Perspektiven der künftigen Klärschlammbewirtschaftung in Österreich

Florian Kretschmer · Thomas Zingerle · Thomas Ertl

Online publiziert: 3. September 2018
 © Der/die Autor(en) 2018

Zusammenfassung Die österreichische Klärschlammverwertung befindet sich im Umbruch. 2030 sollen bis zu 85 % des kommunalen Klärschlammfalls einer Monoverbrennung zugeführt werden, um aus der dabei anfallenden Asche Phosphor rückzugewinnen. Die im Land verfügbaren Kapazitäten reichen aktuell noch bei Weitem nicht aus, um das genannte Ziel erfüllen zu können. Die Umsetzung dieser Vorgabe stellt somit eine große planerische Hausforderung dar. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass es sich bei der Klärschlammverwertung um eine sehr interdisziplinäre Materie handelt. In diesem Artikel werden die relevanten Fachbereiche dargestellt sowie die Chancen und Herausforderungen angeführt, die sich mit der Klärschlamm-Monoverbrennung aus der jeweiligen Perspektive ergeben. Die Untersuchungen zeigen, dass die Monoverbrennung erwartungsgemäß Chancen in Bezug auf die Bereitstellung von Sekundärressourcen und auch Energie bietet. Dem gegenüber stehen aber auch gewisse Herausforderungen, wobei hier unter anderem der räumliche Kontext zwischen dezentralem Klärschlammfall und zentraler Klärschlammverwertung oder der mögliche Verlust bestimmter Wertstoffe zu nennen ist. Durch eine möglichst frühzeitige Einbindung aller relevanten Akteure sowie der Öffentlichkeit in den integralen Planungsprozess soll sichergestellt werden, dass

tragfähige Lösungen von weitreichender Akzeptanz erarbeitet und die Ressource Klärschlamm künftig bestmöglich genutzt wird.

Perspectives of future sewage sludge management in Austria

Abstract In Austria sewage sludge management is in transition. By 2030 up to 85 % of the domestic sewage sludge produced shall be mono-incinerated for further recovery of phosphorus from the ashes. Current capacities cannot meet the future demand by far. Consequently, meeting the target is considered a great planning challenge. In this context, one has to consider the interdisciplinary character of sewage management. This article introduces relevant disciplines and presents the chances and challenges related to sewage sludge mono-incineration from their specific perspectives. Investigations show that mono-incineration, obviously, provides chance referring to the provision of secondary resources and energy, respectively. Challenges relate, among others, to the spatial context between decentralised sewage sludge production and centralised sewage sludge recycling or the potential loss of other valuable sewage sludge contents. An early stage involvement of all relevant stakeholders and the public shall ensure the development of broadly accepted solutions and a best possible future use of sewage sludge as a resource.

1 Einleitung

Die Klärschlammverwertung und Entsorgung in Österreich befindet sich im Umbruch. Während gemäß Überreiter et al. (2016) der Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung in den letzten Jahren im Bereich von rund 16 % des Gesamtaufkommens eher stagniert und die direkte Deponierung gegen Null zurückgeht, ist hinsichtlich der thermischen Verwertung ein steigender Trend erkennbar. Im Jahr 2014 wurden

hierzulande bereits rund 50 % des anfallenden Klärschlammes verbrannt. Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklung künftig noch weiter verstärkt wird. Denn einerseits wird im ÖWAV-Positionspapier „Klärschlamm als Ressource“ (ÖWAV 2014) der Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Verwertung (inkl. Kompostierung und Vererdung) für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von über 100.000 Einwohnerwerten (EW) empfohlen. Andererseits sieht der aktuelle Bundesabfallwirtschaftsplan (BMNT 2017) vor, bis zum Jahr 2030 zwischen 65 und 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlammes einer Phosphorrückgewinnung zuzuführen. In diesem Zusammenhang wird die Monoverbrennung als vielversprechendste Technologie genannt. Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von 50.000 EW sind jedenfalls explizit aufgerufen, „zeitnahe Planungsprozesse für deren zukünftige Phosphorrückgewinnung zu starten“ (BMNT 2017, S. 261). Dies soll jedoch nicht davon ablenken, dass auch kleinere Anlagen mit der Ausarbeitung entsprechender Konzepte konfrontiert sein könnten. Gemäß Überreiter et al. (2016) entsorgen in Österreich die kommunalen Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von über 15.000 EW rund 87 % der anfallenden Abwasserfracht. Dieser Prozentsatz liegt genau im Bereich des erwähnten Umsetzungsziels von 85 %.

Im aktuellen Statusbericht zur Abfallwirtschaft in Österreich (BMNT 2018) wird festgehalten, dass 2016 hierzulande 11 Anlagen zur thermischen Behandlung von Siedlungsabfällen in Betrieb waren, wobei 4 davon hauptsächlich für die Verbrennung von Rückständen aus der mechanischen Abfallaufbereitung sowie von Klärschlamm eingesetzt wurden. Darüber hinaus wird in dem Bericht auch noch auf weitere 53 (Mit-)Verbrennungsanlagen verwiesen, in denen unter anderem auch Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung einer thermischen Verwertung zugeführt

DI Dr. F. Kretschmer (✉) ·

T. Zingerle, BSc ·

Univ.-Prof. DI Dr. T. Ertl

Institut für Siedlungswasserbau,

Industriewasserwirtschaft und

Gewässerschutz, Universität

für Bodenkultur Wien,

Muthgasse 18, 1190 Wien, Österreich

florian.kretschmer@boku.ac.at

T. Zingerle, BSc

thomas.zingerle@students.boku.ac.at

Univ.-Prof. DI Dr. T. Ertl

thomas.ertl@boku.ac.at

wird. Gemäß Oliva et al. (2009) gibt es in Österreich zwei Monoverbrennungsanlagen, am Standort Simmeringer Haide in Wien sowie in Bad Vöslau, wobei sich letztere nach unserem Wissensstand derzeit nicht in Betrieb befindet. Es liegt jedenfalls auf der Hand, dass die hierzu lande verfügbaren Monoverbrennungskapazitäten drastisch gesteigert werden müssen, um die Vorgaben des Bundesabfallwirtschaftsplanes realisieren zu können. Hinsichtlich der Standortfindung für Monoverbrennungsanlagen, die im Zuge der Umsetzungsplanung der künftigen österreichischen Klärschlammstrategie durchzuführen ist, kann davon ausgegangen werden, dass dem ländlichen Raum eine wichtige Rolle zukommen wird. Stöglehner et al. (2011) unterscheiden im Rahmen einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft unterschiedliche Raumtypen, wobei der ländliche Raum sowie die dazugehörigen Kleinstädte die Funktion einer langfristigen Ressourcenbereitstellung bzw. Ressourcenkonvertierung übernehmen. Damit sind sie in Bezug auf die Versorgung der urbanen Zentren, die in diesem Zusammenhang primär als Energie- und Ressourcenverbraucher anzusehen sind, von elementarer Bedeutung. Betrachtet man darüber hinaus die räumliche Verteilung der „Klärschlammquellen“ (Kläranlagen) im gesamtösterreichischen Kontext, so wäre diese jedenfalls auch als eher dezentral geprägt zu charakterisieren.

Durch den räumlichen Kontext zwischen den Standorten der Kläranlagen und möglicher Monoverbrennungsanlagen wird bereits deutlich, dass es sich bei der Klärschlammbehandlung und -verwertung nicht um eine rein abwasser- bzw. abfallwirtschaftliche Kernkompetenz handelt. Tatsächlich betrifft die Thematik eine Vielzahl weiterer Fachbereiche, die es im Zuge einer integralen Strategieentwicklung und Umsetzungsplanung auch zu berücksichtigen gilt. In diesem Artikel wird die künftige Klärschlammbewirtschaftung aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet und es werden die jeweiligen Angelpunkte (Chancen und Herausforderungen) dargestellt. Damit soll die interdisziplinäre Dimension der Materie weiter ins Bewusstsein der handelnden Akteure bzw. der Entscheidungsträger gerückt und die diesbezügliche Wahrnehmung geschärft werden, um die Entwicklung ganzheitlicher Lösungsansätze für eine optimierte Nutzung der

Ressource Klärschlamm bestmöglich zu unterstützen.

2 Methoden

Methodisch erfolgte die Identifikation der von der Klärschlammverwertung betroffenen Fachbereiche (Perspektiven) anhand von Experteninterviews mit Vertretern unterschiedlicher Branchen. Grundlage für die Auswahl der Interviewpartner stellte der Expertenpool des BOKU-Energieclusters dar. In diesem Cluster ist eine Vielzahl an Instituten und Arbeitsgruppen der Universität für Bodenkultur Wien vertreten, die sich unter anderem mit Energieforschung beschäftigen. Darüber hinaus wurden auch BOKU-externe Experten herangezogen. In Summe wurden 11 Personen befragt (9 BOKU-intern und 2 extern), wobei neben der Abwasser- und Abfallwirtschaft auch Fachbereiche wie beispielsweise Raumplanung, Verkehrswesen, Verfahrens- und Energietechnik, Umwelt- und Ressourcenpolitik, Düngemittelherstellung sowie Bodenbewirtschaftung vertreten waren.

Um die benötigten Daten erheben zu können, wurden in einem ersten Schritt jene Institutionen bzw. Personen ausgewählt, die aufgrund ihres Wirkungsbereichs mit Aspekten der Klärschlammbewirtschaftung (Monoverbrennung) in Bezug gesetzt werden können. In einem zweiten Schritt wurden die potenziellen Interviewpartner kontaktiert, um deren tatsächliche Expertise in Bezug auf die Aspekte der Klärschlammbewirtschaftung und deren Bereitschaft, für ein Gespräch zur Verfügung zu stehen, abzuklären. Schlussendlich wurden in Anlehnung an Gläser und Grit (2010) nicht standardisierte, qualitative, leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt, in denen neben der Identifikation der betroffenen Fachbereiche auch die mit der jeweiligen Disziplin verbundenen Chancen, Barrieren und Herausforderungen in Bezug auf die künftige Klärschlammbewirtschaftung erhoben wurden. In diesem Zusammenhang konnten auch entsprechende Informationen hinsichtlich der einzelnen Prozessschritte dieser Art der Klärschlammverwertung erfasst werden.

Die Datenauswertung in Form einer qualitativen Inhaltsanalyse in Anlehnung an Mayring (2008) sowie Gläser und Grit (2010) erfolgte dann anhand der Gesprächstranskripte, die eine inhaltliche Zusammenfassung der

aufgezeichneten Interviews auf Stichwortbasis darstellten. In einem ersten Schritt wurden die wesentlichen Informationen und inhaltlich ähnlichen Aussagen der verschiedenen Experten gebündelt und auf einer abstrakteren Ebene, mit Bezug zum theoretischen Fundament der Untersuchung, zusammengefasst. Darauf aufbauend wurden die jeweiligen Zusammenfassungen hinsichtlich folgender (sinngemäßer) Begriffskategorien analysiert: (1) beteiligte/zu beteiligende Fachbereiche, (2) Chancen (Inhalte im Sinne von positiven Folgewirkungen der Monoverbrennung), (3) Barrieren (Inhalte im Sinne von Rahmenbedingungen, die einer Monoverbrennung entgegenstehen), und (4) Herausforderungen (Inhalte im Sinne von Hürden, die im Rahmen einer strategischen Umsetzung der Monoverbrennung überwunden werden müssen). Letztere können dabei auch als Bindeglied zwischen den sich bietenden Chancen und den möglichen Barrieren angesehen werden, da hier konkrete Aspekte bzw. praktische Ansatzpunkte aufgezeigt werden, die mit einer erfolgreichen Umsetzung der Klärschlamm-Monoverbrennung in engem Zusammenhang zu sehen sind. Abschließend wurden die extrahierten Informationen zusammengeführt und in 10 unterschiedliche Fachbereiche kategorisiert. Die Informationen und Aussagen in Bezug auf Chancen, Barrieren und Herausforderungen wurden inhaltlich gebündelt und den jeweiligen Fachbereichen zugeordnet.

Im nachfolgenden Kapitel werden die 10 Fachbereiche vorgestellt und die wesentlichen Chancen und Herausforderungen (unter Berücksichtigung der jeweiligen Barrieren), die sich mit der Klärschlamm-Monoverbrennung aus den unterschiedlichen Perspektiven ergeben kurz beleuchtet und zusammengefasst. Gegebenenfalls wird an geeigneter Stelle auch auf zusätzliche Literatur verwiesen. Die Ausführungen spiegeln zentrale Erkenntnisse aus den beschriebenen Expertenbefragungen wider. Weiterführende Informationen und eine umfassende Dokumentation der Ergebnisse können Zingerle (in Vorbereitung) entnommen werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden jene Fachbereiche vorgestellt und kurz diskutiert, die basierend auf den Ergebnissen der Experteninter-

views als relevant für die (künftige) Klärschlammverwertung anzusehen sind.

3.1 Abwasserwirtschaft

Der Abwasserwirtschaft kommt im Zuge einer integralen Betrachtung der (künftigen) Klärschlammverwertung eine Schlüsselrolle zu, da sie die Rolle des „Klärschlammproduzenten“ einnimmt. Klärschlamm fällt kontinuierlich an und dessen Behandlung und Entsorgung stellt für Abwasserunternehmen einen zentralen Kostenpunkt dar. Fragen der Behandlungs- und Entsorgungssicherheit sowie der Kostenoptimierung sind daher seit jeher wichtige Aspekte des Kläranlagenbetriebs.

In Bezug auf die Entsorgungssicherheit kann die Monoverbrennung des Klärschlammes, sofern zeitgerecht ausreichend Kapazitäten verfügbar gemacht und betrieben werden, durchaus eine zukunftsfähige Option darstellen. Hinsichtlich der Kosten sind pauschale Aussagen schwierig, da diese nicht nur von der aktuell getätigten Entsorgungspraxis (z. B. landwirtschaftliche Verwertung, Mitverbrennung in der Industrie), sondern vor allem auch von den jeweiligen lokalen Rahmenbedingungen abhängen. In Bezug auf eine mögliche Monoverbrennung stellen vor allem der Energieinhalt (Restkohlenstoff) bzw. der Wassergehalt des Klärschlammes wichtige Rahmenparameter dar. Eine entsprechende Adaptierung bestimmter Schlammbehandlungsprozesse (z. B. Stabilisierung, Trocknung, Entwässerung) kann vor allem bei bereits bestehender Anlageninfrastruktur eine große Herausforderung für das Abwasserunternehmen darstellen. Durch das Lukrieren von neuen Einnahmen aus dem Verkauf der bei der Monoverbrennung generierten Sekundärressourcen wie beispielsweise der phosphorhaltigen Asche oder der thermischen Energie könnten mögliche operative bzw. personaltechnische Mehrkosten finanziell gepuffert werden. Falls ein entsprechender finanzieller Ausgleich aufgrund eines fehlenden Marktes bzw. unrentabler (Ressourcen-)Preise nicht gewährleistet werden kann, wäre auch

eine Erhöhung der Abwassergebühren eine wirtschaftlich gangbare, aber von der Öffentlichkeit wohl wenig befürwortete Alternative zur Deckung möglicher zusätzlicher Aufwendungen. Im ÖWAV-Positionspapier zu „Positionen und Forderungen der Abwasserwirtschaft in Österreich“ (ÖWAV 2018), welches anlässlich der Konstituierung der neuen Bundesregierung bzw. der aktuellen EU-Ratspräsidentschaft verfasst wurde, ist in diesem Zusammenhang auch klar formuliert, dass die absehbaren Mehrkosten der Phosphorrückgewinnung nicht zu Lasten der Gebührenzahler gehen dürfen.

Im Zuge einer ganzheitlichen Betrachtung der Klärschlammverwertung ist es natürlich sinnvoll, nicht nur auf die unmittelbar klärschlammbezogenen Aspekte zu fokussieren (end-of-pipe), sondern die gesamte abwassertechnische Prozesskette (Abwasserproduktion, Abwassersammlung, Abwasserreinigung, Klärschlammbehandlung, Klärschlammverwertung) im Blickfeld zu haben. So könnte beispielsweise bei der Abwasserproduktion (beginning-of-pipe) noch intensiver darauf geachtet werden, dass bestimmte Problemstoffe, die eine nachträgliche Verwertung des Klärschlammes erschweren, gar nicht erst in das Kanalsystem gelangen. Diesbezügliche Aktivitäten (Bewusstseinsbildung, Information, Aufklärung, etwaige Verbote von bestimmten Stoffen in der gewerblichen Güterproduktion) können allerdings nicht alleine von den Abwasserunternehmen getragen werden, vielmehr ist hier auch eine entsprechende politische Initiative von elementarer Bedeutung.

Tab. 1 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlambewirtschaftung aus abwasserwirtschaftlicher Perspektive zusammen.

3.2 Abfallwirtschaft

Während die Abwasserwirtschaft als Klärschlammproduzent angesehen werden kann, leitet sich die zentrale Bedeutung der Abfallwirtschaft bei der integralen Betrachtung der künftigen

Klärschlammverwertung aus ihrer Rolle als „Klärschlammbehandler und -entsorger“ ab.

Aus abfallwirtschaftlicher Sicht stellt die Monoverbrennung des Klärschlammes eine sehr geeignete Behandlungsvariante dar, da dadurch einerseits die Zerstörung bzw. Akkumulation etwaiger Schadstoffe und folglich deren gezielte Entfernung aus dem anthropogenen Stoffkreislauf gewährleistet werden kann. Andererseits wird auch eine effiziente Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen (aus der Verbrennungasche) ermöglicht. Dennoch erscheinen in Zusammenhang mit diesem künftig angestrebten Behandlungspfad noch mehrere Aspekte als klärungsbedürftig. Um die Klärschlammmasche als konkurrenzfähiges Produkt am freien Markt anbieten zu können, wären einheitliche bzw. weiterverarbeitungsorientierte Qualitätsstandards (Inhaltsstoffe, Konzentrationen etc.) durchaus wünschenswert. Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristika, die Klärschlämme aufweisen können, stellt das jedoch eine große Herausforderung dar. Darüber hinaus werden in Österreich derzeit Klärschlamm und die daraus gewonnenen Produkte als Abfall definiert, womit eine Weiterverwendung der Asche aus der Monoverbrennung zusätzlich erschwert wird. Auch für den Fall, dass Klärschlammaschen zwischenzeitlich deponiert werden sollten, erscheint eine Produktspezifikation (Materialeigenschaften wie beispielsweise Lagerfähigkeit, Dichte, Komprimierbarkeit, Hygroskopie und (Staub-)Explosivität) unerlässlich, zudem kann diese gegebenenfalls auch eine wichtige Grundlage für die Beurteilung von Maßnahmen zum Arbeitnehmerschutz darstellen.

Der zuvor in Zusammenhang mit der Abwasserwirtschaft erwähnte Aspekt der prinzipiellen Vermeidung von Schadstoffen zu Beginn der Prozesskette (Abwasserproduktion) kann an dieser Stelle, mit Verweis auf die Abfallhierarchie nach dem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002), wiederholt werden. Im Zuge der Entwicklung der künftigen Klärschlammstrategie sollte diesem (eher sozialen bzw. wirtschaftlichen) Aspekt

Tab. 1 Chancen und Herausforderungen aus abwasserwirtschaftlicher Perspektive

Fachbereich Abwasserwirtschaft	
Chancen	Langfristige Behandlungs- und Entsorgungssicherheit, Lukrieren von neuen Einnahmen durch Produkte der Klärschlammverwertung, ganzheitliche Betrachtung der abwassertechnischen Prozesskette
Herausforderungen	Zeitgereichte und räumlich-optimierte Verfügbarkeit der benötigten Verbrennungskapazitäten, Adaptierung bestehender Prozesse der Schlammbehandlung, finanzielle Deckung eines möglichen betrieblichen Mehraufwandes

Tab. 2 Chancen und Herausforderungen aus abfallwirtschaftlicher Perspektive

	Fachbereich Abfallwirtschaft
Chancen	Zerstörung bzw. Akkumulation und gezielte Entfernung von Schadstoffen, ganzheitliche Betrachtung abwasser- bzw. abfalltechnischen Prozesskette
Herausforderungen	Einheitliche Qualitätsstandards für Verbrennungsprodukt, Klärschlamm und daraus gewonnene Produkte als Abfall definiert, Behandlung von Rückständen aus der Sekundärrohstoffgewinnung (Phosphorgewinnung), Anforderungen an die Lagerung bzw. Deponierung

Tab. 3 Chancen und Herausforderungen aus Perspektive des Ressourcenmanagements

	Fachbereich Ressourcenmanagement
Chancen	Steigerung der Importunabhängigkeit, Elimination von Schadstoffen, Rückgewinnung des Phosphors, Schonung von Primärressourcen, zielgerichtete Wiederverwendung von Sekundärstoffen
Herausforderungen	Verlust bestimmter (organischer und anorganischer) Wertstoffe, unterschiedliche Nutzungsanforderungen an die Ressource Klärschlamm, integrales Ressourcenmanagement (Ressourcenmapping) zur bestmöglichen (auch mittel- bis langfristigen) Nutzung aus volkswirtschaftlicher Sicht

auch Rechnung getragen werden. Akteursmanagement-bezogene Aktivitäten im Rahmen der praktischen Umsetzung der Monoverbrennung könnten in diesem Zusammenhang auch gleich für entsprechende Aufklärungsarbeit und eine gezielte Bewusstseinsbildung genutzt werden.

Tab. 2 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus abfallwirtschaftlicher Perspektive zusammen.

3.3 Ressourcenmanagement

Klärschlamm stellt eine Senke für unterschiedliche Abwasserinhaltsstoffe dar. Einerseits betrifft das etwaige Schad- bzw. Störstoffe (z.B. Schwermetalle, endokrine Substanzen, Mikrokunststoffe, Krankheitskeime), die die Verwertungsoptionen von Klärschlamm einschränken können. Andererseits gilt das aber auch für diverse Wertstoffe (z.B. Phosphor, Mikronährstoffe, organische Substanz, Metalle), deren (teilweise) Rückgewinnung in Form von hochwertigen Sekundärrohstoffen auch einen zentralen Eckpfeiler der Monoverbrennung darstellt. Um die Abhängigkeit von Stoffimporten aus dem Ausland zu reduzieren, stellt die innerösterreichische Bereitstellung und Wiederverwendung von Sekundärrohstoffen natürlich eine sehr begrüßenswerte Maßnahme dar. Die aktuelle Diskussion der Stoffrückgewinnung konzentriert sich aber in erster Linie auf den Phosphor. Im Sinne eines (integralen) Ressourcenmanagements erscheint es jedenfalls ratsam, den Fokus nicht alleine auf einen einzigen Abwasser- bzw. Klärschlamm-inhaltsstoff zu legen, sondern vielmehr eine umfassende Betrachtung aller potenziellen

Wertstoffe zu verfolgen (Ressourcenmapping und Wertschöpfungskette).

Wie bereits festgehalten, kann die künftig angestrebte Monoverbrennung von Klärschlamm dazu beitragen, Schad- bzw. Störstoffe (anorganische Verbindungen, organische Spurenstoffe, pathogene Keime) im Klärschlamm zu eliminieren und aus dem anthropogenen Kreislauf zu entfernen. Gleichzeitig wird damit auch eine Rückgewinnung des Phosphors ermöglicht, der in weiterer Folge gezielt und unter Schonung der Primärressourcen in die Landwirtschaft rückgeführt werden kann. Allerdings gehen bei der (Mono-)Verbrennung auch gewisse Wertstoffe verloren. Als Beispiel kann hier die organische Substanz genannt werden, die für die Bodenbewirtschaftung durchwegs positive Wirkungen entfalten kann (Rückführung der organischen Substanz, Kohlenstoffanreicherung, verbesserter Wasserhaushalt, Rückführung der Nährstoffe aus den urbanen Zentren in den ländlichen Raum etc.).

Es ist unbestritten sinnvoll, Schad- und Störstoffakkumulationen im anthropogenen Kreislauf zu vermeiden bzw. aus diesem zu entfernen und möglichst unbelastete Sekundärrohstoffe wieder in diesen zurückführen. Dafür den Verlust von anderen (derzeit nicht im Fokus stehenden) Wertstoffen in Kauf zu nehmen, gilt es abzuwägen. Die spezifischen Nutzungsanforderungen unterschiedlicher Fachbereiche an die Ressource Klärschlamm bergen jedenfalls ein gewisses Konfliktpotenzial. Um eine aus volkswirtschaftlicher Sicht optimale Nutzung der Sekundärressourcen zu gewährleisten, wäre es sinnvoll, im Zuge eines (integralen) Ressourcenmanagements die Anforderungen an die Ressourcennutzung, die räumlich und zeitlich variieren kön-

nen, regelmäßig zu evaluieren und die laufenden Verwertungsstrategien gegebenenfalls anzupassen. In diesem Zusammenhang wäre im Rahmen der Strategieentwicklung auch zu prüfen, ob ein etwaiger Technologiemark der Klärschlammverwertung bzw. Ressourcenrückgewinnung (Monoverbrennung und kombinierte bzw. parallele Verfahren) hier ein flexibleres und damit nachhaltigeres Handeln unterstützen würden.

Tab. 3 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus Perspektive des Ressourcenmanagements zusammen.

3.4 Landwirtschaft

Die direkte Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen wird in Zukunft eine immer kleinere Rolle spielen. Dennoch wird die (konventionelle) Landwirtschaft und die damit in Verbindung stehende Lebensmittelwirtschaft für die Klärschlammverwertung auch weiterhin eine zentrale Rolle einnehmen, denn eine wichtige Einsatzmöglichkeit der Sekundärressource Phosphor, die über die Monoverbrennung erschlossen werden soll, ist jene als landwirtschaftliches Düngemittel. Andererseits gehen durch diese modifizierte Art der Kreislauf-führung, wie bereits festgehalten, auch andere für die Landwirtschaft essenzielle Wertstoffe wie beispielsweise die organische Substanz, Kohlenstoff und Kalium oder Mikronährstoffe wie Zink, Kupfer, Nickel, Mangan, Eisen usw. verloren, die dann ebenfalls auf anderem Wege substituiert werden müssen.

Ein wesentlicher Kritikpunkt an der direkten Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte

Tab. 4 Chancen und Herausforderungen aus landwirtschaftlicher Perspektive

	Fachbereich Landwirtschaft
Chancen	Vermeidung von potenziellen direkten Schadstoffeinträgen in die Böden und die Lebensmittelkette
Herausforderungen	Verlust von (organischen und anorganischen) Wertstoffen (für Boden und Pflanzen), Schadstoffgehalt der Endprodukte der Klärschlammverwertung

Flächen für Düngezwecke stellt die Gefahr des Einbringens möglicher Schadstoffe in Böden und damit in die Lebensmittelkette dar. Durch die Verbrennung des Klärschlammes und die anschließend gezielte Extraktion bestimmter Wertstoffe (v.a. Phosphor) erscheint dieses Problem prinzipiell als lösbar. Dennoch muss in diesem Zusammenhang festgehalten werden, dass auch bei der Monoverbrennung sehr unterschiedliche Produkte mit spezifischen Zusammensetzungen und Inhaltsstoffen entstehen können (Krüger und Adam 2014). Bei einer Weiterverarbeitung der Verbrennungsrückstände sowie einem nachträglichen Einsatz in der Landwirtschaft muss auch hier die Möglichkeit eines Schadstoffeintrags bzw. einer Schadstoffremobilisierung entsprechend untersucht werden. In Zusammenhang mit möglichen Schadstoffeinträgen in die Landwirtschaft wäre es generell von Interesse, nicht nur den Klärschlamm, sondern auch andere Eintragspfade (z.B. Luftimmissionen, Gülle) zu quantifizieren. Im Zuge der Strategieentwicklung zur künftigen Klärschlammverwertung könnten hier bestehende Wissenslücken geschlossen werden, um die vorhandenen Planungsgrundlagen noch weiter zu verbessern.

Tab. 4 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus landwirtschaftlicher Perspektive zusammen.

3.5 Energiewirtschaft

Der im Klärschlamm enthaltene Kohlenstoff stellt nicht nur eine stoffliche Ressource, sondern auch eine Energiequelle dar, welche durch (Mono-)Verbrennung erschlossen werden kann. Da bestimmte Teilprozesse der Verbrennung sehr energieintensiv sind

(Trocknung), müssen diese im Sinne eines effizienten Energieeinsatzes gut aufeinander abgestimmt werden. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, die Energiewirtschaft bereits frühzeitig in die Strategieentwicklung und Standortfindung der künftigen Klärschlammverwertung einzubinden, weil gegebenenfalls Synergien, beispielsweise durch kaskadische Nutzung unterschiedlicher Energieformen, mit der bestehenden Versorgungsinfrastruktur generierbar sind.

Prinzipiell liegt es auf der Hand, die thermische Energie, die bei der (Mono-)Verbrennung gewonnen werden kann, unmittelbar für die Trocknung des zu verbrennenden Klärschlammes einzusetzen. Dies ist allerdings nur dann sinnvoll realisierbar, wenn beide Prozesse gekoppelt an einem zentralen Standort stattfinden. Bei entkoppelten, dezentralen Lösungen (z.B. Schlamm Trocknung auf der Kläranlage) muss einerseits die für die Trocknung benötigte Energie aus anderen Quellen bereitgestellt werden, und andererseits müssen für die bei der Verbrennung anfallende Wärme im Sinne einer umfassenden energetischen Nutzung alternative Abnehmer gefunden werden. Letzteres gilt konsequenterweise auch für den Fall, wenn bei zentralen Schlammverwertungen mehr Wärme anfällt, als für den vorgeschalteten Trocknungsprozess benötigt wird. Als potenzielle externe Wärmeabnehmer kommen hierbei sowohl bestehende als auch künftige Nutzungen im Siedlungsgebiet sowie in der Land- und Fortwirtschaft in Frage (Stöglehner und Neugebauer 2015). Entsprechende Planungsansätze in Bezug auf die räumliche aber auch zeitliche Abstimmung von (Energie-)Angebot und Nachfrage liefert dabei beispielsweise die Energie-raumplanung (Stöglehner et al. 2014).

Tab. 5 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus energiewirtschaftlicher Perspektive zusammen.

3.6 Natur- und Umweltschutz

Die Behandlung und Verwertung von Klärschlamm kann den Natur- und Umweltschutz in vielerlei Hinsicht betreffen. Klärschlamm ist ein (Neben-)Produkt der Abwasserreinigung und steht damit in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Gewässerschutz. Da sich im Klärschlamm bestimmte Schadstoffe akkumulieren können, ist im Falle einer landwirtschaftlichen Verwertung der Bodenschutz von zentraler Bedeutung. Die bei der (Mono-)Verbrennung von Klärschlamm und den dazugehörigen Prozessen (wie Trocknung und Transport) ausgestoßenen Emissionen sind ihrerseits wieder für den Luftschutz von Relevanz. Auch wenn Teilaspekte des Natur- und Umweltschutzes somit auch durchaus von anderen Disziplinen abgedeckt werden könnten, soll ein integraler Natur- und Umweltschutz hier dennoch als eigener Fachbereich (Perspektive) definiert werden. Denn es empfiehlt sich, im Zuge der Strategieentwicklung der künftigen Klärschlammbewirtschaftung nicht nur einzelne Schutzziele (z.B. Gewässer, Boden, Luft, Klima), sondern die Ökologie als allumfassendes System zu betrachten. Diese integrale Sichtweise ermöglicht eine Bilanzierung der Auswirkungen der Klärschlammmonoverbrennung bzw. alternativer Verwertungsverfahren (sowie dazu nötiger vorhergehender Prozessschritte) anhand frei definierbarer Parameter (z.B. Treibhausgasemissionen, Energie- bzw. Ressourcenverbrauch, Schadstoffgehalt in den Endprodukten) und damit eine umfassende ökologische Bewertung der

Tab. 5 Chancen und Herausforderungen aus energiewirtschaftlicher Perspektive

	Fachbereich Energiewirtschaft
Chancen	Erschließung einer neuen lokalen Energiequelle, Aktivierung möglicher Synergien mit bestehender Versorgungsinfrastruktur
Herausforderungen	Schlamm Trocknung sehr energieintensiv, optimale energetische Abstimmung der Teilprozesse (Trocknung und Verbrennung)

Tab. 6 Chancen und Herausforderungen aus Perspektive des Natur- und Umweltschutzes

	Fachbereich Natur- und Umweltschutz
Chancen	Bodenschutz, gesamtökologische Betrachtung und Bilanzierung
Herausforderungen	Luftschutz, Landschaftsschutz, Umgang mit Rückständen aus der Phosphorgewinnung, Deponierung von Rest- und Filteraschen, Akzeptanz in der Bevölkerung

geplanten Maßnahmen (Ökobilanzierung).

Ein weiterer Aspekt aus der Perspektive des Natur- und Umweltschutzes betrifft den Landschaftsschutz. Scherhauser et al. (2016) berichten in Zusammenhang mit der lokalen (Nicht-)Akzeptanz von Windrädern von der großen Bedeutung der Sichtbarkeit der Anlagen sowie der daraus resultierenden Veränderung des Landschaftsbildes. Da auch die Errichtung von Monoverbrennungsanlagen ohne Zweifel Auswirkungen auf die örtlichen Landschaftsbilder haben wird, sind lokale Widerstände vorprogrammiert. Darüber hinaus bergen die durch die Monoverbrennung entstehenden Luftemissionen und die diesbezügliche Reinigung der Abgase sicherlich auch entsprechendes Konfliktpotenzial. Für die gegebenenfalls noch einzurichtenden Deponien (Restaschen, Rückstände aus der Phosphorgewinnung, Filterstäube) kann das Gesagte sinngemäß wiederholt werden.

Tab. 6 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus Perspektive des Natur- und Umweltschutzes zusammen.

3.7 Verfahrenstechnik

Mit der Klärschlammbehandlung sowie der Klärschlammverwertung sind teilweise sehr komplexe Prozesse verbunden. Die Verfahrenstechnik als Fachbereich kann dazu beitragen, die unterschiedlichen Prozesse zu optimieren und aufeinander abzustimmen. In Bezug auf die Monoverbrennung kann hier beispielsweise die Anpassung der Klärschlamm Trocknung an die Verbrennung (oder umgekehrt) genannt werden.

Durch die Monoverbrennung wird, wie zuvor schon festgehalten, die Möglichkeit geschaffen, aus dem Klär-

schlamm Sekundärrohstoffe sowie (thermische) Energie bereitzustellen. Es soll an dieser Stelle allerdings festgehalten werden, dass auch alternative Verfahren dazu geeignet wären, den Klärschlamm auf innovative Art und Weise stofflich und energetisch zu nutzen. Als Beispiele können Vergasung, Pyrolyse oder hydrothermale Karbonisierung genannt werden. Letztere könnte darüber hinaus in Zukunft auch Anwendungsmöglichkeiten in Bezug auf die Schlammmentwässerung bieten (Escala et al. 2013). Auch wenn es sich bei den genannten Verfahren Entwicklungstechnisch noch um relativ junge Technologien handelt, würde es sich im Zuge der strategischen Umsetzungsplanung der künftigen Klärschlammverwertung in Österreich dennoch empfehlen, die Möglichkeiten für etwaige Parallel- bzw. Kombinationsbetriebe im Auge zu behalten. Eine Monopolstellung der Monoverbrennung sollte allein schon aus Gründen der Resilienz vermieden werden. Der kombinierte Einsatz unterschiedlicher Verfahren und deren effiziente Ausgestaltung könnten nämlich durchaus Möglichkeiten bieten, besser auf räumliche und zeitliche Charakteristika bei der Klärschlammbehandlung bzw. -verwertung zu reagieren (dezentrale Trocknung und zentrale Verbrennung, saisonale Schwankungen beim Klärschlammfall etc.). Darüber hinaus wäre mit bestimmten Alternativverfahren der Vorteil verbunden, dass nicht nur ein heizwertreiches Produkt hergestellt wird, sondern auch ein Großteil der im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe, allen voran der Kohlenstoff, erhalten bleibt.

Tab. 7 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus verfahrenstechnischer Perspektive zusammen.

3.8 Logistik

Wie zuvor schon festgehalten, weist die räumliche Verteilung der Kläranlagen in einem gesamtösterreichischen Kontext einen durchwegs dezentralen Charakter auf. Da für den wirtschaftlichen Betrieb von Monoverbrennungsanlagen eine gewisse Mindestgröße bzw. eine Mindestmenge an Klärschlamm erforderlich ist – Ermel (2015) spricht im Zusammenhang mit „kleinen“ Anlagen von 140.000 Einwohnerwerten –, kann davon ausgegangen werden, dass entsprechende Einrichtungen hingegen eher an zentralen Standorten zu finden sein werden. Folglich muss der (entwässerte oder getrocknete) Klärschlamm zu den zentralen (Mono-)Verbrennungsstandorten sowie weiter zu den Verwertungs- bzw. Lagerstätten transportiert werden. Das dazugehörige logistische Management ist in der Strategieentwicklung zur künftigen Klärschlammverwertung somit unbedingt frühzeitig mit zu berücksichtigen.

Es soll hier nicht der Eindruck vermittelt werden, dass logistische Überlegungen in Zusammenhang mit Klärschlamm etwas völlig Neues sind. Natürlich muss auch schon heute Klärschlamm zu den Verwertungsstellen (Mitverbrennung, Landwirtschaft) transportiert werden. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass sich im Rahmen der künftig angestrebten Verbrennung von bis zu 85% des anfallenden Klärschlammes das Transportaufkommen intensivieren wird (Wegfall der ortsnahe landwirtschaftlichen Verwertung, Weitertransport der Verbrennungsaschen zu Verwertungs- bzw. Lagerstätten etc.). Um sowohl die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen sowie die Belastung der Bevölkerung möglichst gering zu halten, erscheint die Ausarbeitung überörtlicher (regionaler) Transportkonzepte uner-

Tab. 7 Chancen und Herausforderungen aus verfahrenstechnischer Perspektive

	Fachbereich Verfahrenstechnik
Chancen	Optimal abgestimmte Teilprozesse, Kaskadennutzungskonzepte, Bereitstellung von unterschiedlichen Sekundärrohstoffen und Energie
Herausforderungen	Optimale Abstimmung der relevanten Teilprozesse, Monopolstellung der Monoverbrennung zu Ungunsten alternativer Verfahren

Tab. 8 Chancen und Herausforderungen aus logistischer Perspektive

	Fachbereich Logistik
Chancen	Überörtliche Transportkonzepte, Förderung des intermodalen Transports
Herausforderungen	Dezentraler Klärschlammanfall und zentrale -verwertung, erhöhtes Verkehrsaufkommen, Treibhausgasemissionen, Belastung der Bevölkerung

Tab. 9 Chancen und Herausforderungen aus raumplanerischer Perspektive

	Fachbereich Raumplanung
Chancen	Optimierte Transportwege durch gezielte Standortwahl, effiziente Nutzung lokal verfügbarer Ressourcen und Energien, Vermeidung von Flächennutzungskonflikten
Herausforderungen	Räumlicher Kontext zwischen Klärschlammanfall und -verwertung sowie zwischen Monoverbrennung und Wärme- bzw. Sekundärstoffabnahme

lässlich. Die Schaffung von verkehrstechnisch gut erschlossenen Umschlagplätzen als Grundlage zur Förderung des intermodalen Transportes (Zulieferung über die Straße, Abtransport über die Schiene) wäre hier möglicherweise eine gangbare Option, die allerdings eine intensive (Planungs-)Zusammenarbeit unterschiedlicher Branchen voraussetzt.

Tab. 8 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus logistischer Perspektive zusammen.

3.9 Raumplanung

Der räumliche Kontext zwischen den Stätten des Klärschlammanfalls und dessen Verwertung sowie beispielsweise auch zwischen den Monoverbrennungsanlagen und möglichen externen Wärmeabnehmern verdeutlichen die Bedeutung der Raumplanung bei der Strategie- und Standortentwicklung der künftigen Klärschlammverwertung. Die große Herausforderung, die sich in diesem Zusammenhang stellt, ist es, eine räumliche Nähe zwischen den Orten der Bereitstellung und der Verwertung von Klärschlamm, Sekundärressourcen bzw. Energie herzustellen.

Durch gezielte raumplanerische Maßnahmen können eine Vielzahl an positiven Effekten generiert werden. Eine koordinierte Standortwahl für mögliche Umschlagplätze und Monoverbrennungsanlagen unter Berücksichtigung bestehender oder künftiger Anlagen zur Weiterverwertung der Verbrennungsrückstände dient einer bestmöglichen Organisation der Transportwege. Durch das gezielte Ansiedeln neuer Verbraucher bzw. durch energetische Optimierung der vorhandenen Siedlungsstrukturen kann unter Berücksichtigung aller lokal verfügbaren Ressourcen eine effiziente Nutzung der vorhandenen

Energie gewährleistet werden (Energie-raumplanung). Schlussendlich können Raumanalysen auch dabei helfen, mögliche Flächennutzungskonflikte (Flächenbedarf für Umschlagplätze, Monoverbrennungsanlagen, Deponien) frühzeitig zu erkennen und zu entschärfen.

Tab. 9 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus raumplanerischer Perspektive zusammen.

An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass die räumliche Perspektive der Klärschlamm-Monoverbrennung derzeit in einer Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (Wagner in Vorbereitung) genauer untersucht wird.

3.10 Akteursmanagement

Wie aus den oben stehenden Ausführungen klar hervorgeht, handelt es sich bei der (künftigen) Klärschlammbewirtschaftung um eine sehr interdisziplinäre Materie. Um möglichst tragfähige Lösungen von höchstmöglicher Akzeptanz zu gewährleisten, empfiehlt es sich, alle relevanten Akteursgruppen, die ihrerseits wiederum unterschiedlichste Einzelakteure (Behörden, Wirtschaft, Wissenschaft etc.) beinhalten und auch die Öffentlichkeit umfassen, zu einem möglichst frühen Zeitpunkt in die Strategieentwicklung einzubinden. An dieser Stelle sei beispielsweise nochmals auf die enge Verbindung zwischen Energieversorgung und Raumplanung in Bezug auf eine mögliche Wärmeabnahme oder auf die Verfahrenstechnik hinsichtlich der Verwertungsalternativen bzw. -kombinationen verwiesen. Eine kontinuierliche Weitergabe von Informationen an die Akteure erhöht die (Planungs-)Transparenz und unterstützt eine faktenbasierte, emotionsentladene, nicht von (falschen) Sorgen getriebene Diskussion. Wie schon zuvor

festgehalten, kann in diesem Zusammenhang auch Bewusstseinsbildung in Bezug auf die Vermeidung bestimmter (Problem-)Stoffe bei der Abwasserproduktion betrieben werden.

Methoden des Akteurs- bzw. Partizipationsmanagements sind in der internationalen Literatur hinreichend dokumentiert (z. B. Krywkow 2009; Reed et al. 2009; Slocum 2003), daher wird an dieser Stelle nicht genauer darauf eingegangen. Abschließend soll darauf verwiesen werden, dass ebenso wie bei allen anderen angeführten Disziplinen auch beim Akteursmanagement die Expertise und praktische Erfahrung des verantwortlichen Fachpersonals eine zentrale Grundvoraussetzung für erfolgreiches Handeln darstellt. Akteursmanagement stellt das zentrale Bindeglied zwischen den einzelnen Akteuren bzw. Fachbereichen dar, braucht daher spezielles Augenmerk und kann sicherlich nicht einfach „nebenbei“ miterledigt werden.

Tab. 10 fasst die wesentlichen Chancen und Herausforderungen der künftigen Klärschlammbewirtschaftung aus Perspektive des Akteursmanagements zusammen.

4 Schlussfolgerungen

Die Monoverbrennung von Klärschlamm als künftige Methode der Klärschlammverwertung in Österreich birgt prinzipiell viele Chancen. So können dabei beispielsweise Schadstoffe aus dem anthropogenen Kreislauf entfernt sowie Sekundärrohstoffe (hier steht vor allem der Phosphor im Vordergrund) und (thermische) Energie bereitgestellt werden. Dem gegenüber stehen Herausforderungen wie die operative Zusammenführung einer dezentralen Klärschlammproduktion mit einer künftig eher zentral anzusiedelnden Verwertung sowie die Findung gesell-

Tab. 10 Chancen und Herausforderungen aus Perspektive des Akteursmanagements

	Fachbereich Akteursmanagement
Chancen	Tragfähige Lösungen mit größtmöglicher Akzeptanz, faktenbasierte und emotionsentladene Diskussion, Bewusstseinsbildung
Herausforderungen	Richtige Einbindung und Information aller relevanten Akteure und der Öffentlichkeit, Expertise und Weitblick der handelnden Personen

schaftlich akzeptierter Standorte für Monoverbrennungsanlagen und Lagerstätten für die anfallenden Aschen und Filterrückstände. Auch der aktuelle „Abfallcharakter“ des Klärschlammes und der daraus gewonnenen Produkte stehen einer Weiterverwendung derzeit noch eher entgegen.

Um in der strategischen Planung auch regionsspezifische Gegebenheiten (raumstrukturelle Besonderheiten, variierende Klärschlammqualitäten und -quantitäten etc.) bestmöglich berücksichtigen zu können, erscheint es jedenfalls sinnvoll, neben der Monoverbrennung auch die Einsatzmöglichkeit alternativer Behandlungskonzepte und -verfahren in Betracht zu ziehen.

Die Klärschlammverwertung ist eine sehr interdisziplinäre Materie. Um möglichst tragfähige und weitgehend akzeptierte Lösungen erarbeiten zu können, ist gutes Akteurs- und Partizipationsmanagement von zentraler Bedeutung. Durch eine integrale Betrachtung der Klärschlammverwertung unter Berücksichtigung der gesamten (lokalen) Wertschöpfungskette soll sichergestellt werden, dass die Ressource Klärschlamm aus volkswirtschaftli-

cher Sicht künftig bestmöglich genutzt wird. Weiterführende Forschungstätigkeit (Klärschlamm- und Aschequalitäten, Ökobilanzierungen, Kombinationsmöglichkeiten mit alternativen Behandlungs- bzw. Verwertungstechnologien, Technikfolgenabschätzungen etc.) müssen eine nachhaltige Umsetzungsplanung zusätzlich unterstützen.

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, ist im aktuellen Bundesabfallwirtschaftsplan festgehalten, dass die Kläranlagenbetreiber dazu aufgerufen sind, zeitnahe Planungsprozesse für die künftige Klärschlammbewirtschaftung zu starten. Grundlage für die Ausarbeitung entsprechender Konzepte stellt dabei aber das Vorhandensein eines entsprechenden Ordnungsrahmens sowie der technischen Voraussetzungen (Monoverbrennungskapazitäten) dar. Es liegt an den verantwortlichen Entscheidungsträgern bei Bund und Ländern, die Planungssicherheit für die Abwasserunternehmen ehestmöglich herzustellen und dabei auch begleitende Maßnahmen des Akteursmanagements und der Partizipation der Öffentlichkeit einzuleiten.

5 Abschlussbemerkung

Der vorliegende Artikel fasst wesentliche (Zwischen-)Ergebnisse der derzeit in Ausarbeitung befindlichen Masterarbeit des Zweitautors (Zingerle, Quellenangabe im Literaturverzeichnis) zusammen. Die Erstellung der Masterarbeit erfolgt im Rahmen des aktuellen Themenschwerpunkts „Die Kläranlage als regionale Energiezelle“ des BOKU-Energieclusters.

Funding Open access funding provided by University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU).

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. ■

Literatur

AWG (2002): Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz), BGBl. I Nr. 102/2002
BMNT (2017): Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 – Teil 1. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien
BMNT (2018): Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich – Statusbericht 2018. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien
Ermel, G. (2015): Klärschlamm-Monoverbrennung – Ab welcher Größe ist das realistisch? ÖWAV-Klärschlammseminar 2014, Wels
Escala, M., Zumbühl, T., Koller, C., Junge, R., Krebs, R. (2013): Hydrothermal Carbonization as an Energy-Efficient Alternative to Established Drying Technologies for Sewage Sludge: A Feasibility Study on a Laboratory Scale. *Energy Fuels*, 27, 454–460.
Gläser, J., Grit, L. (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. 4. Auflage. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden
Krüger, O., Adam, C. (2014): Monitoring von Klärschlammmonoverbrennungsaschen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zur Ermittlung ihrer Rohstoffrückgewinnungspotentiale und zur Erstellung von Referenzmaterial für die

Überwachungsanalytik. Deutsches Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
Krywko, J. (2009): A Methodological Framework for Participatory Processes in Water Resource Management. Dissertation an der Universität Twente
Mayring, P. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse Grundlagen und Techniken. 10., neu ausgestattete Auflage. Beltz Verlag, Weinheim und Basel
Oliva, J., Bernhardt, A., Reisinger, H., Domenig, M., Krammer, H.-J. (2009): Klärschlamm – Materialien zur Abfallwirtschaft. Report REP-0221, Umweltbundesamt, Klagenfurt, Wien
ÖWAV (2014): ÖWAV-Positionspapier „Klärschlamm als Ressource“. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
ÖWAV (2018): ÖWAV-Positionspapier „Positionen und Forderungen der Abwasserwirtschaft in Österreich“. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien
Reed, M. S., Graves, A., Dandy, N., Posthumus, H., Hubacek, K., Morris, J., Prell, C., Quinn, C. H., Stringer, L. C. (2009): Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *Journal of Environmental Management* 90 (2009), 1933–1949.

Scherhauer, P., Höltinger, S., Salak, B., Schuppenlehner, T., Schmidt, J. (2016): Leitfaden zum Umgang mit der sozialen Akzeptanz von Windkraftanlagen, Universität für Bodenkultur Wien
Slocum, N. (2003): Participatory Methods Toolkit—A practitioner's manual. United Nations University, King Baudouin Foundation and Flemish Institute for Science and Technology Assessment
Stöglehner, G., Neugebauer, G. (2015): Abwasserinfrastruktur im Rahmen der Energieraumplanung. Abwasserwirtschaft im ländlichen Raum – Aktuelle Entwicklungen und künftige Herausforderungen, Wiener Mitteilungen, Band 238, E1–E26.
Stöglehner, G., Narodoslawsky, M., Steinmüller, H., Steininger, K., Weiss, M., Mitter, H., Neugebauer, G. C., Weber, G., Niemetz, N., Kettl, K.-H., Eder, M., Sandor, N., Pflüglmayer, B., Merkl, B., Kollmann, A., Friedl, C., Lindorfer, J., Luger, M., Kulmer, V. (2011): PlanVision – Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung. Projektendbericht. Gefördert aus Mitteln des Klima- und Energiefonds. Wien
Stöglehner, G., Erker, S., Neugebauer, G. (2014): ÖREK-Partnerschaft Energieraumplanung – Ergebnispapier der ExpertInnen. Geschäftsstelle

der Österreichischen Raumordnungskonferenz und Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
Überreiter, E., Lenz, K., Zieritz, I. (2016): Kommunales Abwasser – Österreichischer Bericht

2016. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
Wagner, D. (in Vorbereitung): Räumliche Perspektiven der Klärschlamm-Monoverbrennung (Arbeitstitel). Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU-Energiecluster)

Zingerle, T. (in Vorbereitung): Integrale Betrachtung der Klärschlamm-Monoverbrennung (Arbeitstitel). Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU-Energiecluster)