dem die folgenden Akteursgruppen maßgeblich beteiligt sein können:

- Kläranlagenbetreiber
- Düngemittelproduzenten/-mischer
- Groß-, Landhandel, landwirtschaftliche Berater*innen und Lohnunternehmer*innen
- Landwirt*innen (Konventionelle Landwirt*innen und Ökolandwirt*innen)
- Lebensmittelindustrie und -handel
- Staatliche Regulierungs- und Kontrollinstanzen
- Forschungseinrichtungen
- Verbände für Phosphorrecycling

Im Folgenden wird jede Akteursgruppe einzeln, aber auch ihre Verbindungen zu den anderen Gruppen betrachtet. Dabei werden die Notwendigkeiten und Interessen jeder Akteursgruppe im (potenziellen) Struvitnetzwerk, die förderlichen und hemmenden Faktoren für Struvitnutzung und ihre (mögliche) Rolle innerhalb des Netzwerks analysiert. Die Akteursanalyse wird hauptsächlich aus der Perspektive der interviewten Verbandsvertreter*innen dargestellt (siehe 2.1). Bei den Kläranlagenbetreibern, Düngemittelproduzenten, dem Großhandel und den Landwirt*innen werden der Sicht der Verbandsvertreter*innen individuelle Perspektiven aus den jeweiligen Akteursgruppen, die in der Zielgruppen- und Marktanalyse ebenfalls im Projekt P-Net erhoben wurden (Pillen et al. 2023), gegenübergestellt.

4.1 Abwasserbeseitiger

Im Oktober 2017 trat die Überarbeitung der Klärschlammverordnung in Kraft: Aufgrund der zukünftigen Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung und des Verbots der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung für Kläranlagen ab 100.000 Einwohnerwerten (EW) ab 2029 und ab 50.000 EW ab 2032 stehen die größeren Abwasserbeseitiger vor der Herausforderung, die Klärschlammentsorgung unter Berücksichtigung der Phosphorrückgewinnung zeitnah neu zu organisieren (Interviews 6, 7, AbfKlärV).

Einige Kläranlagenbetreiber fingen vorher schon an, Rohstruvit zur Gewährleistung der Betriebssicherheit der Kläranlage aus dem Abwasser bzw. Prozessschlamm gezielt auszufällen, wodurch verhindert wird, dass Rohstruvit unkontrolliert in der Anlage zementähnliche Kesselsteinbildung verursacht. Aus dieser Motivation entstanden die ersten Struvitfällungsverfahren wie AirPrex, die sich zur Phosphorrückgewinnung auf der Kläranlage nutzen lassen (Interviews 6, 7).

Bei vielen Kläranlagenbetreibern sei die zukünftige Entsorgungssicherheit für Klärschlamm prioritär. Nach Ansicht der Expert*innen planen die Betreiber die Überlassung des Schlammes an eine Monoverbrennung, auch um eine schnelle Lösung zu haben, und beschäftigen sich dann erst später mit Struvitfällung auf der Kläranlage (Interviews 1, 7). Durch den Einsatz von Struvitverfahren verringere sich, insbesondere, wenn das Fällprodukt vom Schlamm getrennt und landwirtschaftlich verwertet wird, der Phosphoranteil im Schlamm der Kläranlage. Die Unterschreitung der rechtlich festgelegten Grenze von zwei Prozent Phosphorgehalt in der Klärschlamm-trockenmasse

stelle eine Herausforderung für die Kläranlagen mit Struvitfällung dar. Die bisherige Mitverbrennung von Klärschlamm, zum Beispiel in Abfallverbrennungsanlagen oder Kohlekraftwerken, gehe in Zukunft nur mit Struvitfällung auf der Kläranlage, wenn die gesetzlichen Rückgewinnungsquoten eingehalten werden. Wenn zukünftig die Einhaltung der Grenze nicht gelänge, müsste der Klärschlamm zur weiteren Phosphorrückgewinnung in die Monoverbrennung gegeben werden. Allerdings würde es für die Betreiber der Monoverbrennungsanlagen unattraktiv sein, diese Klärschlämme mit geringem P-Gehalt anzunehmen. Für die Schlämme mit niedrigem P-Gehalt könnten höhere Preise für die Monoverbrennung angesetzt werden. Die fehlende technische Ausgereiftheit der Struvitfällungsverfahren zur Einhaltung der rechtlichen P-Grenzwerte begünstige die Entscheidungen für die Monoverbrennung, sofern nicht eine Struvitfällung für die Betriebssicherheit notwendig sei (Interview 7). Die Unklarheiten im rechtlichen Rahmen zur Phosphorrückgewinnung und die rechtlichen Vorgaben werden als Behinderung für die Verfahren des Phosphorrecyclings beschrieben (Interviews 7, 8). Sofern eine Finanzierung der Struvitfällung notwendig würde, wird von einigen Expert*innen die Abdeckung durch geringfügige Erhöhungen der Abwassergebühren für möglich gehalten; Gebührenerhöhungen seien aber von den Kläranlagenbetreibern nicht gewollt (Interview 3).

Viele Abwasserbeseitiger würden noch auf Ergebnisse aus den RePhor-Forschungsprojekten zu Struvitanlagen warten (Interviews 1, 7). Wenn jetzt sehr viele in die Monoverbrennung gehen würden, wäre der Trend für Jahrzehnte festgelegt, und dann würde aus Sicht der interviewten Expert*innen Struvitdünger ein Nischenprodukt bleiben. Deswegen bleibe wenig Zeit, den Trend Richtung Struvitfällung zu setzen (Interview 4).

Die Nutzung eines Struvitverfahrens zur Erfüllung der Phosphorrückgewinnung bringe mehrere Herausforderungen für die Kläranlagenbetreiber mit sich. Die Produktionsmengen der einzelnen Kläranlagen seien zu klein für eine marktrelevante Menge. Es werde kein homogenes Fällungsprodukt hergestellt, weshalb eine Homogenisierung der Rohstruvite von mehreren Kläranlagen notwendig werde (Interviews 3, 4, 6, 7). Zudem müsste der Struvitdünger passend konfektioniert werden und eine düngemittelrechtliche Inverkehrbringung bzw. EU-Zulassung gewährleistet sein (Interviews 3, 8). Die Betreiber, insbesondere kommunale oder verbandlich betriebene Anlagen zur Abwasserbehandlung, könnten die neuen notwendigen Expertisen außerhalb ihres Kerngeschäfts der Abwasserbehandlung, wie Marketing, Vertrieb und eine individuelle Inverkehrbringung nach Düngemittelrecht, aufgrund ihrer Kapazitäten und Verfasstheit kaum leisten, vor allem die von kleinen Anlagen nicht (Interview 7). Aus diesen Gründen sei ein Direktvertrieb durch die Kläranlagenbetreiber schwierig und andere mögliche Schlüsselakteure von Struvitnetzwerken (siehe 5.2) scheinen besser geeignet zu sein.

Die Kläranlagenbetreiber sind eine heterogene Gruppe. Es gibt Größenunterschiede der einzelnen Anlagen, die unter anderem für die rechtliche Phosphorrückgewinnungspflicht relevant sind, eine unterschiedliche Anzahl von betriebenen Kläranlagen in der Nähe von Düngemittelindustriestandorten oder im ländlichem Raum, dessen Bewirtschaftungsform sich zwischen Viehhaltung und Ackerbau unterscheiden kann.

Laut den Expert*innen haben die Kläranlagen im Westen von Niedersachsen ihre Klärschlämme schon früh in die thermische Verwertung gegeben, da dort aufgrund der hohen Viehdichten viel Wirtschaftsdünger ausgebracht wird und die Anlagen Probleme

hatten, ihre Klärschlämme in die landwirtschaftliche Verwertung zu geben. Diese Kläranlagenbetreiber könnten auch an der Struvitfällung interessiert sein. Im Osten von Niedersachsen, wo vor allem kleinere Kläranlagen betrieben werden, war die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung üblicher (Interview 4). Die kleinen Kläranlagen in Niedersachsen außerhalb der regionalen Zentren können die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter betreiben (Interview 7). Die größeren Kläranlagen können beim Aufbau von lokalen Struvitnetzwerken von den lokalen Klärschlammnetzwerken profitieren, wie auch in Bayern und Mecklenburg-Vorpommern. In den historischen Klärschlammnetzwerken ist die Abstimmung von P-Bedarf und -Angebot schon bekannt und hat Tradition.

Anlagen zur Abwasserbehandlung mit bewährter biologischer Phosphatelimination (Bio-P) im Betriebsablauf hätten gute Voraussetzungen für die Struvitfällung. Die Anlagen, die mit Bio-P die Phosphoreinleitgrenzwerte in Gewässer nicht einhalten könnten und auf eine chemische P-Elimination angewiesen seien, können keine Magnesiumammoniumphosphat-Fällung (MAP-Fällung) anschließen, außer mit dem Stuttgarter Verfahren, was derzeit kaum weiterverfolgt werde. Wichtig sei auch, dass die Abläufe, zum Beispiel aus der Struvitfällung zur Betriebssicherheit der Kläranlage, bekannt sind. Die Betreiber, die Rohstruvit als Störstoff auf der Anlage ausgefällt haben, würden sich mit Struvitfällung wohler fühlen (Interview 7).

Kläranlagen mit Struvitfällung in der Nähe von Standorten der Düngemittelindustrie könnten lokale Netzwerke zur Düngemittelindustrie nutzen, um Rohstruvite anzubieten, wenn zum Beispiel in Verbindung mit anderen Kläranlagen ausreichende Mengen hergestellt werden würden. Wenn kein Düngemittelindustriestandort in der Nähe ist, dann wäre eine Direktvermarktung besser geeignet (Interview 6). Die großen Kläranlagen in Niedersachsen würden zur Monoverbrennung tendieren, um eine stabile Entsorgung gewährleisten zu können. Die großen Abwasserverbände, zum Beispiel in Nordrhein-Westfalen mit bis zu 70 Kläranlagen, betreiben teilweise eigene Monoverbrennungsanlagen (Interview 7).

Von den 14 bestehenden Anlagen zur Phosphorrückgewinnung in Deutschland nutzen zehn Anlagen eine Struvitfällung (LAGA 2022). Sechs dieser Kläranlagen mit Struvitverfahren liegen in Niedersachsen, weshalb von einem Struvitcluster in Niedersachsen gesprochen werden kann. Fünf der Kläranlagen liegen im Osten von Niedersachsen (LAGA 2022), wo die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung üblicher gewesen sei als im Westen von Niedersachsen (Interviews 1, 7). In den anderen Bundesländern gibt es nur einzelne Anlagen mit Struvitfällung oder zur Monoverbrennung. Bei der Neuerrichtung von Anlagen zur Phosphorrückgewinnung liegt der Fokus eindeutig auf dem Monoverbrennungsweg. Von 25 zukünftigen Anlagen setzen nur zwei Anlagen, von denen eine Anlage im Osten von Niedersachsen liegen wird, auf Phosphorrückgewinnung durch Struvitfällung (LAGA 2022).

Die Zielgruppen- und Marktanalyse (Pillen et al. 2023), bei der Einzelakteure und keine Verbandsvertreter*innen befragt wurden, kommt bei der Frage nach den Beweggründen von Kläranlagenbetreibern für die Struvitfällung zum gleichen Ergebnis. Zentrale Motivation für die gezielte Ausfällung sei es, den Anlagenschutz und somit die Betriebsstabilität zu gewährleisten, indem eine spontane Ausfällung und somit Verstopfung in Zentralleitungen oder Anlagenteilen vermieden werde.

Grundsätzlich stünden Kläranlagenbetreiber dem Struvitweg offen bis positiv gegenüber. Auch eine Konfektionierung auf der Kläranlage verbunden mit einem Direktvertrieb an die Landwirtschaft werde nicht ausgeschlossen. Zentrale Hürden im Sinne unsicherer Marktbedingungen bestünden bei den Fragen der technischen Machbarkeit sowie der Wirtschaftlichkeit einer Struvitfällung zur P-Rückgewinnung. Zudem wäre eine betriebsinterne Konfektionierung mit erheblichem Aufwand verbunden, weshalb diese Option für die Mehrzahl der Kläranlagen als unwahrscheinlich zu erachten sei. Insbesondere erheblich gestiegene Kosten seitens der Kläranlagen für die landwirtschaftliche Verwertung ihres Klärschlamm sorgten aber gleichzeitig für eine steigende Attraktivität der Monoverbrennung sowie der Struvitfällung.

4.2 Düngemittelhersteller/-mischer

Phosphorrecyclingdünger bieten eine gute Möglichkeit zur Reduzierung der Abhängigkeit von „kritischen“ Rohphosphatimporten; deswegen beschäftigen sich Düngemittelhersteller und Düngermischer mit dem Thema (Interview 6). Wie schon im Abschnitt zu den Kläranlagenbetreibern deutlich wurde, ist einerseits eine Homogenisierung der ausgefallenen Rohstruvite, die nicht mit dem Ostara-Pearl-Verfahren gewonnen werden, andererseits einschlägige Rechtsexpertise zur Inverkehrbringung nach DüMV bzw. EU-Zulassung von Düngeprodukten notwendig, wofür die Düngemittelhersteller oder Düngermischer gebraucht würden; mit ihrer Hilfe lasse sich auch das Einzugsgebiet vergrößern, um so ausreichende Handelsmengen anzusammeln (Interviews 3, 7, 8).

Diese Akteursgruppe ist ebenfalls heterogen mit unterschiedlichen Positionen zu Struvitdünger. Große Düngemittelhersteller in Deutschland wie ICL und Yara, die an den Großhandel liefern, hätten zwar Interesse an Rohstruvit als Ausgangsstoff für mineralische Phosphatdünger, um Rohphosphat als Ausgangsstoff zu ersetzen. Allerdings sei unklar, wie die struvithaltigen Fällungsprodukte als Ausgangsstoffe in die Düngerherstellungsprozesse integriert werden könnten. Die erzeugten Mengen werden als zu gering, die Logistik für die Abholung von einzelnen Kläranlagen als zu aufwendig und die Verfügbarkeit von Rohstruvit als nicht kontinuierlich gegeben gesehen. Die sehr stark schwankende Qualität der Rohstruvite aus Kläranlagen durch Unterschiede in Feuchtigkeit und Verarbeitbarkeit wird als großes Problem benannt (Interviews 2, 3, 6, 7). Zudem würden große Düngemittelhersteller die Pflanzenverfügbarkeit von Struvitdünger aufgrund der nicht gesicherten Wasserlöslichkeit und der Ergebnisse von Feldversuchen entgegen dem wissenschaftlichen Stand (Pillen et al. 2023) anzweifeln. Darüber hinaus werde von diesen eine ausreichende Reinheit zur Verarbeitung nach Düngerecht gefordert (Interview 6). Im Gegensatz zur beschriebenen kritischen Haltung wirbt K+S auf seiner Webseite mit den positiven Eigenschaften von Struvit (zum Beispiel lange Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor), das im Boden durch Anwendung von zwei Düngemitteln entstehen soll (K+S o. J.). Mehrere Düngemittelhersteller führen Pilotprojekte in anderen EU-Ländern mit Rohstruvit als Ausgangsstoff für ihre Düngemittel durch. Die Herstellungsprozesse verschiedener Düngemitteltypen seien unterschiedlich sensibel, was die Ausgangsstoffe angehe. Bei der Herstellung reiner Phosphatdüngemittel sei es üblich, dass Ausgangsmaterialien unterschiedlicher Qualität genutzt werden, während die Herstellung von NPK-Düngern sensibler sei. Generell würden aber Ascheprodukte bevorzugt (Anmerkung der Autor*innen: Im Moment gibt es auf dem Markt keinen aschebasierten Phosphordünger). Für Recyclingphosphate wie Phosphat aus Aschen sei im Herstellungsprozess der Säureaufschluss wie bei Rohphosphaten vorgesehen, um klassisches Triple-Phosphat bzw. Super-Phosphat herzustellen.

Diese Düngemittel wären dann allerdings nicht für den Ökolandbau geeignet, sondern für konventionelle Landwirtschaft, da der Zusatz von anorganischen Säuren im Ökolandbau kritisch gesehen wird. Steigerungen der Rohstoffpreise würden das Interesse von Düngemittelherstellern an Recyclingphosphaten verstärken, allerdings würden die funktionierenden Lieferbeziehungen zwischen Düngemittelherstellern und Rohphosphatlieferanten und die Versorgungssicherheit durch die aktuellen Rohstofflieferanten die Veränderungen zu Recyclingdüngern bremsen (Interview 6). Nach einem Rückgang der Preise für Rohphosphat aus Nordafrika Ende 2022 stiegen die Preise 2023 über das Preisniveau von 2022 (Deutsche Rohstoffagentur 2023).

Kleinere Düngemittelhersteller, die den Außen- und Gartenbereich bedienen und auch schon Recyclingprodukte, zum Beispiel aus der Lebensmittelindustrie, nutzen, könnten Rohstruvit gut einbeziehen (Interview 6).

Die Düngermischer, die an größere Handelsunternehmen angebunden sind, mischen individuell abgestimmte Düngemittel für die Landwirt*innen und sind viel näher an den Landwirt*innen als die großen Düngemittelhersteller. Bei hohen Düngerpreisen könnten Düngermischer einfacher günstigere Produkte integrieren. Phosphorrecyclingprodukte werden kommen und deswegen beschäftigen sich die Düngermischer mit dem Thema; allerdings würden aktuell Aschen bevorzugt, da diese technisch besser ausgereift seien als Rohstruvit. Die Düngermischer bewerten die Schadstoffelimination und die Wasserlöslichkeit bei Ascheprodukten derzeit als besser als bei Rohstruvit. Es könnten große einheitliche Mengen während der Düngesaison geliefert werden. Bei Struvitdünger müsse die Pflanzenwirksamkeit und die Granulierung stimmen, um das Produkt an die Landwirt*innen abzusetzen. Die Langzeitwirkung und die geringe Auswaschung werde unter dem Umweltschutzgedanken sehr positiv bewertet. Rohstruvit vertrage sich mit anderen mineralischen Komponenten, deshalb würde es keine Probleme bei der Düngermischung bereiten (Interview 5). Eine Mischung von Rohstruvit mit organischen Stoffen, die die Nährstoffe in unterschiedlichen Zeiträumen freisetzen, sei möglich (Interview 3).

Wenige kleinere Düngemittelhersteller und -mischer wie Soepenberg und SePura, die sich auf Recyclingdünger spezialisiert haben, könnten als Schlüsselakteure zwischen Kläranlagenbetreibern und Landwirtschaft für regionale Lösungen fungieren. Vor allem die Konfektionierung, Inverkehrbringung nach DüMV oder EU-Zulassung, Marketing und Vertrieb seien zentrale Aufgaben, für die zum Teil bereits Expertise für den Recyclingbereich vorhanden sei (Interviews 1, 2, 3, 7). Soepenberg fülle diese Brückenfunktion bei Struvit schon bedeutend aus (Interviews 1, 2, 7). Ostara ist ein Sonderfall in dieser Gruppe, da sie auch die Struvitanlagen liefern und technisch begleiten sowie eine Abnahmegarantie für die Rohstruvite geben. Zudem ist durch die sehr guten Fällprodukte aus dem Ostara-Pearl-Verfahren eine Vermarktung von Rohstruviten ohne Konfektionierung möglich (Interviews 3, 7, Kraus/Kabbe 2017).

Interviewaussagen aus der Zielgruppen- und Marktanalyse (Pillen et al. 2023) decken sich mit dem Bild, dass für größere Düngemittelhersteller die verfügbaren Mengen Rohstruvit zu gering seien. Mindestmenge für die Vermarktung seien 500 Tonnen Rohstruvit pro Jahr.

4.3 Groß-, Landhandel, landwirtschaftliche Berater und Lohnunternehmer

Die Verbindung zwischen Düngemittelherstellern und Landwirt*innen wird im Allgemeinen durch den Groß- und Landhandel geleistet. Dieser hat teilweise über landwirtschaftliche Berater*innen direkten Kontakt zu den Landwirt*innen; es gibt aber auch unabhängige landwirtschaftliche Berater*innen (zum Beispiel organisiert in Beratungsringen) und die Officialberatung. Die Düngermischer, die bereits im vorherigen Kap. 4.2 behandelt wurden, fallen ebenfalls teilweise in diese Gruppe. Die Lohnunternehmer*innen übernehmen Dienstleistungen bei der Düngung für die Landwirt*innen.

Die Großhändler haben eine Marktmacht und könnten darüber ein Treiber für Recyclingdünger sein, da sie diese bei den Herstellern anfragen könne; häufig haben sie landwirtschaftliche Berater*innen, die die Aufklärungsarbeit im Landhandel und in der Landwirtschaft übernehmen können. Allerdings wird für Recyclingdünger wie Struvitdünger aufgrund der geringen Mengen und der Logistik auf regionale Lösungen verwiesen. Aus diesem Grund wird der Landhandel als wichtiger Mittler gesehen. Landhändler seien nah dran an den Landwirt*innen und böten diesen eine ganze Produktpalette, und sie seien ständig im Austausch mit den Landwirt*innen. Es bestehe ein Vertrauensverhältnis, das mit einem Kläranlagenbetreiber, der Struvitdünger als einziges Produkt anbietet, nicht unbedingt gegeben sei. Einzelne regionale Landhändler und Genossenschaften kaufen Struvitdünger in kleinen Mengen, zum Beispiel von Soepenberg, aufgrund des günstigen Preises (Interview 5).

Die landwirtschaftlichen Berater*innen seien für Kläranlagen, Düngemittelhersteller, -mischer und auch den Handel tätig. Das Hauptaugenmerk liege auf dem direkten Kontakt zu den Landwirt*innen und der Beratung der Landwirt*innen auch in düngerrechtlichen Fragen. Die landwirtschaftlichen Berater*innen von Düngemittelherstellern und Düngermischern könnten den Landwirt*innen angeblich präzise Daten liefern, wann, wo und wie viel mit welchem ihrer Produkte gedüngt werden müsse (Interviews 3, 5). In Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen übernimmt die Landwirtschaftskammer, soweit gewünscht, ähnliche Beratungsfunktionen (Interview 4); in anderen Bundesländern ist eine entsprechende Beratung durch staatliche Stellen möglich. Eher an den betrieblichen Notwendigkeiten orientiert beraten unabhängige landwirtschaftliche Berater*innen die Landwirt*innen hinsichtlich einer optimalen Düngung (Jürgens/Fink-Kessler 2009); ähnlich funktioniert die Beratung im Öko-Landbau durch die Berater der Anbauverbände, mit der die Landwirt*innen in hohem Maße zufrieden sind (Luley 1996, Luley et al. 2015).

Für lokale Lösungen wurden auch Lohnunternehmer wie Maschinenringe aufgrund ihres engen Kontakts zu Landwirt*innen als mögliche Mittler zur Landwirtschaft genannt. Das trifft vor allem auf Lohnunternehmer*innen zu, die nicht nur ihre Maschinen und die Ausbringung, sondern ein Komplettpaket mit Dünger anbieten (Interviews 2, 5). Allerdings würden manche landwirtschaftlichen Berater*innen und Lohnunternehmer*innen wie Maschinenringe ebenfalls die Wirksamkeit von Struvitdüngern bezweifeln, da diese nicht wasserlöslich sind (Interviews 2, 5), was allerdings dem aktuellen wissenschaftlichen Stand (Pillen et al. 2023) widerspricht.

In der Zielgruppen- und Marktanalyse (Pillen et al. 2023) hat sich gezeigt, dass der Großhandel an einem Vertrieb von Struvitdünger interessiert sei. Ähnlich wie bei den größeren Düngemittelherstellern stellen die geringen verfügbaren Mengen zurzeit jedoch eine Hürde dar. Hinzu kommt, dass für den Großhandel eine gleichbleibende hohe Qualität Voraussetzung für einen großflächigen Vertrieb sei. Diese Anforderung werde

aufgrund der heterogenen Struvitqualitäten unterschiedlicher Kläranlagen bisher nur unzureichend erfüllt.

4.4 Landwirt*innen

In der Akteursgruppe der Landwirt*innen zeigt sich eine sehr unterschiedliche Positionierung von konventionellen Landwirt*innen und Ökolandwirt*innen zu Struvitdünger. Deshalb werden beide Untergruppen einzeln aus Sicht der interviewten Expert*innen, die alle dem Verbandswesen zuzurechnen sind, dargestellt.

Konventionelle Landwirt*innen

Nach Ansicht der befragten Expert*innen bestünde bei den konventionellen Landwirt*innen, bei denen hier vor allem der Marktfruchtbau und der Gemüseanbau betrachtet wurde, kaum Interesse an Struvitdünger. Struvitdünger sei noch nicht bekannt und werde kaum publik gemacht (Interviews 4, 6, 9). Zudem seien die Landwirt*innen in die Foren des Phosphorrecyclings kaum eingebunden (Interviews 1, 3). Auch auf Verbandsebene, hier der DBV, gäbe es kaum Interesse, allerdings mit regionalen Unterschieden. In Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Brandenburg bestünde in den Landesverbänden des DBV ein erstes Interesse an Struvitdünger. In den anderen Bundesländern sei Struvitdünger kein Thema (Interview 9). Zudem erkennen die Landwirt*innen keinen Vertrieb und keinen Markt für Struvitdünger. Es wurde auch darauf hingewiesen, dass der rechtliche Rahmen fehle und die Nutzung den Landwirt*innen deshalb zu unsicher erscheine. Dazu komme, dass Landwirt*innen skeptisch gegenüber neuen Produkten seien und ein agrarökonomischer Nutzen vorhanden sein müsse. Deswegen warteten die Landwirt*innen ab (Interview 9). Im Gegensatz zu Ökolandwirt*innen sei bei konventionellen Landwirt*innen der Umweltschutz als Motivation für die Düngerentscheidung nicht prioritär (Interviews 3, 7). Gleichzeitig bestehe Angst vor Schadstoffen auf den Äckern und vor allem bei Recyclingdüngen aus dem Abfallbereich. (Interviews 5, 6). Beim Gemüseanbau sind die hygienischen Anforderungen noch höher, hier darf zum Beispiel keine Gülle eingesetzt werden. Daher sei die Bereitschaft, Recyclingdünger aus dem Abfallbereich einzusetzen, geringer (Interview 6).

Um Struvitdünger für die Landwirt*innen attraktiv zu machen, müsse der Preis, die Pflanzenverfügbarkeit, die Wasserlöslichkeit stimmen und der Struvitdünger müsse kontinuierlich die gleichen Nährstoffgehalte aufweisen. Zudem müsse der Struvitdünger wie auch andere Dünger gut ausbringbar, lagerfähig und bei Bedarf im Handel verfügbar sein (Interviews 4, 5, 7). Die reduzierte Auswaschung bei Struvitdünger werde positiv gesehen, da dadurch die Anwendung des Düngers einfacher werde und Konflikte mit der Düngeverordnung reduziert würden. Dies zeigt einen Widerspruch in der Perspektive der Landwirt*innen, in der die Wasserlöslichkeit zentral ist. Landwirt*innen seien skeptisch gegenüber neuen Sachen, aber lokale Best-Practice-Beispiele und der Preis könnten Beschleuniger sein (Interview 9).

Aufgrund der hohen Preissteigerungen bei Mineraldüngern steigt die Nachfrage nach organischen Düngern (Anmerkung der Autor*innen: Die Preise für Triple-Superphosphat und Diammonphosphat sind wieder zurückgegangen, haben aber das Preisniveau von 2020 noch nicht erreicht). Zum Teil werden die Nährstoffgaben zwei, drei Jahre ausgelassen, da das bei mit Phosphor gut versorgten Böden ohne Einfluss auf die Anbaukulturen bleibe. Dadurch komme es zu verzögerten Auswirkungen der Preissteige-

rungen auf die Landwirt*innen (Interviews 4, 6, 9). Ökonomische Anreize für Landwirt*innen durch Siegel, um höhere Produktpreise zu erzielen, oder private Initiativen, zum Beispiel des Einzelhandels, zur Prämierung des Bodenschutzes könnten helfen, ein Umdenken zu ermöglichen (Interviews 3, 6). Ein geschlossener Nährstoffkreislauf sei positiv für Landwirt*innen, da sich das vermarkten ließe (Interview 9). Der regional unterschiedliche Rückgang der Tierhaltung werde zukünftig in manchen Regionen zum Mangel an organischem Dünger führen, wodurch der Bedarf an Phosphordünger steige und daher das Interesse an alternativen Düngern wie Struvit in ein paar Jahren zunehmen werde (Interview 9).

Die Interviews aus der Zielgruppen- und Marktanalyse (Pillen et al. 2023) zeigen ein differenzierteres Bild der Akteursgruppe der konventionellen Landwirt*innen. Die meisten konventionellen Landwirte machen die Nutzung von Struvitdünger als Ersatz für bisher verwendete Düngemittel maßgeblich von der erzielbaren agrarökonomischen Kosten-Nutzen-Maximierung abhängig. Es gibt aber auch Landwirt*innen, die zwar einen geringen Bedarf an Struvitdünger haben, sich jedoch durch eine positive Wahrnehmung und Bewertung von Struvitdünger sowie ein generelles Interesse an landwirtschaftlichen Innovationen auszeichnen und darüber eine grundsätzliche Bereitschaft zu dessen Einsatz mitbringen. Zentraler Einflussfaktor der Wahrnehmung und Bewertung ist der positive Effekt des Struvitweges für die Region und die Umwelt. Eine wichtige Eigenschaft, die ein Struvitdünger mitbringen sollte, ist eine minimale Schadstoffbelastung. Diese kann für viele Landwirt*innen ein K.o.-Kriterium sein, da Unsicherheiten hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen bei Regularien für Schadstoffgrenzwerte existieren.

Ökolandwirt*innen

Der Ökolandbau hat kaum Auswahl bei Phosphordüngern, da nur organische Dünger und Rohphosphat erlaubt sind. Rohphosphat ist häufig mit Cadmium oder Uran verunreinigt und hat eine schlechte Pflanzenverfügbarkeit. Wenn Wirtschaftsdünger aufgrund geringer oder keiner Tierhaltung nicht ausreichend vorhanden ist, müssen die Ökolandwirt*innen ihren Phosphordüngungsbedarf mit anderen Düngemitteln decken. Aus Sicht der Expert*innen hätten Ökolandwirt*innen und die Ökolandbauverbände deshalb großes Interesse an Struvitdünger (Interviews 1, 5, 6, 7, 8, 9). Je nach Anbausystem gäbe es im Ökolandbau Phosphorüberschüsse und -mangel. Im Gemüse- und Obstanbau gäbe es eher einen Phosphorüberschuss, während es im Ackerbau vereinzelt Flächen mit Phosphormangel gebe. Das hänge auch von den Böden ab (Interview 8).

Da Struvitdünger bis 17. Januar 2023 nicht auf der Positivliste der EU-Ökoverordnung standen, haben die Ökolandbauverbände abgewartet (Interviews 2, 3, 8). Nach der Listung können die Ökolandbauverbände Struvitdünger nun in ihre eigenen Regularien aufnehmen, um die Anwendung für ihre Verbandslandwirt*innen zu ermöglichen (Interviews 4, 5). Ökolandbauverbände wie Bioland und Naturland seien positiv gegenüber Struvitdünger eingestellt, Demeter sei zurückhaltend (Interviews 3, 5).

Die umweltschonendere regionale Herstellung von Struvitdünger, die Phosphorrückgewinnung aus den Abwässern zur Schließung des Nährstoffkreislaufs ohne Importe und die niedrigen Auswaschungsverluste werden als klare Vorteile benannt (Interviews 5, 8, 9). Die hohe Pflanzenverfügbarkeit durch die Zitronensäurelöslichkeit wird als großer Vorteil gesehen. Im Unterschied zum konventionellen Landbau, für den die im

Markt befindlichen Phosphordünger in ihrer Zusammensetzung eindeutig und immer gleich seien, weise Rohphosphat, was im Ökolandbau zugelassen ist, in seiner Zusammensetzung auch immer wieder Veränderungen auf. Deswegen gäbe es eine größere Toleranz bei Schwankungen in der Pflanzenverfügbarkeit. Früher wurden Klärschlämme aufgrund des Kreislaufgedankens im Ökolandbau genutzt, sind aber wegen der Schadstoffe mittlerweile verboten. Deswegen gibt es keine Erfahrungen mit Klärschlamm im Ökolandbau mehr. Struvitdünger sei ein sehr gutes Folgeprodukt aus dem Abwasserbereich, mit dem keine Berührungsängste bestünden. Allerdings würden die Ökolandwirte fordern, dass die Reinheit des Struvitdüngers immer gewährleistet sein müsse und dass keine Verunreinigungen wie bei Klärschlamm auftreten dürften. Die Transparenz hinsichtlich der Stoffe und Prozesse zur Herstellung von Struvitdünger aus Abwasser sei wichtig, denn der Einsatz von bestimmten Fällungssalzen oder anorganischen Säuren zur Erhöhung der Löslichkeit könnte die hohe Akzeptanz beschädigen. Die Struvitfällung auf Kläranlagen und kleinere Düngemittelhersteller hätten bei Ökolandwirten eine hohe Akzeptanz. Dünger auf Basis von Monoverbrennungssaschen werde wegen des hohen Energieverbrauchs und dem Zusatz von anorganischen Säuren abgelehnt (Interview 8).

Bezüglich der zukünftigen Struvitdüngerverfügbarkeit herrschen mehrere Unsicherheiten. Aus Sicht des Ökolandbaus seien die rechtlichen Anforderungen an die Rückgewinnungsverfahren ein Nachteil, da diese faktisch zu einem Trend zur Monoverbrennung führten und eine zukünftige Verfügbarkeit von Struvitdünger für den Ökolandbau unsicher machten (Interview 8). Die herstellbaren Mengen von Struvitdünger seien nicht groß und passten zukünftig zum Phosphorbedarf im Ökolandbau (Interview 3). Allerdings werde bei der von der Bundesregierung erwünschten Ausweitung des Ökolandbaus nach Einschätzung von Expert*innen der Phosphorbedarf im Ökolandbau nicht durch den dann produzierten Struvitdünger abdeckbar sein (Interviews 6, 7). Durch den Preisanstieg bei Düngern steige auch die Nachfrage bei den konventionellen Landwirt*innen, die dann eine Konkurrenz bei der Abnahme von Struvitdünger wären (Interview 8). (Anmerkung der Autor*innen: Die Preise für Triple-Superphosphat und Diammonphosphat sind wieder zurückgegangen, haben aber das Preisniveau von 2020 noch nicht erreicht.)

Auch mit Blick auf die Gruppe der Ökolandwirt*innen zeichnet die Zielgruppen- und Marktanalyse (Pillen et al. 2023) ein gemischteres Bild. Beim Bedarf an sowie der Wahrnehmung und Bewertung von Struvitdünger herrschen zum Teil wesentliche Unterschiede, sodass innerhalb dieser Gruppe insbesondere zwischen drei Gruppen unterschieden werden kann: Die eine Gruppe von Landwirt*innen hätte einen klar vorhandenen Bedarf, unter anderem aufgrund von nicht verfügbaren organischen Düngemitteln. Diese Gruppe zeichnet sich zudem durch eine eher positive Einstellung hinsichtlich der positiven Effekte des Einsatzes von Struvitdünger für die Region und die Umwelt aus. Konträr dazu steht eine Gruppe von Landwirt*innen, die wahrscheinlich eine hohe Verfügbarkeit organischer Düngemittel und daher keinen Bedarf an einem Struvitdünger hätten. Gleichzeitig sei diese Gruppe durch eine ausgeprägte Skepsis bezüglich der positiven Effekte für die Region und die Umwelt und eine strikte Ablehnung von Produkten aus dem Abwasserbereich charakterisiert. Zwischen diesen beiden Gruppen läge eine Gruppe, die einerseits durch einen Bedarf an, andererseits einer vorhandenen Skepsis gegenüber Struvitdünger geprägt sei.

Die Ergebnisse der Zielgruppen- und Marktanalyse zeigen, dass eine stärkere Binnendifferenzierung der konventionell und ökologisch wirtschaftenden Landwirt*innen notwendig ist. Für Interesse an einem Struvitdünger sind nicht nur die Produktionsmethoden, sondern eine Vielzahl von Faktoren wie marktbedingte Umstände, (Produktverfügbarkeit und Produkteigenschaften) sowie weitere objektive und subjektive Faktoren relevant.

4.5 Lebensmittelindustrie und -handel

Der Einzelhandel und die Lebensmittelindustrie standen nicht im Mittelpunkt der Analyse, da sie für den Aufbau von Struvitnetzwerken nur marginal relevant sind. Sie würden den Landwirt*innen Vorgaben zu Klärschlamm und Pflanzenschutzmitteln machen. Dabei ginge es vor allem um die Schadstoffreduzierung für die Verbraucher*innen. Allerdings sei das bei Dünger im Moment noch nicht relevant (Interview 1, 3, 5, 6, 7). In anderen EU-Ländern gäbe es aber Bestrebungen des Einzelhandels, die landwirtschaftliche Produktion über Anreize zu steuern, um geringere CO₂-Fußabdrücke zu belohnen. Das werde vor allem aus einem Umweltschutz- und Marketinggedanken verfolgt (Interview 6).

4.6 Staatliche Regulierungs- und Kontrollinstanzen

Wie im Abschnitt zu den rechtlichen Regelungen beschrieben wurde, durchläuft Struvit von der Fällung auf der Kläranlage bis zur Ausbringung auf dem Acker die Rechtsbereiche Wasserrecht, Abfallrecht und Düngerecht. Daraus resultiert auch eine Trennung der Zuständigkeiten von staatlichen Stellen. Auf Bundesebene und Länderebene sind die Umweltministerien für Wasser- und Abfallrecht zuständig und die Landwirtschaftsministerien für Düngerecht.

Den Umweltministerien der Länder sind die Wasserbehörden und die Abfallbehörden zugeordnet und den Landwirtschaftsministerien die Düngehörden, zu denen die Düngemittelverkehrskontrollen gehören (Interviews 1, 4, 6). In Niedersachsen werde die Abstimmung zwischen den Ministerien durch gemeinsame Arbeitsgruppen geleistet. Die landwirtschaftsrelevanten Aspekte des Abfallrechts wie Klärschlamm und natürlich das Düngerecht fallen in den Zuständigkeitsbereich der Düngehörde, die fachrechtlich beiden Ministerien zugeordnet ist (Interview 4). Für die Kläranlagen sind die Unteren Wasserbehörden zuständig. Die niedersächsische Landwirtschaftskammer, zu der die Düngehörde, aber auch die landwirtschaftliche Beratung gehört, wird als Kommunikator zur Stärkung der Recyclingdünger sowohl zu den Kläranlagenbetreibern als auch zur Landwirtschaft gesehen. Die Landwirtschaftskammer ist ebenfalls Ansprechpartner für Rechtsfragen für Kläranlagenbetreiber bei der Klärschlammverwertung und für die Landwirt*innen. Deshalb könnte die Landwirtschaftskammer eine wichtige Unterstützung für den Direktvertrieb sein (Interviews 4, 7).

Durch die neue EU-Düngemittelverordnung ist eine Konformitätsbewertung der Düngemittel bei deren europaweiter Zulassung vorgeschrieben. Allerdings sind die Konformitätsbewertungsstellen für Düngemittel erst im Aufbau. In mehreren EU-Mitgliedsstaaten wurden diese eingerichtet, allerdings noch nicht in Deutschland, was einen größeren Aufwand für Antragsteller aus Deutschland bedeute, wenn sie eine EU-Düngemittelzulassung und darauf aufbauend eine Öko-Zulassung erreichen wollen (European Commission 2023, Interviews 4, 5). Wer die Einhaltung der EU-Düngemittelverordnung kontrolliert, müsse ebenfalls noch festgelegt werden (Interview 4).

4.7 Forschungseinrichtungen

Die anwendungsorientierte Forschungsarbeit von Forschungseinrichtungen und vor allem von Forschungsprojekten unter Einbeziehung von Praxispartnern wie Kläranlagenbetreibern, Düngemittelherstellern, Ökolandbauverbänden und Landwirt*innen wird als unerlässlicher Innovationstreiber für die Entwicklung des Phosphorrecyclings gesehen. Viele Projekte beschäftigen sich mit der Verfahrenstechnik, Gefäß- und Feldversuchen. Die Optimierung der Verfahrenstechnik der Struvitfällung sei für die Erreichung der rechtlichen Grenzwerte der Phosphorrückgewinnung notwendig. Gefäß- und Feldversuche belegten die Düngewirkung von Struvitdünger. Dies sei nicht nur zur Einhaltung der rechtlichen Regelungen relevant, sondern auch für die Erhöhung der Akzeptanz der Struvitdünger bei Düngemittelherstellern, Landwirt*innen und staatlichen Akteuren. Zudem werden auch rechtliche Aspekte und Marktbedingungen für die Phosphorrecyclingprodukte zusammen mit Praxispartnern erarbeitet. Die Forschungsprojekte dienen nicht nur der Ko-Produktion von Wissen, sondern auch der Vernetzung der Akteure (Interviews 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8). Die Wissenschaft wird auch als Motor für die Veränderungen von lange gewachsenen Überzeugungen betrachtet. Hier wird das Beispiel der Löslichkeit von Düngern und deren Pflanzenverfügbarkeit genannt. Früher wurde darauf hingewiesen, dass nur wasserlösliche Dünger ausreichend pflanzenverfügbar sind. Allerdings zeigen neuere wissenschaftliche Studien, dass auch zitronensäurelösliche Dünger wie Struvit eine gute Pflanzenverfügbarkeit aufweisen. Forschungseinrichtungen wie das Julius-Kühn-Institut, das ebenfalls am Projekt P-Net beteiligt ist, werden in einer Schnittstellenfunktion zur Politik gesehen (Interview 5). Allerdings wird vereinzelt kritisiert, dass vor der RePhor-Fördermaßnahme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, die im Moment die meisten Akteure im Bereich des Phosphorrecyclings in Deutschland vereint, zehn Jahre lang kaum Fördergelder für Forschungsprojekte in dem Bereich vorgesehen wurden (Interview 7).

4.8 Verbände für Phosphorrecycling

Die Deutsche Phosphorplattform (DPP) und ihr europäischer Dachverband European Sustainable Phosphorus Platform arbeiten an der Vernetzung und dem Austausch der interessierten Akteure in technischen und rechtlichen Fragen, stellen dazu auch eigene Materialien bereit und beteiligen sich an Forschungsprojekten. Zudem werden eigene politische und rechtliche Positionen formuliert, um diese im Austausch mit politischen Entscheidungsträger*innen in die Formulierung rechtlicher Regelungen einzubringen. Kläranlagenbetreiber, Monoverbrennungsanlagenbetreiber, interessierte Düngemittelhersteller und Düngermischer sind in den Verbänden organisiert, allerdings fehle bisher die Einbindung der Landwirtschaft (Interviews 1, 3).

4.9 Zusammenfassung: Interessen der Akteursgruppen in Bezug auf Struvit

In der Beschreibung der einzelnen Akteursgruppen werden unterschiedliche Interessen an Struvit deutlich, die auf rechtlichen Rahmenbedingungen, ökonomischen und ökologischen Logiken basieren. Die Kläranlagenbetreiber haben aufgrund der rechtlichen Anforderungen ein großes Interesse an der Phosphorrückgewinnung. Die Struvitfällung war manchen Kläranlagenbetreibern zur Betriebssicherung schon bekannt, und bei den bereits bestehenden Anlagen zur Phosphorrückgewinnung sind Struvitfällungsverfahren in der Mehrheit. Allerdings zeigt der Trend beim Neubau und der Umrüstung von bestehenden Anlagen eindeutig in Richtung Monoverbrennung. Bei den

Düngemittelherstellern und Düngermischern gibt es Interesse und auch erste Pilotprojekte, allerdings sind Phosphorrecyclingdünger noch Nischenprodukte. Bei Phosphorrecyclingdüngern werden Aschen bevorzugt, da diese technisch ausgereifter seien und leichter in bestehende Produktionsprozesse integriert werden könnten. (Anmerkung der Autor*innen: Im Moment gibt es auf dem Markt keinen aschebasierten Phosphordünger.) Düngemittelhersteller, die mit Ausgangsstoffen aus dem Abfallbereich arbeiten, haben großes Interesse an Rohstruvit. Im Groß- und Landhandel kommen Struvitdünger bisher kaum an. Bei konventionellen Landwirt*innen und beim DBV besteht an Struvitdünger wenig Interesse, allerdings ist dies nicht in einer grundsätzlichen Ablehnung begründet. Im Ökolandbau werden auf Struvitdünger teilweise große Hoffnungen gesetzt, da er als umweltfreundlicher, gut wirksamer Dünger, der den Nährstoffkreislauf schließt und das problematische Rohphosphat ersetzt, gebraucht wird. Nach der Aufnahme von Struvitdünger in die Positivliste der EU-Ökoverordnung beginnen interessierte Ökolandbauverbände mit der Diskussion ihrer Regularien bezüglich Struvitdünger. Manche Expert*innen vermuten daher, dass es aufgrund der positiven Faktoren zuerst einen Markt für den Ökolandbau geben werde; wenn ausreichend Mengen vorhanden seien, könnten sich die konventionellen Landwirt*innen stärker dafür interessieren (Interview 9).

Die Entstehung des Clusters aus fünf Kläranlagen mit Struvitfällung im Osten von Niedersachsen, wo aufgrund von geringen Viehdichten wenig Wirtschaftsdünger verfügbar ist und eine Nachfrage nach Phosphordünger besteht (Pillen et al. 2023: 11), spricht für die Entstehung eines regionalen Netzwerks. Zumal ein Düngemittelhersteller, der mit Abfallstoffen arbeitet und Erfahrungen mit Struvitdünger hat, in der Region einen Standort hat. Für den Aufbau eines regionalen Wirtschaftskreislaufs auf regionaler Ebene spricht auch, dass sich aufgrund der Nähe viele Akteure bereits kennen; auch lässt sich so leichter Vertrauen herstellen (vgl. Kluge/Schramm 2003). In einem regionalen Netzwerk kann unter Umständen auch der logistische Aufwand geringer sein. Die aktuell geringen Mengen von Fällungsprodukten scheinen zudem nur für regionale Netzwerke ausreichend zu sein. In Punkt 5.1 wird zudem ein zukünftiges lokales Struvitnetzwerk analysiert. Wenn größere Mengen vorhanden sein sollten, könnten große Düngemittelhersteller Rohstruvit als Ausgangsstoff nutzen und einen überregionalen Markt bedienen.

5 Ansatzpunkte für zukünftige Struvitnetzwerke

5.1 Mögliche Transformation von lokaler Klärschlammverwertung zur Struvitnutzung: Verbandsinterne Weitergabe innerhalb des Abwasserverbands Braunschweig

Gemeinsam mit Vertreter*innen des Praxispartners Abwasserverband Braunschweig (AVB) wurde 2022 ein Konstellationsdiagramm erstellt, das die Akteure und weitere Aktanten eines möglichen zukünftigen Struvitnetzwerks für den AVB enthält (vgl. Abbildung 1).

AbfklärV als Transformationstreiber

Die Düngung mit Struvit (sowie Diammoniumsulfat) könnte ab 2029 im Verbandsgebiet des AVB die Klärschlammverregnung wenigstens teilweise ersetzen.

Bereits seit 2019 besteht in Braunschweig auf der Kläranlage Steinhof eine Fällung des Phosphors aus dem Schlammwasser durch Zugabe von Magnesiumchlorid. Zugleich wird dort durch Ammoniak-Stripfung als Stickstoffdünger Diammoniumsulfat hergestellt. Die auf der Anlage installierte Anlagentechnik zur Struvitfällung von Nuresys wurde in einem Ausschreibungsverfahren ausgewählt.

Bisher sind noch Betriebsprobleme der Struvitanlage zu lösen: So können im auf der Kläranlage Steinhof gewonnenen Fällprodukt die Nährstoffgehalte variieren; für den Einsatz bei den AVB-Landwirt*innen sei allerdings ein stabiles Produkt Voraussetzung; es müsse inverkehrbringungsfähig sein. Die Fachleute im AVB gehen davon aus, dass nach einer Ertüchtigung mit einer stabil funktionierenden Struvitanlage auf der Kläranlage Steinhof zu Beginn 70 Tonnen Rohstruvit pro Jahr und später bei voller Leistung 300 Tonnen Rohstruvit pro Jahr gewonnen werden könnten.

Allerdings ist bisher nicht sicher, ob mit der Fällung des Rohstruvits aus dem Schlammwasser auf der Kläranlage Steinhof 2029 die nach AbfklärV vorgeschriebenen Rückgewinnungsquoten erreicht werden. Aufgrund der rechtlichen Vorschriften hat der AVB 2023 der Düngbehörde Niedersachsen, die die Informationen an das niedersächsische Umweltministerium weitergibt, berichtet, welche Maßnahmen zur Sicherstellung der Phosphorrückgewinnung ab 2029 geplant und eingeleitet werden. Zunächst hat der AVB vorsorglich mit einem Verwerter, der Klärschlamm in einer Verbrennungsanlage thermisch verwertet, einen Vertrag geschlossen. Vertraglich ist geregelt, dass bis 2029 ein Konzept zur Phosphorrückgewinnung erarbeitet wird. Allerdings hat der AVB keinen Zugriff auf den recycelten Phosphor oder ein daraus hergestelltes Düngemittel vereinbart. Vor der Monoverbrennung müsste der Klärschlamm in Steinhof in der Zentrifuge entwässert werden, wie das jetzt auch schon für die Mitverbrennung gehandhabt wird. Das dabei entstehende Zentratwasser soll dann in die Struvitanlage gegeben werden.

Vom Fällprodukt zum Düngemittel

Die Einsetzbarkeit des auf der Kläranlage Steinhof aus dem Schlammwasser gefällten Produkts für die Landwirtschaft kann auf mehreren Wegen erreicht werden. Für das zukünftige Phosphornetzwerk wurden während der Konstellationsanalyse am 14. Oktober 2022 die theoretisch denkbaren Konstellationen kontrastiert. Wenn das ausgefällte Rohstruvit ohne weitere Bearbeitung landwirtschaftlich genutzt werden könnte, dann könnte es verbandsintern an die AVB Landwirt*innen weitergegeben werden (1. Konstellation). Dazu müsste der AVB den Struvitdünger nach EU-Recht zulassen oder

Abwasserwertung und Struvitnutzung

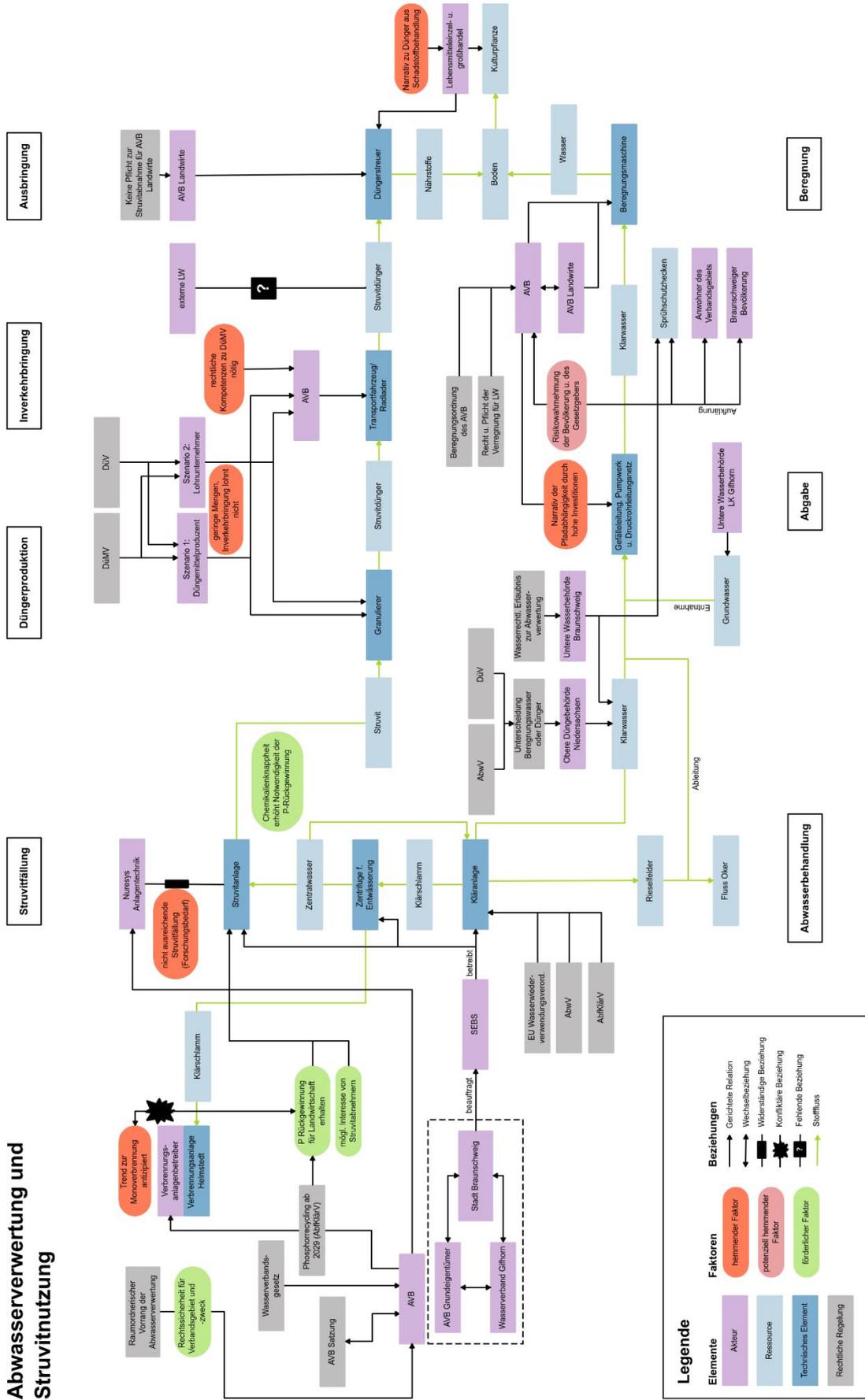


Abbildung 1: Flussdiagramm der Abwasserwertung und Struvitnutzung

nach DüMV in Verkehr bringen und würde daher eine (externe) rechtliche Expertise im Düngemittelrecht benötigen. Auf der derzeit betriebenen Anlage sei es jedoch unwahrscheinlich, Rohstruvit zu erzeugen, das direkt mit vorhandener Technik auf landwirtschaftlichen Flächen als Düngemittel ausgebracht werden kann. Folglich wird in plausiblen Konstellationen von einer Aufbereitung des Rohstruvits in Form einer Homogenisierung und Granulierung ausgegangen. Hierfür benötigt der AVB nach dem aktuellen Stand einen externen Partner, zu dem das Fällprodukt gebracht wird, der das verkehrsfähige Düngemittel herstellt und es dann wieder zum AVB zur verbandsinternen Weitergabe transportieren lässt. Dann würde der externe Partner die rechtliche Expertise im Düngemittelrecht bereitstellen.

Ein externer Partner könnte auf zwei unterschiedliche Arten in das zukünftige Phosphornetzwerk eingebunden werden:

1. Das ausgefällte Rohstruvit wird an einen Düngemittelproduzenten verkauft, der dieses zu Struvitdünger konfektioniert. Der AVB erhält ein bevorzugtes Kaufrecht. Der AVB kauft den Struvitdünger mit Produkteigenschaft und Zulassung nach EU-Recht oder Kennzeichnung nach der DüMV zurück. Der AVB vertreibt diesen Struvitdünger an die Verbandslandwirt*innen und gibt den Preisvorteil an diese weiter. Das wäre für die Landwirt*innen wirtschaftlich lohnenswert. (2. Konstellation)

2. Das Rohstruvit wird von einem/r Lohnunternehmer*in zu Struvitdünger konfektioniert. Das Rohstruvit verbleibt im Besitz des AVB und der/die Lohnunternehmer*in wird für die Konfektionierung entlohnt. Die Anlieferung als Abfall bei dem/der Lohnunternehmer*in müsse möglich sein. Der Struvitdünger müsse als Produkt mit Düngemittelzulassung nach EU-Recht oder Kennzeichnung nach DüMV zurückkommen, so dass ein Weitervertrieb wie unter 1. möglich wird. Denn für den AVB ist die Produktion und der Vertrieb von Düngemitteln kein Kerngeschäft. (3. Konstellation)

Während der Konstellationsanalyse wurde nicht weiter überprüft, ob die zweite und dritte Konstellation in gleicher Weise realisierbar sind. Folgende Einschätzung dazu: Die zweite Konstellation ist gemäß der zuvor erfolgten Akteursanalyse möglich. Allerdings kann sich dabei als Herausforderung darstellen, ob bzw. wann der AVB gegenüber dem Hersteller über eine Position verfügt, die es ihm erlauben wird, die eigene Produktionsmenge an Rohstruvit wieder zu einem günstigen Preis zurückzukaufen, so dass die AVB-Landwirt*innen einen Vorteil bei dieser verbandsinternen Weitergabe haben. Für die dritte Konstellation wurden in der Akteursanalyse bisher keine Akteure identifiziert, die bereit sind, eine Düngemittelaufbereitung und vor allem auch die Zulassung oder Kennzeichnung im Auftrag durchzuführen. Es ist wenig wahrscheinlich, dass die Risiken bei einer düngemittelrechtlichen Zulassung oder Kennzeichnung von diesem Externen an den Auftraggeber durchgereicht werden können. Daher ist eher plausibel, dass sich die Düngemittelhersteller/-mischer diese Tätigkeiten gut bezahlen lassen. Dadurch wird es für den AVB möglicherweise unattraktiv. Anders kann sich die Lage jedoch entwickeln, wenn es mehrere Unternehmen, etwa aus dem EU-Ausland, gäbe, die einen Zugang zum deutschen Markt erreichen wollen und die den AVB als Schlüsselakteur (zum Beispiel in Hinblick auf die weiteren Struvit-Kläranlagen in Niedersachsen) ansehen würden.

Zuteilung und Ausbringung des Düngers an die AVB-Landwirt*innen

Der AVB wird den Struvitdünger bevorzugt an die im AVB-Gebiet tätigen Landwirt*innen verteilen. Angesichts der Knappheit des auf der eigenen Kläranlage gewonnenen

Rohstruvits könnte das Düngemittel unter der Maxime der Bedarfsgerechtigkeit verteilt werden: In einen möglichen Verteilschlüssel könnten Gesichtspunkte wie Anteil an der Verbandsfläche und betrieblicher Bedarf nach Bedarfsberechnung eingehen. Für die AVB-Landwirt*innen soll keine Pflicht zur Struvitdüngerabnahme bestehen. Die Workshopteilnehmer*innen sehen bei einem Überangebot von Struvitdünger kein Problem, da AVB-Landwirt*innen auch Flächen außerhalb des Verbandsgebiets bewirtschaften, wo sie auch Struvitdünger ausbringen könnten. Ein Verkauf an externe Landwirt*innen wurde daher auf dem Workshop nicht vorgesehen. (Hier könnte sonst auf die Erfahrungen, die der AVB bereits heute bei der Verteilung von Klärschlamm an externe Landwirt*innen hat, zurückgegriffen werden, vgl. Anhang, so dass hier eine Direktvermarktung im Zentrum stünde.)

Auch wenn der Struvitdünger nur innerhalb des Verbands weitergegeben wird, ist dies düngerechtlich als eine Inverkehrbringung zu bewerten. Insofern muss das Düngeprodukt rechtlich entsprechend zugelassen oder gekennzeichnet sein.

Der Phosphorbedarf im Verbandsgebiet wird wie folgt kalkuliert: Aus 2.700 Hektar landwirtschaftlich bewirtschafteter Fläche im Verbandsgebiet und einem durchschnittlichen P_2O_5 -Bedarf von 50 Kilogramm pro Hektar ergeben sich 135 Tonnen P_2O_5 pro Jahr. Das heißt, mit dem nach den Kalkulationen des AVB zukünftig aus dem Fällprodukt der Kläranlage Steinhof produzierten Struvitdünger könnte ein Drittel des Bedarfs der AVB-Landwirt*innen gedeckt und zum Beispiel für den Maisanbau verwendet werden. Mais wird im Verbandsgebiet als Energiepflanze für die verbandseigene Biogasanlage angebaut. Struvitdünger kann in Maiskulturen als Unterfußdünger ausgebracht werden; eine Korngröße von zwei Millimetern sei dabei wichtig für die Ausbringungsarbeit. Als Problem wird seitens der Landwirt*innen die langsame Wasserlöslichkeit des Struvitdüngers genannt, die zu Ernährungsproblemen bei Kulturen wie Mais führen würde. In den Feldversuchen des JKI im Rahmen von P-Net wurde diese Beobachtung nicht bestätigt.

Beregnung

Die sandigen Böden des Verbandsgebiets machen für eine Pflanzenproduktion eine Beregnung notwendig; aufgrund der naturräumlichen Situation könnte der Ablauf aus der Kläranlage (Klarwasser), der als Beregnungswasser dient, nur unvollkommen durch Grundwasser ersetzt werden. Das bedeutet, dass der Anbau bei Einschränkung der Beregnungsmengen verändert werden müsste. Durch das im AVB-Gebiet etablierte Beregnungssystem, das aus der Gefälleleitung, den Pumpwerken, dem Druckrohrleitungsnetz und den Beregnungsmaschinen (Trommelregner) besteht, ergibt sich eine Pfadabhängigkeit. Diese Infrastruktur muss (notwendigerweise) bestehen bleiben, da die Investitionen für eine flächendeckende Umstellung auf andere Beregnungssysteme (zum Beispiel eine Untergrund- oder eine Tropfbewässerung) zu hoch sind, auch wenn diese für bestimmte Kulturen vorteilig sein könnten. Jährlich werden allerdings vier bis fünf Kilometer Drucknetz erneuert; das erlaubt mittelfristig infrastrukturelle Anpassungen.

Für den Nährstofftransport durch das Klarwasser ist die AbklärV nicht relevant. Die DüV wird relevant, wenn der Ammoniumgehalt im Wasser zwölf Milligramm übersteigt, da das Wasser dann als Dünger eingestuft wird. Unter zwölf Milligramm Ammonium im Wasser handelt es sich um Beregnungswasser und die DüV greift nach Abklärung des AVB mit der Oberen Düngbehörde Niedersachsens nicht, sondern die Grenzwerte zur Einleitung in Gewässer nach AbwV. Diese Unterscheidung ist schon

heute relevant – vor allem aufgrund der Einstufung als „rotes Gebiet“ auf Basis der Landesdüngeverordnung von 2021 (wegen der Nitratbelastung im Grundwasser). Ab 2029 ist die Klärschlammverwertung und damit die Beimischung desselben ins Bewässerungswasser nicht mehr erlaubt.

Im Hinblick auf die Wasserwiederverwendungsverordnung der Europäischen Union müssen seit Mitte 2023 bestimmte weitergehende Qualitätsanforderungen für die Verwendung von aufbereitetem Abwasser in der Landwirtschaft erfüllt sein. Unter anderem muss die Hygienisierung des Wassers gewährleistet werden. Der AVB hat dazu einen entsprechenden Genehmigungsantrag bei der Unteren Wasserbehörde Braunschweig in Abstimmung mit den Unteren Wasserbehörden der Landkreise Peine und Gifhorn gestellt. Bestandteil des Antrages ist ein Risikomanagementplan und die Beschreibung der umgesetzten Desinfektionsanlage. Auf Basis der Mindestanforderungen der EU-Verordnung 2020/741 zur Wasserwiederverwendung hat die Untere Wasserbehörde Braunschweig die Genehmigung zur Erzeugung und Erlaubnis zur Aufbringung von aufbereitetem Wasser erteilt.

Resultat

Der AVB ist bereits heute ein erprobtes Phosphornetzwerk zwischen Kläranlage und Landwirtschaft. Produkte aus der Abwasserbehandlung und der Umgang damit sind, auch in der Nachbarschaft, bekannt und lösen keine Berührungängste aus. Dieses Akteursnetzwerk kann bestehen bleiben und weiter genutzt werden, ohne dass es zu vielen Veränderungen kommt. So ist die Organisationsstruktur des AVB für die dargestellte verbandsinterne Weitergabe von Struvitdünger geeignet. Für die Transformation ist keine Satzungsänderung des AVB notwendig.

Sowohl die Geschäftsführung des Verbandes als auch die AVB-Landwirt*innen sind bereits mit den Besonderheiten der Struvitdüngung vertraut. Auf der Kläranlage Steinhof ist eine Fällanlage installiert, mit der bereits seit über vier Jahren Erfahrungen gesammelt wurden. Im Verband ist Struvit als neues, angepasstes Düngeprodukt bereits bekannt; landwirtschaftliche Feldversuche bei Multiplikatoren haben im Verbandsgebiet bereits stattgefunden.

Die bestehende Wasserverteiltechnik des AVB kann weiter genutzt werden. Eine Umstellung auf Tröpfchenbewässerung oder Unterflurbewässerung ist nicht ohne Weiteres möglich und auch nicht nötig. Wegen der Schwebstoffe im Wasser wäre eine derartige Umstellung technisch erst nach Einführung einer Filterung möglich.

Für die diskutierten Veränderungen ist die rechtliche Expertise im AVB vorhanden, mit Ausnahme des Düngemittelrechts; die bestehenden Erlaubnisse zur Verregnung können weiter genutzt werden. Die Umsetzung der EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung führt zu Veränderungen im betrieblichen Ablauf, derzeit insbesondere beim Monitoring und beim Wassermanagement. Zusätzlich ist zukünftig eine Erweiterung der Kläranlage um eine Spurenstoffelimination geplant. Es ist weiterhin eine flexible Nutzung des Klarwassers durch die Landwirtschaft (zum Beispiel je nach saisonalen Bedürfnissen Zwischennutzung der Rieselfelder) möglich.

Als förderliche Faktoren der Transformation wurden identifiziert:

- der Erhalt der Rechtssicherheit für den Verband (sowohl in Bezug auf den Zweck als auch gebietlich); hier kann auch die Klimaveränderung (zum Beispiel Dürren) eher stabilisierend wirken,

- die wachsende Nachfrage nach Struvitdünger seitens der AVB-Landwirt*innen,
- die aktuelle Knappheit an Chemikalien für die konventionelle P- und N-Elimination auf Kläranlagen fördert andere Aufbereitungswege, bei denen sich eine Struvitfällung empfehlen kann. (Anmerkung der Autor*innen: Die extreme Fällmittelknappheit hat sich reduziert. Fällmittel sind wieder ausreichender am Markt erhältlich.)

Als hemmende Faktoren wurden identifiziert:

- eine evtl. nicht ausreichende Kristallbildung bei der Struvitfällung,
- zu geringe Mengen an Rohstruvit aus der Anlage, so dass sich eine eigenständige Inverkehrbringung nicht lohnt,
- der antizipierte Trend der Abwasserwirtschaft zur Monoverbrennung.

Als potenziell hemmende Faktoren wurden genannt:

- landwirtschaftlich ungeeignete Produkteigenschaften des Düngemittels (zum Beispiel zu langsame Pflanzenverfügbarkeit),
- Risikowahrnehmungen von Bevölkerung und Lebensmittelhandel,
- Pfadabhängigkeiten bei Erfordernissen in der Umstellung der Bewässerungstechnik.

5.2 Mögliche Schlüsselakteure zur Aufspannung von Struvitnetzwerken

Zusätzlich zur verbandsinternen Weitergabe innerhalb eines Wasser- und Bodenverbandes, der im vorherigen Abschnitt beschrieben wurde, gibt es weitere mögliche Struvitnetzwerke, die in den hauptsächlich mit Verbandsvertreter*innen geführten Interviews (siehe 2.1) skizziert wurden. Die Schlüsselfunktion in einem Struvitnetzwerk, durch die Kläranlagenbetreiber und Landwirt*innen entscheidend in Beziehung gebracht werden und das Netzwerk aufgespannt wird, kann von verschiedenen Akteuren übernommen werden, die nachfolgend erläutert werden. Zu den Aufgaben gehören die Sammlung der Rohstruvite, die Homogenisierung und Konfektionierung zu einem Düngemittel, Inverkehrbringung nach DüMV bzw. EU-Zulassung, Vertrieb, Marketing und landwirtschaftliche Beratung.

Erstens, der Direktvertrieb von der Kläranlage an die Landwirt*innen, die nicht in einem Wasser- und Bodenverband zusammengeschlossen sind, könnte lange bestehende oder ehemalige Klärschlammnetzwerke und die Berater*innen, die für die Kläranlagen die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung organisierten, nutzen. Bei den Landwirt*innen, die Klärschlamm nutzen oder früher genutzt haben, ist die Skepsis, Stoffe aus dem Abwasserbereich als Dünger zu nutzen, meist geringer (Interview 8).

Zweitens, von mehreren Kläranlagenbetreibern gegründete Gemeinschaftsunternehmen (Joint Ventures) könnten den Kläranlagenbetreibern auch andere neue notwendige Funktionen abnehmen, die nicht zum Kerngeschäft der Kläranlagenbetreiber gehören. Diese könnten auch die Schlüsselfunktion in dem Netzwerk zwischen Kläranlagenbetreibern und Handel oder Landwirt*innen in einem Direktvertrieb, zum Beispiel über einen Struvithub, übernehmen. Früher gab es die Berater*innen für die Klärschlamm-entsorgung, was auch schon eine Art Outsourcing war (Interviews 3, 4, 8). Es stellt sich die Frage, ob solche Zusammenschlüsse von Kläranlagenbetreibern im deutschen Verbands- oder Kommunalrecht möglich sind (Interview 3). Rechtlich sind solche Zusammenschlüsse für kommunale und insbesondere für verbandliche Unternehmen nicht einfach. Private Akteure wären hingegen im Vorteil.

Drittens, die Düngemittelhersteller müssten als Schlüsselakteure fungieren und sich um die Qualität des Düngemittels, die Konfektionierung, das Inverkehrbringen nach DüMV oder die EU-Zulassung, die Vermarktung etc. kümmern. Dafür sind vor allem mittelgroße Düngemittelhersteller wie Soepenbergl mit regionalen Düngerhubs geeignet. Bei Düngemittelherstellern, die auf Recyclingdünger spezialisiert sind, bestehen bereits Erfahrungen mit Stoffen aus dem Abfall- und Abwasserbereich und eine Logistik für die Sammlung der Rohstruvite. Folglich könnten die Kläranlagenbetreiber diese Punkte outsourcen und sich auf ihr Kerngeschäft konzentrieren (Interviews 4, 7, 8).

Viertens, die Düngermischer, die lokal die Landwirt*innen beraten und mit individuell abgestimmten Düngemitteln versorgen, könnten auch ein guter Schlüsselakteur für eine regionale Lösung sein. Die Homogenisierung der rohstruvithaltigen Fällungsprodukte, Vertrieb und Marketing und landwirtschaftliche Beratung könnten die Düngermischer übernehmen (Interview 3). Zusätzlich müssten die Düngermischer die Konfektionierung der homogenisierten Rohstruvite und auch ein Inverkehrbringen nach DüMV oder eine EU-Zulassung des Struvitdüngers leisten. Allerdings haben die Düngermischer im Vergleich zur Abwasserwirtschaft viel geringere Kapazitäten. Abwasserwirtschaft und Düngermischer könnten auch zusammenarbeiten (Interview 3).

Fünftens könnten auch Handelsunternehmen wie Raiffeisen oder BayWa als Schlüsselakteure fungieren und zwischen den Kläranlagen und den Düngermischern, wenn die Handelsunternehmen nicht selber über Mischanlagen verfügen, oder direkt den Landwirten eine Brückenfunktion einnehmen (Interview 3). Dies würde allerdings voraussetzen, dass schon ein homogener, deklarierter Struvitdünger vorliegt.

Die Gegenüberstellung der eingangs genannten Aufgaben des Schlüsselakteurs (Sammlung der Rohstruvite, deren Homogenisierung, Konfektionierung und Inverkehrbringung bzw. Zulassung, Vertrieb, Marketing und landwirtschaftliche Beratung) und der bereits bei den Akteuren vorhandenen Kompetenzen macht deutlich, dass mittelgroße Düngemittelhersteller, vor allem, wenn sie bereits mit Ausgangsstoffen aus dem Abfall- und Abwasserbereich arbeiten, sehr gut für die Schlüsselstellung in einem Struvitnetzwerk geeignet sind.

6 Fazit und Ausblick

Die Bedingungen für das Gelingen einer Transformation der Phosphor-Kreislaufwirtschaft mit dem Fokus auf Struvit können nicht abschließend bewertet werden, da die genannte Transformation noch nicht an einem entscheidenden Punkt der Verwirklichung angelangt ist. Allerdings lässt unsere vorliegende Analyse mehrere wegweisende Schlüsse zu rechtlichen Regelungen, Technologien, Ressourcen, Akteuren und Netzwerken als Transformationstreiber zu, die im Folgenden erläutert werden.

Rechtlicher Rahmen und Unterstützung durch die Bundesregierung

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Transformation der Kreislaufwirtschaft bei Phosphor über die Struvitherstellung und -nutzung sind gegeben. Die zukünftig geltende Phosphorrückgewinnungspflicht und das Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung für Kläranlagen ab 50.000 EW in der AbfklärV gibt einen Impuls zur Struvitherstellung, auch wenn die Monoverbrennung im Vergleich von vielen Kläranlagenbetreibern favorisiert wird. Durch die Aufnahme von Fällungsprodukten als Komponentenmaterialkategorie (CMC) in die EU-Düngeprodukteverordnung und von Struvitdüngern in die Positivliste der EU-Ökoverordnung wurde die Rechtssicherheit für die Nutzung von Struvitdüngern verbessert. Die Abschaffung der Anforderung der Wasserlöslichkeit nach DüMV wird angestrebt, steht aber noch aus. Aktuell scheint man sich auf den Zwischenschritt zu einigen, dass Struvitdünger als mineralische NP-Dünger in Deutschland vertrieben werden können (Persönliche Kommunikation mit Vertretern einer Düngebehörde, November 2023).

Die Bundesregierung hat mit der Rückgewinnungspflicht für Phosphor und der Unterstützung beim Bau von Rückgewinnungsanlagen die Transformation zu einer stärkeren Recyclingdüngernutzung in Deutschland angestoßen. Für die Wirksamkeit der Struvitdünger werden Untersuchungen seitens des Projektpartners Julius-Kühn-Institut und vergleichende Studien zur Düngewirksamkeit im Rahmen von RePhoR durchgeführt. Auch organisatorische Fragen werden in der RePhoR-Maßnahme des BMBF untersucht. Da die Phosphorrückgewinnung aus der Abwasserbeseitigung nur sehr langsam Fahrt aufnimmt, wäre es sinnvoll, dass von der Bundesregierung geprüft wird, wie weitere Schritte im Bereich der Düngemittelherstellung, bei Marketing und Vertrieb stärker unterstützt werden können.

Technologien

Die Struvitfällung hat eine gute Ökobilanz und ist kostengünstig. Sie produziert Rohstruvite als Ausgangsstoffe für Struvitdünger, die sehr gut pflanzenverfügbar sind und geringe Schadstoffgehalte aufweisen. Allerdings können durch die Struvitfällung auf der Kläranlage nur kleine Mengen an phosphorhaltigen Fällungsprodukten produziert werden, und das bedeutet einen hohen logistischen Aufwand für ein Struvitnetzwerk. Daher scheinen lokale und regionale Netzwerke geeignet zu sein. In Deutschland wird intensiv an den Struvitfällungsverfahren gearbeitet, um die rechtlich festgelegten Phosphorrückgewinnungsquoten zu erfüllen und ein stabiles Rohstruvit herzustellen. Auch im Rahmen von P-Net wurden in diese Richtung bereits entscheidende technologische Fortschritte erzielt.

Zur Herstellung von Struvitdüngern werden von Düngemittelherstellern unterschiedliche Konfektionierungsverfahren erprobt, die bisher noch nicht marktreif sind. Es wird daran gearbeitet, Struvitdünger herzustellen, der mit den vorhandenen Landmaschinen

der Landwirt*innen ausgebracht werden kann, so dass an dieser Stelle keine technologische Neuerung notwendig wird.

Ressourcen

Da Chemikalien für die konventionelle Phosphatelimination auf Kläranlagen der Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft teurer werden und aus verschiedenen Gründen zunehmend von den Düngemittelherstellern Recyclingphosphat anstelle von Rohphosphat eingesetzt wird, wird auch in anderen Mitgliedsstaaten der EU künftig Struvitdünger in größeren Mengen erzeugt werden. Vermutlich wird aufgrund der teilweise anderen Verfasstheit der Abwasserwirtschaft dort zunächst verstärkt auf das Ostara-Verfahren zurückgegriffen werden, soweit das betrieblich und gebührentechnisch möglich ist. Weitere Verfahren, wie sie insbesondere im P-Net-Verbund weiterentwickelt werden, können es jedoch anderen Düngemittelherstellern ermöglichen, gleichfalls Struvitnetzwerke zwischen Kläranlagen und Landwirt*innen aufzubauen.

Akteure

Im entstehenden Struvitnetzwerk sind es im Moment vor allem die folgenden Akteure, die die Transformation zu Phosphorrecyclingdüngern und in unserem Fall Struvitdünger voranbringen. Die Bundesregierung hat mit der rechtlichen Verpflichtung der Kläranlagenbetreiber zur Phosphorrückgewinnung und dem Verbot der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung den Transformationsdruck auf der Angebotsseite der Phosphorrecyclingprodukte angesetzt. Durch das Verbot der Klärschlammausbringung in der Landwirtschaft wurde auch auf der Nachfrageseite ein Anreiz für den Ersatz mit Phosphorrecyclingdüngern geschaffen. Die Abwasserbeseitiger, die sich für die Struvitfällung entschieden haben, arbeiten gemeinsam mit Anlagenherstellern und Forschungseinrichtungen an der Optimierung der großtechnischen Struvitfällung, um Rohstruvite anbieten zu können und um die rechtlichen Grenzwerte einzuhalten. Die Düngemittelhersteller, die mit Ausgangsstoffen aus dem Abfallbereich arbeiten, beschäftigen sich mit der Aufbereitung der Rohstruvite zu Düngemitteln, um den Landwirten ein gut einsetzbares – zum Beispiel streufähiges – Produkt zu bieten. Ökolandbauverbände beschäftigen sich mit den Akzeptanzkriterien für die Nutzung von Struvitdüngern. An Innovation interessierte Landwirt*innen beteiligen sich an Feldversuchen. Die Verbände für Phosphorrecycling schaffen Plattformen für den Austausch zwischen den Akteuren. Mit diesen Akteuren ist der Aufbau von regionalen Struvitnetzwerken möglich. Skeptische konventionelle Landwirt*innen und Ökolandwirt*innen müssten überzeugt werden, und Struvitdünger müssten bekannter gemacht werden. Entsteht eine relevante Nachfrage bei den Landwirt*innen, wird auch der Groß- und Landhandel Struvitdünger ins Sortiment aufnehmen. Wenn große Düngemittelhersteller auf Struvit setzen würden, dann könnten zudem überregionale Struvitnetzwerke entstehen. Dabei ist es wichtig, die Interessen sowie betrieblichen und ökonomischen Notwendigkeiten der noch zögerlichen Akteure zu kennen.

Netzwerke

In der Analyse wurde deutlich, dass in Deutschland sehr verschieden aufgebaute Netzwerke zur Vermarktung und landwirtschaftlichen Verwendung von Struvit um unterschiedliche Schlüsselakteure herum entstehen können. Schlüsselakteure können Gemeinschaftsunternehmen von Kläranlagenbetreibern, Düngemittelhersteller und -mischer sowie Groß- und Landhandel sein. Im Moment scheinen Düngemittelhersteller, die Ausgangsstoffe aus dem Abfallbereich verarbeiten, am besten als Schlüsselakteur

eines Struvitnetzwerks geeignet zu sein. Eine hohe Transferdynamik wird jenseits des Öko-Anbaus insbesondere in jenen Marktfruchtbauregionen vermutet, wo sich keine oder nur geringe Phosphatvorräte in den Böden anlagern können.

Alte Klärschlammnetzwerke, die hier am Sonderfall der Klärschlammverregnung im Abwasserverband Braunschweig untersucht wurden, können ebenfalls als Transformationstreiber fungieren. Eine Transformation befördernde Faktoren sind etwaige vorhandene Verbandsstrukturen, die beibehalten werden können, ein bestehendes und erprobtes Akteursnetzwerk zwischen Abwasserbeseitigern, Landwirt*innen und gegebenenfalls landwirtschaftlichen Berater*innen. Produkte aus dem Abwasserbereich und der Umgang damit sind bekannt und lösen keine Berührungängste aus. Die Risikowahrnehmungen des deutschen Gesetzgebers, der Bevölkerung und des Lebensmittelhandels lassen sich dabei berücksichtigen.

Ausblick

Aktuell kann festgehalten werden, dass die Transformation beginnt und 2029 gut erkennbar sein wird. Erste Struvitnetzwerke sind dabei, sich im Osten Niedersachsens – dem untersuchten Projektgebiet – zu etablieren. Dazu zählt ein lokales Struvitnetzwerk, das von den Produkten einer Kläranlage ausgeht, sowie ein regionales Netzwerk, in dem verschiedene Kläranlagen ihr Rohstruvit zur Düngerproduktion an einen Düngemittelhersteller abgeben. Es wird spannend sein zu beobachten, wie sich die Dinge insbesondere mit Blick auf die Anwendung in der ökologischen Landwirtschaft weiterentwickeln und was mögliche Kippunkte in dieser Entwicklung sein könnten. Auch wird die Robustheit solcher Netzwerke, etwa bei Wegfall eines Schlüsselakteurs, nochmals genauer untersucht werden. Dies soll in die Bewertung der Netzwerke münden, in die auch Aspekte wie die institutionelle Verfasstheit, die Bedeutung und der Aufwand je Akteur einfließen werden.

Sicherlich wird es auch wesentlich sein, wie die Düngemittelpreise sich entwickeln und ob neben der hohen Volatilität auch das hohe Preisniveau, das während der Erhebung zu verzeichnen war, weiter fortbesteht. Beides stärkt die Attraktivität von solchen Netzwerken, die je nach Verfasstheit für eine stärkere Stabilität und bessere Verfügbarkeit von Phosphordüngern unabhängig vom Weltmarktgeschehen in einer Region sorgen können. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie sich die Abwägung zwischen Klimaneutralität und energieeffizientem Wirtschaften der Kläranlagen einerseits und Ressourcenrückgewinnung andererseits weiterentwickeln wird. Hier ist nach wie vor ein Zielkonflikt angelegt, von dem unklar ist, wie damit umgegangen bzw. darüber entschieden wird.

Aktuell scheint zwar, dass die Struvitfällung von diesem Zielkonflikt weniger betroffen ist, jedoch ergibt sich dafür ein höherer Aufwand im Bereich des Managements auf den einzelnen Kläranlagen und der nachfolgenden Logistik und Überantwortung des Rohstruvits in die Verwertung. Hier ist die aktuelle rechtliche Einordnung der EU-Konformitätsprüfung von Douhaire et al. (2024) als sehr hilfreich und stützend zu bewerten, da darüber kein zu großer zusätzlicher Aufwand auf die Anlagenbetreiber und Hersteller des Rohstruvits zukommen würde.

Abschließend wird es sicherlich interessant sein zu sehen, ob die prognostizierte starke Verknüpfung von Struvitdüngern mit der ökologischen Landwirtschaft so eng erfolgen wird, wie von vielen der interviewten Expert*innen angenommen. Das wird einen wesentlichen Einfluss auf die weitere Ausgestaltung der Netzwerke haben und von daher

vom Verbund P-Net und den Autor*innen auch weiterhin genau im Blick behalten werden.

Beiträge der Autor*innen

Gesamter Text: Markus Rauchecker, Engelbert Schramm, Jonathan Pillen, Michaela Rohrbach, Martina Winker

Abschnitt 5.1 und Anhang: Franziska Gromadecki, Janina Heinze, Heinrich Ripke

Danksagung

Diese Veröffentlichung basiert auf Forschungsarbeiten im Verbundvorhaben „Aufbau eines Netzwerks zum ressourceneffizienten Phosphorrecycling und -management in der Region Harz und Heide (P-Net)“, das unter dem Förderkennzeichen 02WPR1542B vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wurde. Wir danken dem BMBF für die Förderung. Zudem möchten wir uns bei allen Interviewpartner*innen sowie den Projektpartner*innen für die eingetragenen Erfahrungen und Einschätzungen bedanken.

7 Quellen und Literatur

- AbfKlärV (2017): Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost. (Klärschlammverordnung - AbfKlärV)
- Bogner, Alexander/Beate Littig/Wolfgang Menz (Hg.) (2009): Interviewing Experts. London: Palgrave Macmillan
- Brownlie, W.J./M.A. Sutton/K.V. Heal/D.S. Reay/B.M. Spears (Hg.) (2022): Our Phosphorus Future. UK Centre for Ecology & Hydrology, Edinburgh.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17834.08645>
- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2020): Broschüre Düngeverordnung 2020. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
- Deutsche Rohstoffagentur (2023): Preismonitor Rohstoffe: September 2023. Berlin: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Douhaire, Caroline/Sylvia Kratz/Markus Rauchecker/Hans-Walter Schneichel/Engelbert Schramm/Onno Seitz/Martina Winker (2024): Herstellung und Inverkehrbringung von Struvitdünger rechtssicher gestalten. Diskussion aktueller rechtlicher Fragen. ISOE-Materialien Soziale Ökologie, 75. Frankfurt am Main
- European Commission (2023): Single Market Compliance Space: Notified bodies.
<https://webgate.ec.europa.eu/single-market-compliance-space/#/notified-bodies/notified-body-list?filter=bodyTypeld:3,legislationId:159361>
- Garske, Beatrice/Caroline Douhaire/Felix Ekardt (2018): Ordnungsrechtliche Instrumente der Phosphor-Governance. NuR 40, 73–81
- Jürgens, Karin/Andrea Fink-Kessler (2009): Minimierung der Risiken hormonwirksamer Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft als Handlungsfeld. ISOE-Materialien Soziale Ökologie, 31. Frankfurt am Main
- Kabbe, Christian (2018): Novellierte Verordnungen für die Klärschlammverwertung – Politische Ambitionen versus betrieblicher Herausforderungen. In: Holm, Olaf/ Elisabeth Thomé-Kozmiensky/Peter Quicker/Stefan Kopp-Assenmacher (Hg.): Verwertung von Klärschlamm. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag, 17-30
- Kabbe, Christian/Fabian Kraus (2022): Phosphor – Von der Rückgewinnung zum Recycling. In: P. Kurth et al. (Hg.): Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft, 809-833. https://doi.org/10.1007/978-3-658-36262-1_41
- Kind, Sonja (2020): Nachhaltige Phosphorversorgung. Büro für Technikfolgenabschätzung. Themenkurzprofil 39
- Kluge, Thomas/Engelbert Schramm (2003): Regionalisierung als Perspektive nachhaltigen Wirtschaftens – Übersicht und Ausblick. In: Diess.: Aktivierung durch Nähe. Regionalisierung nachhaltigen Wirtschaftens. München: oekom, 166-183
- Kratz, Sylvia/Christian Vogel/Christian Adam (2019): Agronomic performance of P recycling fertilizers and methods to predict it: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems 115 (1), 1–39
- Kraus, Fabian/Christian Kabbe (2017): Phosphorrückgewinnung in der Praxis – so funktioniert es in den Niederlanden. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (64) 2, 96-98
- Kraus, Fabian/Malte Zamzow/Lea Conzelmann/Christian Remy/Anne Kleyböcker/Wolfgang Seis/Ulf Miehe/Ludwig Hermann/Ralf Hermann/Christian Kabbe

- (2019a): Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung. TEXTE 13/2019. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- Kraus, Fabian/Malte Zamzow/Carlotta Hoffmann/Ann-Kathrin Bessai/Stephanie Fischinger/Andreas Muskolus/Christian Kabbe (2019 b): Einsatzmöglichkeiten für Nährstoffrezyklate im Ökolandbau (nurec4org). Berlin
- K+S (o.J.): Die richtige Mischung macht's. Mais-Unterfußdüngung.
<https://www.kpluss.com/de-de/geschaeftsfelder-produkte/landwirtschaft/kali-akademie/wissenswert/de-die-richtige-mischung-machts/>
- LAGA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (2022): Ressourcenschonung durch Phosphor-Rückgewinnung, 3. Bericht an die UMK
- LAWA (2022): Endbericht der LAWA-Ad hoc AG/KG Water Reuse an die 163. LAWA-Vollversammlung. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Berlin
- Luley, Horst (1996): Information, Beratung und fachliche Weiterbildung in Zusammenschlüssen ökologisch wirtschaftender Erzeuger. Kommunikation und Beratung, Bd. 12. Weikersheim: Margraf
- Luley, Horst/Henrike Rieken/Melanie Kröger (2015): Wie gut ist die Bioberatung? Ökologie & Landbau, Heft 1, 48–50
- Mayring, Philipp (2015): Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. Weinheim und Basel: Beltz Verlag
- Montag, David/Wibke Everding/Susanne Malms/Johannes Pinnekamp/Joachim Reinhardt/Horst Fehrenbach/Ute Arnold/Manfred Trimborn/Heiner Goldbach/Wolfgang Klett/Thomas Lammers (2015): Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz. TEXTE 98/2015. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
- Ohlhorst, Dörte/Benjamin Nölting/Martin Meister/Sylvia Kruse/Susanne Schön (2007): Handbuch Konstellationsanalyse: Ein interdisziplinäres Brückenkonzept für die Nachhaltigkeits-, Technik- und Innovationsforschung. ökom-Verlag, München
- Pillen, Jonathan/Konrad Götz/Martina Winker (2023): Struvitdünger und seine Möglichkeiten für den Markteintritt: Zielgruppen- und Marktanalyse für die Region „zwischen Harz und Heide“. ISOE-Materialien Soziale Ökologie, 71. Frankfurt am Main
- Römer, Wilhelm/Bernd Steingrobe (2018): Fertilizer Effect of Phosphorus Recycling Products. Sustainability 10 (4), 1166
- Rosemarin, Arno/Nelson Ekane (2016): The governance gap surrounding phosphorus. Nutrient Cycling Agroecosystems 104, 265–279.
<https://dx.doi.org/10.1007/s10705-015-9747-9>
- Schramm, Engelbert/Jan Hendrik Trapp/Christian Stein/Markus Rauchecker (2023): Aufbau und Erhalt blau-grün-grauer Infrastrukturen für die kommunale Klimaanpassung. Fallbeispiele, Konstellationen und Kooperationsmanagement. netWORKS-Papers 39

- Schulz-Schäfer, Ingo (2000): Akteur-Netzwerk-Theorie: zur Koevolution von Gesellschaft, Natur und Technik. In: J. Weyer (Hg.): Soziale Netzwerke: Konzepte und Methoden der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung. Oldenburg, München, 187-210
- Utai, Katrin/Manuel Narjes/Tatjana Krimly/Christian Lippert (2022): Farmers' Preferences for Fertilizers derived from Domestic Sewage and Kitchen Waste – A Discrete Choice Experiment in Germany. *GJAE* 71/4, 169-183
- Weissengruber, Lina/Kurt Möller/Markus Puschenreiter/Jürgen K. Friedel (2018): Long-term soil accumulation of potentially toxic elements and selected organic pollutants through application of recycled phosphorus fertilizers for organic farming conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 110, 427-449

8 Anhang

Konstellationsanalyse der lokalen Wasser- und Klärschlammverwertung: das Beispiel Abwasserverband Braunschweig

Gemeinsam mit den Vertreter*innen des Praxispartners AVB wurde 2022 ein Konstellationsdiagramm erstellt, das die Akteure und weiteren Aktanten des bestehenden Phosphornetzwerks für den Abwasserverband Braunschweig (AVB) enthält (vgl. Abbildung 2).

Struktur des Verbands

Mitglieder des Abwasserverband Braunschweig (AVB) sind die Stadt Braunschweig, der Abwasserverband Gifhorn und mehr als 450 Grundeigentümer*innen der Flächen innerhalb des Verbandsgebiets. Die Einstufung als Vorranggebiet zur Abwasserreinigung im Landesraumordnungsprogramm (Großraumverband Braunschweig) vermeidet die Zersiedelung des Verbandsgebiets. Heute bewirtschaften mehr als 85 landwirtschaftliche Betriebe die Flächen im Verbandsgebiet. Sie bewirtschaften auch Flächen außerhalb des Verbandsgebiets.

Der AVB wird überwiegend aus einem Teil der Abwassergebühren finanziert. Die Abwassergebühren in Braunschweig sind im Vergleich konkurrenzfähig, das heißt, sie liegen im Mittelfeld. Bei Einführung der vierten Reinigungsstufe würden die Gebühren steigen.

Durch ein Gutachten zur tragbaren Belastung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, die dafür vom AVB beauftragt wurde, wurden Beiträge für die Flächen im Verbandsgebiet festgelegt, die die Landwirt*innen zu zahlen haben. Im Gutachten wurde berücksichtigt, dass kein Gemüseanbau möglich ist, die Pflicht zur Beregnung besteht, sich ein Vorteil durch die Beregnung ergibt (denn diese wird vom AVB gemanagt) und Mineraldünger eingespart wird.

Im Verbandsgebiet werden überwiegend Industrie- und Energiepflanzen angebaut, wie etwa Mais und Roggen. Diese werden ca. auf einem Drittel der Verbandsfläche angebaut, in der Biogasanlage Hillerse zunächst in Biogas und letztlich in Strom für 7.000 Haushalte und Fernwärme für 1.000 bis 1.500 Haushalte umgewandelt (Braunschweiger Modell).

Klärschlammverwertung

Der Klärschlamm aus der Kläranlage des AVB wird auf drei Wegen verwertet:

1) Zu Düngezwecken wird der Klärschlamm dem Klarwasser zu bestimmten Jahreszeiten zugemischt und innerhalb des Verbandsgebiets verregnet (ca. 1.300 Tonnen im Jahr 2021). Die Kosten für die Verregnung betragen dabei weniger als ein Zehntel der Kosten für die thermische Verwertung. Aufgrund der niedrigeren Kosten für die Verregnung sind die Abwassergebühren im Vergleich konkurrenzfähig. Zudem entstehen keine Kosten für die Einleitung in die Oker, da Wasser von Februar bis November verregnet wird. Im Dezember und Januar wird das Wasser über Rieselfelder in die Oker geleitet, um Frostschäden an den Beregnungsanlagen zu verhindern.

2) Der überschüssige Klärschlamm wird entwässert und teilweise auf landwirtschaftliche Flächen außerhalb des Verbandsgebiets aufgebracht (ca. 600 Tonnen entwässerte

Trockenmasse im Jahr 2021). Durch die Entwässerung des Klärschlammes wird der Transport einfacher.

3) Der restliche entwässerte Klärschlamm geht in die thermische Verwertung (ca. 1.400 Tonnen entwässerte Trockenmasse im Jahr 2021). Aufgrund der höheren Düngerpriese hat sich die landwirtschaftliche Klärschlammnutzung außerhalb des Verbandsgebiets erhöht und die an die thermische Verwertung abgegebenen Mengen reduziert. Allerdings müssen die Verträge zur thermischen Verwertung erfüllt werden. Der AVB verfügt über ein Klärschlammzwischenlager in einer überdachten Halle (3.000-4.000 Tonnen entwässerte Trockenmasse im Jahr 2021). Für die Lagerung wird der Klärschlamm entwässert, da kein Flüssiglager vorhanden ist.

Bei der Klärschlammaufbringung außerhalb des Verbandsgebiets fungiert die Landwirtschaftskammer (LWK) als Aufsichtsbehörde. Die LWK überwacht die Untersuchungen und Entscheidungen über Düngermengen und zu düngende Flächen basierend auf der DüV. Die verbandsexternen Landwirt*innen sind für die vorgeschriebene Bedarfsplanung (Bodenuntersuchung auf Basis der AbfklärV auf Quecksilber, Blei, Zink, Cadmium, PCB, Arsen etc. sowie Grundnährstoffuntersuchung) und Bilanzierung verantwortlich. Zur Klärschlammausbringung ist wegen der Befahrbarkeit trockenes Wetter essenziell, und in der Nähe von Wohnbebauung muss zur Vermeidung der Geruchsbelästigung für Anwohner*innen die Windrichtung beachtet werden. Die Beachtung der Windrichtung ist nicht gesetzlich vorgeschrieben, wird aber zur Sicherung der Akzeptanz der Anwohner*innen eingehalten.

Landwirtschaftliche Bewässerung im Verbandsgebiet

Der Abwasserverband Braunschweig wurde 1954 gegründet, da aufgrund der ansteigenden Einwohnerzahl das Braunschweiger Rieselfeld nicht mehr zur Reinigung der Wassermengen ausreichte und daher eine landwirtschaftliche Verwertung durch Verregnung beschlossen wurde. Im Laufe der Zeit wurde eine Vorbehandlung des Verregnungswassers nötig, so dass nach und nach das heutige Klärwerk Steinhof errichtet wurde. Der AVB ist der Eigentümer des Klärwerks, technischer Betriebsführer der Kläranlage ist die Stadtentwässerung Braunschweig (SE|BS).

Mittlerweile können 65 Prozent des Verbandsgebiets zeitgleich mit Wasser versorgt werden und zeitversetzt das komplette Gebiet. Im Jahr 2021 wurden zehn Millionen Kubikmeter Klarwasser verregnet. In der Zeit, in der die Klarwassermenge zur Deckung des Pflanzenbedarfs nicht ausreicht, kann auch Grundwasser entnommen werden. Hierzu verfügt der Abwasserverband über ein Entnahmerecht von im Mittel 1,2 Millionen Kubikmetern. Die Untere Wasserbehörde des Landkreises Gifhorn genehmigt die Grundwasserentnahme. Das Verbandsgebiet erstreckt sich zwar über die Landkreise Gifhorn und Peine, aber die Entnahmestellen liegen nur im Landkreis Gifhorn. Die Genehmigung der Grundwasserentnahme basiert auf der Zusatzwasserbedarfsberechnung der angebauten Früchte. Die Grundwasserentnahme ist unter anderem aufgrund der geringeren Menge an kommunalem Abwasser im Sommer notwendig. Im Sommer trockener Jahre wird zudem aus dem Aue-Oker-Kanal, der vom Rieselfeld zur Oker fließt, Wasser für die Verregnung zugeleitet. Aufgrund der zunehmenden Hitze und Trockenheit ist die Verregnung weiterhin attraktiv und liefert Argumente für neue regulatorische Möglichkeiten. Zudem ist die Verregnung auf den sandigen Böden des Verbandsgebiets dauerhaft notwendig, deswegen soll die Beregnungsinfrastruktur erhalten bleiben.

Die flexible Wasserzuteilung wird durch die Beregnungsordnung in der AVB-Verbandsatzung geregelt. Die AVB-Landwirt*innen haben ein Recht auf und die Pflicht zur Verregnung. Die Fruchtfolgen sind für die Verregnung relevant. Der AVB hätte eine Koordinierungsmöglichkeit, Anbaukulturen vorzugeben, davon wird aktuell aber kein Gebrauch gemacht. Die Beregnungsordnung beinhaltet Anbaubeschränkungen, aber die Landwirt*innen entscheiden über Anbaukulturen und tragen dabei ihr eigenes Risiko. Zur Verringerung des Risikos werden auch Winterkulturen angebaut. Letztlich entstehen so im Verbandsgebiet recht breite Fruchtfolgen. Insbesondere beim Maisanbau kann es innerbetrieblich zu einem konkurrierenden Beregnungsbedarf kommen. Der AVB nutzt Pumpwerke mit vergleichsweise niedrigem Druck. Alle 54 Meter gibt es Hydranten zum Anschluss der Beregnungsmaschinen. Die Regengabe wird von AVB-Mitarbeiter*innen protokolliert.

Das AVB-Verbandsgebiet ist seit 2021 zu 98 Prozent ein „rotes Gebiet“ nach DüV aufgrund der Nitratbelastung im Grundwasser. Deshalb ist bei der Beregnung von Zwischenfrüchten keine Klärschlammzumischung erlaubt. Dadurch verringert sich der Zeitraum, in dem eine Klärschlammzugabe bei der Beregnung möglich ist, auf die Zeit von Mitte April bis Ende August.

In den Zeiten, in denen dem Verregnungswasser kein Klärschlamm zugesetzt wird, muss der Klärschlamm entwässert werden. Bei dieser Entwässerung entsteht Zentratwasser. Das bei der Entwässerung des Klärschlammes entstehende Zentratwasser wird wieder in den Klärprozess zurückgeführt. Durch die Rückführung des Zentratwassers in die Kläranlage kommt es zu hohen Nährstoffwerten nah an den Grenzwerten zur Einleitung in die Oker.

Ökologische Aspekte der Abwasser- und Klärschlammverwertung

Die ökologischen Aspekte sind wichtig für die Arbeit des AVB. Phosphorressourcen sind endlich, weshalb eine Nährstoffrückgewinnung aus Abwasser unter anderem für die Landwirtschaft wichtig ist. Die Messwerte des Flusses Oker sind sehr gut. Dieser führt auch Wasser in Dürrezeiten. Grund für Systemumstellung zur Nährstoffrückgewinnung war die Reduzierung der Belastungen der Kläranlage durch die Rückführung des Zentrats in den Klärprozess. Die Kläranlage ist für 270.000 EW ausgelegt, aber läuft aktuell mit 350.000 EW. Aufgrund der Rückbelastung der Kläranlage durch das Zentratwasser in den Wintermonaten ist es schwierig, die Grenzwerte zur Einleitung in die Oker einzuhalten.

Akzeptanz der Klärschlamm- und Abwasserverwertung

Es besteht eine historisch gewachsene Akzeptanz der Anwohner*innen durch den Bau der Kläranlage und später den Bau der Schlammfäulung zur Verminderung der Gerüche. Aber immer wieder gibt es Diskussionen über die Schadstoffbelastung. Die Risikowahrnehmung der Bevölkerung und des Gesetzgebers zur Schadstoffbelastung gefährdet den Bestand der Verregnung und könnte zu deren Einstellung führen. Der AVB reagiert auf die wiederkehrenden Diskussionen zur Schadstoffbelastung mit Untersuchungen, mit denen der AVB die Bevölkerung aufklärt. Laut den Workshopeteilnehmer*innen gibt es kein Gesundheitsrisiko durch landwirtschaftliche Produkte aus dem Verbandsgebiet. Die Anwohner*innen des Verbandsgebiets sind gut durch die Aufklärungsarbeit des Abwasserverbandes über die Klarwasserverregnung und Klärschlammverwertung informiert. Zudem gibt es Schutzmaßnahmen wie beispielsweise Sprüh-schutzhecken.

Gesetzgebung als potenziell hemmender Faktor für die Beregnung

Noch ist nicht bundesweit geregelt, wie die nach der EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung erforderliche Risikobetrachtung in Deutschland aussehen soll. Die hygienisierende Aufbereitung des Wassers entsprechend dieser EU-Verordnung wird vom AVB zum Zeitpunkt der Konstellationsanalyse noch nicht erfüllt (Oktober 2022). Vorbereitend wird die Schlammfäulung von mesophil auf thermophil umgestellt, damit die Klärschlammnutzung bis 2029 möglich bleibt. Die Hygienisierung ist nur bei der Verregnung vorgeschrieben und eine Ausbringung des Flüssigschlammes wäre möglich. (Stand Dezember 2023: Das Beregnungswasser in Braunschweig wird desinfiziert).

Wenn Deutschland auf Basis der EU-Verordnung verschärfte Grenzwerte für die Wasserwiederverwendung erlassen würde, würde die Abwasserwertung sehr erschwert. Die EU macht nur Hygienevorschriften, aber es ist zu erwarten, dass in Deutschland auch endokrinwirksame Stoffe wie Medikamente im nationalen Recht aufgenommen werden. Dies würde dann dazu führen, dass eine weitergehende Abwasserreinigung erforderlich wäre.

ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung

Das ISOE gehört zu den führenden unabhängigen Instituten der Nachhaltigkeitsforschung. Es entwickelt wissenschaftliche Grundlagen und zukunftsweisende Konzepte für sozial-ökologische Transformationen. Hierfür forscht das ISOE transdisziplinär zu globalen Problemen wie Wasserknappheit, Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Landdegradation und findet tragfähige Lösungen, die ökologische, gesellschaftliche und ökonomische Bedingungen berücksichtigen.

www.isoe.de

Folgen Sie uns: [X](#) | [LinkedIn](#) | [Instagram](#) | [Facebook](#)

ISOE-Newsletter: www.isoe.de/newsletter

ISOE-Blog: <https://isoe.blog>