



# Klärschlamm – Nährstoffquelle und Schadstoffsenke

---

**BUND-Forderungen für eine nachhaltige  
Kreislaufwirtschaft im Einklang mit  
Gesundheits- und Umweltschutz**

**Kurzfassung des Positionspapiers 76 des BUND**

## EINLEITUNG

Vor mehr als 200 Jahren wurde damit begonnen, in den Städten erste Abwasserkanäle zu bauen, um Schmutz und Fäkalien durch Schwemmkanalisation in die Flüsse zu leiten. Die dadurch zunehmende Verunreinigung der Einleitegewässer und seuchenhygienische Probleme bei der Nutzung des Flusswassers als Trinkwasser (z.B. Cholera-Epidemie in Hamburg) führten dazu, dass Anfang des 20. Jahrhunderts damit begonnen wurde, das Wasser vor Einleitung in Gewässer in Kläranlagen zu reinigen. Bei diesem inzwischen mehrstufigen Prozess fällt Klärschlamm an.

Seit der Industrialisierung enthält das Abwasser nicht mehr nur Fäkalien und Schmutzstoffe sondern in zunehmendem Maße auch Arzneimittel und andere Chemikalien aus Haushalten sowie aus Gewerbe – und Industriebetrieben, die ihr Abwasser in die öffentliche Kanalisation einleiten. Die Zusammensetzung des Abwassers und folglich auch des Klärschlammes hat sich dadurch stark verändert.

Der Rohstoff Klärschlamm ist einerseits eine Schadstoffsenske, d.h. die Abwasserreinigung ist so konzipiert, dass möglichst alle für Gewässer schädlichen Stoffe, die nicht vorher vermieden wurden, herausgefiltert werden. Sie werden entweder durch den Klärvorgang abgebaut oder an Klärschlamm adsorbiert. Dieser enthält dann ein komplexes, analytisch kaum erfassbares Substanzgemisch, darunter auch gefährliche Stoffe und Krankheitserreger, die nicht in die Umwelt gelangen sollten. Andererseits enthält Klärschlamm wertvolle Nährstoffe, insbesondere Phosphor. Diese gilt es in möglichst bioverfügbarer Form im Sinne der Kreislaufwirtschaft wieder zu nutzen.

Die Herausforderungen sind: Wie lassen sich vor- und nachsorgender Umweltschutz so miteinander kombinieren, dass der Klärschlamm, insbesondere seine wertvollen Inhaltsstoffe, genutzt wird, ohne dass seine umweltgefährdenden Bestandteile verbreitet werden? Wie kann man die Schadstoffbelastung des Abwassers und damit des Klärschlammes reduzieren? Wie lassen sich die Wertstoffe im Kreislauf führen?

Diese BUND Position Klärschlamm beschränkt sich auf die Einordnung umweltgerechter Verwertung von Klärschlamm, so wie er aktuell in kommunalen Kläranlagen anfällt. Wie langfristig ein nachhaltiger Umgang mit Stoffen, die bisher ins Abwasser gelangen, aussehen kann, hätte den Umfang dieser Position gesprengt und wird daher hier nicht behandelt.

## ABWASSERREINIGUNG – KLÄRSCHLAMM-VERWERTUNG

Die Abwasserreinigung in Kläranlagen ist ein mehrstufiger Prozess: Nach Abtrennung grober Bestandteile setzt sich der im Abwasser enthaltene (Primär-)Schlamm in einem Vorklärbecken ab. Das Abwasser gelangt dann in die biologische Reinigungsstufe, wo unter Zuführung von Luftsauerstoff Bakterien organische Inhaltsstoffe zu CO<sub>2</sub> und Wasser oxidieren. Dabei entsteht Belebtschlamm, der sich in der Nachklärung absetzt und überwiegend zurückgeführt wird. Überschüsse werden als (Sekundär-)Schlamm abgetrennt. Phosphor und Stickstoff im gereinigten Abwasser werden in größeren Kläranlagen im Anschluss durch so genannte Denitrifikation (Stickstoff) oder durch Fällung (phosphorhaltiger Tertiärschlamm) reduziert.

Das Abwasser enthält nach diesen drei Reinigungsstufen immer noch Mikroschadstoffe (u. a. Arzneimittel) in zwar geringer aber immer noch schädlicher Konzentration. Zunehmend sollen deshalb in den kommenden Jahren große Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe ausgerüstet werden, in der das Abwasser durch Aktivkohle oder UV-Licht/Ozon weitergehend gereinigt wird.

Die vereinigten Schlämme der ersten drei Reinigungsstufen werden als Rohschlamm abgeführt. Dieser enthält einen Großteil des Phosphors, der Schwermetalle und der schwer abbaubaren Schadstoffe. Er wird eingedickt und gelangt dann in größeren Kläranlagen meist in Faulbehälter, in denen unter Entstehung von methanhaltigem Klärgas weitere organische Substanz abgebaut wird. Der Faulschlamm wird unter Zugabe von Flockungshilfsmitteln in Zentrifugen oder Pressen auf einen Feststoffgehalt von 30–35 % eingedickt.

2021 fielen in Deutschland 1,717 Mio. t Trockenmasse (TM) Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen an. Wurde vor 25 Jahren noch der größte Teil des Klärschlammes deponiert, so ist dies seit 2005 verboten und Klärschlamm wird entweder verbrannt oder landwirtschaftlich (oder landbaulich) verwertet. Die seit langem umstrittene landwirtschaftliche Nutzung zeigt eine deutlich abnehmende Tendenz und betrug 2021 nur noch 19,5%. Die Mitverbrennung in Kohlekraftwerken, Zementwerken und Abfallverbrennungsanlagen umfasste 47% des angefallenen Klärschlammes. 32,5% wurden in Monoverbrennungsanlagen für Klärschlamm verwertet.

## SCHADSTOFFE IM KLÄRSCHLAMM

Das Ziel der Behandlung von Abwasser in einer Kläranlage ist die Reinigung des Wassers, damit schädliche Stoffe und pathogene Keime nicht in die Gewässer gelangen. Klärschlamm ist damit eine Schadstoffsene für viele Chemikalien. Dies trifft insbesondere auf die nicht überschaubare Vielfalt an organischen Schadstoffen und ihrer Transformationsprodukte zu, die aus Haushalten, Krankenhäusern, Gewerbe und Industrie ins Abwasser gelangen. Darunter sind Arzneimittel, Biozide und Pflanzenschutzmittel, Additive aus Plastik, Lösemittel, per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) und Mikroplastik ebenso wie pathogene oder Antibiotika-resistente Bakterien.

Wird Klärschlamm bodenbezogen genutzt, werden die angesammelten Schadstoffe großflächig ausgebracht. Sie können sich in (Kultur-)Pflanzen anreichern, Bodenorganismen und das Bodenmikrobiom schädigen oder wegen ihrer hormonellen Wirksamkeit oder anderer Wirkungen Umweltschäden hervorrufen. Aus Sicht des Bodenschutzes ist die Ausbringung von Klärschlamm deshalb abzulehnen.

Zwar haben sich z. B. die (durchschnittlichen) Konzentrationen der Schwermetalle in Klärschlamm in den vergangenen Jahrzehnten deutlich vermindert. Parallel dazu verringerten sich aber auch die (öko-)toxikologisch begründeten Schwellenwerte vieler Schadstoffe, so dass eine wirkliche Entlastung nicht eingetreten ist. Hinzu kommt, dass sich die Aufmerksamkeit auf immer neue Schadstoffe richtet, die im Klärschlamm gefunden werden. Hierzu zählen Arzneimittel-Wirkstoffe sowie Mikroplastik-Partikel, die bei Ausbringung auf Feldern sich anreichern und schädliche Wirkungen verursachen können. Besonders problematisch sind die per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS), die in der Umwelt nicht abgebaut werden und deshalb „ewige Chemikalien“ genannt werden. Sie haben häufig bei sehr niedrigen Konzentrationen schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit und Umweltorganismen und werden inzwischen überall gefunden, selbst in emissionsfernen Gebieten. Da sie sich erst bei sehr hohen Temperaturen zersetzen, reichen die in Abfallverbrennungsanlagen üblichen Temperaturen von ca. 850 °C nicht aus. Klärschlamm ist eine Vielstoffmatrix. Nur ein geringer Teil der in Klärschlamm enthaltenen Schadstoffe wird üblicherweise analysiert und überwacht. Minderungserfolge bei einzelnen Schadstoffen lösen deshalb das Problem der Verunreinigung von Böden nicht.

Außerdem enthält Klärschlamm auch pathogene Keime, Antibiotika-resistente Bakterien und mobile genetische Elemente.

Zwar vermindert sich die Belastung bei der Schlammbehandlung. Hygienische Risiken durch biologische Kontaminanten sind jedoch weiter vorhanden.

## NÄHRSTOFFE IM KLÄRSCHLAMM

Der Zulauf zu Klärwerken enthält im Durchschnitt 6 bis 8 mg Phosphor und 50 bis 54 mg Stickstoff pro Liter, wobei regional große Unterschiede auftreten. Demnach enthalten die 9.631 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser pro Jahr 70.000 bis 80.000 t Phosphor sowie 483.000 bis 517.000 t Stickstoff. Während Stickstoff während des Klärprozesses überwiegend als Luftstickstoff entweicht und nur zum geringen Anteil an Klärschlamm adsorbiert, haften ca. 70% des Phosphors, d. h. ca. 50.000 t, an Klärschlamm.

Phosphor ist ein essentielles Element für das Pflanzenwachstum. Phosphat für Düngezwecke wird vor allem aus Nordafrika in die EU importiert. Die Phosphatvorkommen weltweit sind jedoch begrenzt, weshalb die EU Phosphor zu den kritischen Rohstoffen zählt. Hinzu kommt, dass die Sediment-Phosphate häufig mit Schwermetallen, insbesondere Cadmium und Uran, verunreinigt sind und aufbereitet werden müssen. Derzeit werden in Deutschland ca. 85.000 t Phosphor in Mineraldünger auf Feldern eingebracht. Vergleicht man diesen Wert mit den 50.000 t in Klärschlamm, wird deutlich, dass große Anteile des primären Mineralphosphats durch sekundäres Klärschlammphosphat ersetzt werden können.

So erwünscht Phosphor für den Pflanzenbau ist, so unerwünscht ist er in Gewässern. Phosphor begünstigt das Algenwachstum, wodurch die biologische Vielfalt in Binnengewässern reduziert wird (Eutrophierung). Etwa je zur Hälfte gelangt Phosphor durch Abschwemmung von landwirtschaftlichen Flächen und durch Abwasser aus Kläranlagen in Oberflächengewässer. Besonders in Mittelgebirgsregionen ist der Anteil des Abwassers hoch. Die Oberflächengewässerverordnung fordert für den guten ökologischen Zustand gemäß Wasserrahmenrichtlinie in den meisten Fließgewässertypen Konzentrationen < 0,1 mg/l Gesamt-P und < 0,07 mg/l PO<sub>4</sub>-P. Diese Werte werden häufig überschritten, insbesondere in Gewässern mit einem hohen Anteil von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen. Eine geringere Düngung mit Phosphaten in der Landwirtschaft und eine effektivere Eliminierung von Phosphor in Kläranlagen sind erforderlich.

# GRUNDLAGEN: STOFFPOLITIK, RESSOURCENSCHUTZ, WASSERSTRATEGIE

Verantwortliches ökologisches Handeln heißt, natürliche Kreisläufe so weit wie möglich zu schließen. Dies gilt für Kohlenstoff ebenso wie für Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff. Mit den derzeit verfügbaren Verfahren zur Behandlung von Klärschlamm gelingt dies nur zum geringen Teil. Grund dafür ist die immer noch zu hohe Belastung mit Schadstoffen.

Jahrzehntelanges nicht nachhaltiges Handeln hat dazu geführt, dass Klärschlamm mit zahlreichen umweltgefährlichen Stoffen belastet ist, die es vor der Industrialisierung noch nicht gab. Diese Stoffe kontaminieren nicht nur den Klärschlamm, sondern auch Böden, Gewässer und die Luft. Viele dieser Stoffe sind so langlebig, dass sie über Jahrzehnte in der Umwelt stabil sind. Die REACH-Verordnung der EU fordert, dass Stoffe mit einem Produktions- oder Importvolumen größer 1 Tonne pro Jahr mit ihren Eigenschaften registriert und bei vorhandenen Risiken beschränkt oder verboten werden. Die Umsetzungsschritte für eine nachhaltige Stoffpolitik sind allerdings oft sehr langsam und halbherzig. Rund 27.000 Chemikalien sind zurzeit registriert; weitaus mehr sind weltweit in Umlauf. Im Rahmen des „Green Deal“ strebt die EU eine schadstofffreie Umwelt an. Diese ist eine wesentliche Grundlage für schadstoffarme Kreisläufe. Der BUND hat in seiner Position „Herausforderungen einer nachhaltigen Stoffpolitik“ notwendige Maßnahmen und Umsetzungsschritte beschrieben und mit konkreten Forderungen hinterlegt. Hierzu gehört u. a. die Substitution gefährlicher Stoffe durch nachhaltige Chemikalien, die vor allem leicht abbaubar sein sollen.

Abwasserreinigung in Kläranlagen soll die Vielzahl an Chemikalien daran hindern, in Gewässer zu gelangen. Kläranlagen sind „end of pipe“-Techniken (nachsorgender Umweltschutz). Ihre Reinigungsleistung hat Grenzen und viele Schadstoffe passieren die Kläranlagen oder werden an Klärschlamm adsorbiert. Besser wäre es, solche Stoffe gar nicht ins Abwasser gelangen zu lassen. Je weniger Schadstoffe Klärschlamm enthält, desto leichter lässt er sich wieder verwerten. Eine entschlossene Umsetzung einer nachhaltigen Stoffpolitik ist daher eine Voraussetzung dafür, dass die Belastung von Abwasser und Klärschlamm so niedrig wird, dass eine stoffliche Verwertung des Klärschlammes wieder möglich wird.

Auch die Nationale Wasserstrategie setzt sich zum Ziel, die „Risiken durch Stoffeinträge zu begrenzen“ und nimmt dabei Bezug auf die stoffpolitischen Pläne der EU. Die Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser und Klärschlamm soll dabei eine vorrangige Maßnahme sein.

Im Sinne eines Ressourcenschutzes ist es ein Ziel, Klärschlamm mit seinen wertvollen Inhaltsstoffen (Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff, ggf. auch humusbildende organische Substanz) direkt landwirtschaftlich zu verwerten, wie es in vorindustrieller Zeit üblich war. Eine weitgehende Schadstofffreiheit von Abwasser und Klärschlamm würde auch dem Schutz der Ressourcen Wasser und Boden und ihrer vielfältigen Nutzungen dienen.

In Streusiedlungen ohne Kanalanschluss, Kleingärten und einigen neu konzipierten Wohnquartieren ohne gewerbliche Einleiter kann man den Kreislauf von Kohlenstoff und Nährstoffen lokal schließen. Mehrere Modellprojekte erproben diesen alternativen Ansatz. Z. B. stellt der in Trenntoiletten getrennt gesammelte Urin mit seinem hohen Stickstoff- und Phosphorgehalt einen wertvollen Dünger dar. Die Arzneimittelbelastung lässt sich allerdings nicht vermeiden. Insgesamt lässt sich konventionelle Klärtechnik bis auf Weiteres kurz- und mittelfristig nicht ersetzen. Insoweit bleiben solche Ansätze eine Vision, die sich auf breiter Basis erst umsetzen lässt, wenn das Fernziel des schadstoffarmen Abwassers erreicht ist.

## GESETZLICHE GRUNDLAGEN

Mit der Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) 2017 hat die Bundesregierung neue Regeln für die Verwertung von Klärschlamm in Kraft gesetzt. Diese Verordnung verfolgt unter anderem die folgenden Ziele:

- Die bisher geltenden Anforderungen an die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung werden verschärft und der Anwendungsbereich der Verordnung auch auf Maßnahmen des Landschaftsbaus ausgedehnt. Klärschlamm soll künftig in der Regel nicht mehr direkt auf Äcker und Felder ausgebracht werden.
- Als zentrales Element sieht die Verordnung erstmals umfassende Vorgaben zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm und Klärschlammverbrennungsrückständen vor. Phosphor soll zurückgewonnen werden, um entweder für Düngeszwecke oder zur Herstellung chemischer Produkte eingesetzt zu werden. Die Abhängigkeit von Phosphatimporten soll dadurch gesenkt werden.

Die Grenzwerte für die bodenbezogene Verwertung wurden mit der Düngemittelverordnung (DüMV) verknüpft. Beispielsweise gelten für Cadmium und PCB (polychlorierte Biphenyle) strengere Grenzwerte und für PFAS wurde ein Grenzwert hinzugefügt. Die „Qualitätssicherung Landbauliche Abfallverwertung“ (QLA) nennt darüber hinaus weitere Untersuchungsparameter und präsentiert ein Zertifizierungssystem für Klärschlämme.

Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung gilt grundsätzlich für alle Kläranlagen, soweit der Klärschlamm mehr als 2 % Phosphor in der Trockenmasse enthält.

- Für Klärwerke der Größenklasse 5 (> 100.000 Einwohnerwerte (EW)), gilt die Recyclingpflicht von 2029 an.
- Für Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklasse 4b (> 50.000 EW) gilt diese Pflicht von 2032 an.
- Kleine und mittelgroße Anlagen (Größenklassen 1 bis 4a) können von der zuständigen Behörde unter Einhaltung der Grenzwerte die Genehmigung erhalten, Klärschlämme weiterhin bodenbezogen zu verwenden.

Für die Rückgewinnung gelten folgende Quoten: Soweit der Phosphor durch Fällungsverfahren gewonnen wird, sind mindestens 50 % Ausbeute erforderlich, mindestens aber so viel, dass 2 % Phosphor in der Trockenmasse im verbleibenden Klärschlamm unterschritten werden. Bei der Rückgewinnung aus Klärschlammasche beträgt die Quote 80 % des Gehalts in der Asche.

Bis 31.12.2023 sollen die Kläranlagenbetreiber über die geplanten und bereits eingeleiteten Maßnahmen zur Phosphorrückgewinnung und zur Klärschlammensorgung berichten.

## PHOSPHOR- RÜCKGEWINNUNG

Wie viel Phosphor sich zurückgewinnen lässt, hängt vom behandelten Stoffstrom ab: Die Phosphorkonzentration im Abwasser ist mit < 0,001 % (durchschnittlich 6,9 mg/L) meist sehr gering. In der Klärschlamm-Trockenmasse beträgt sie in der Regel über 2 % und in Klärschlammasche liegt sie überwiegend zwischen 6 bis 8 %.

Die Fällungsverfahren gewinnen Phosphate aus dem Abwasser oder dem (ausgefauten) Klärschlamm zurück. Sie beruhen darauf, den im Klärschlamm enthaltenen Phosphor zu mobilisieren und als Magnesiumammoniumphosphat (Struvit) oder Calciumphosphat auszufällen. Fällungen mit Magnesiumsalzen

führen darüber hinaus zur Rückgewinnung eines Teils des Stickstoffs. Ein Vorteil dieser Verfahren ist, dass sie auf Kläranlagen verschiedener Größe integrierbar sind und keine Transporte zu zentralen Anlagen erforderlich sind. Oft erreichen sie allerdings nicht die von der AbfKlärV geforderte 50%ige Rückgewinnung aus Klärschlamm. Es kann jedoch gelingen, den Phosphorgehalt des Klärschlammes auf weniger als 2 % zu senken, womit die Vorgaben der AbfKlärV erfüllt werden. Die Verfahren mit höheren Rückgewinnungsquoten schaffen dies nur durch einen umfangreichen Chemikalieneinsatz. Viele Verfahren beschränken sich auf Klärschlämme, bei denen Phosphor in der 3. Reinigungsstufe durch das so genannte Bio-P-Verfahren<sup>1</sup> abgetrennt wurde und eignen sich nicht für Eisen- oder Aluminiumphosphatfällungen. Es verbleibt ein phosphatarmer Schlamm, der abschließend (mit)verbrannt wird.

Zahlreiche Verfahren gewinnen Phosphor aus Klärschlammasche. Es ist also eine Monoverbrennung des Klärschlammes vorgeschaltet. Meist wird die Klärschlammasche in Säure gelöst und nach Abtrennung der Schwermetalle Phosphatsalze oder Phosphorsäure nasschemisch gewonnen. Phosphorsäure lässt sich vielfältig, z.B. in der chemischen Industrie, und nicht nur für Düngezwecke nutzen. In einigen Verfahren wird die Asche thermochemisch behandelt. Der Asche werden Zuschlagstoffe beifügt. Sie wird erhitzt und die Schwermetalle ausgetrieben. Der verbleibende Rückstand, der noch mineralische Bestandteile enthält, soll – soweit er die Vorgaben der Düngemittelverordnung einhält – direkt als Dünger verwendet werden. Die geforderte Rückgewinnungsquote von 80% wird bei den Verfahren aus Klärschlammasche in der Regel eingehalten. Monoverbrennungsanlagen und damit gekoppelte Rückgewinnungseinrichtungen benötigen eine Mindestmenge an Klärschlamm, um effektiv und wirtschaftlich arbeiten zu können. Außer bei großen Klärwerken sind diese Einrichtungen deshalb nicht auf dem Betriebsgelände. Ein Transport des Klärschlammes zur Verbrennungsanlage ist erforderlich.

Eine Sonderstellung nehmen die integrierten Verfahren ein, bei denen die thermische Behandlung und die Phosphorrückgewinnung in einer Anlage erfolgen. Diese alternativen Ansätze sind sehr unterschiedlich: Häufig wird der Klärschlamm (zunächst) in reduzierender Atmosphäre erhitzt, wodurch brennbare Gase (Syngas) und Pyrolysekohle entstehen. Bei der Klärschlammopyrolyse bleibt der Phosphor mit anderen Inhaltsstoffen des Klärschlammes in der Kohle. Allerdings werden Schwermetalle nicht effektiv abgetrennt und bleiben so wie die entstehenden kanzerogenen PAK<sup>2</sup> an die Kohle gebunden. Andere Verfahren überführen anschließend den Rückstand in Luftsauerstoff enthaltende (oxidierende) Atmosphäre, wobei die Kohle verbrennt. Schwermetalle werden abgetrennt; Phosphor in Form von Phosphaten oder Phosphorsäure gewonnen.

<sup>1</sup> Beim Bio-P-Verfahren nutzt man die Fähigkeit Polyphosphat-akkumulierender Mikroorganismen im Schlamm, Phosphat dem Abwasser zu entziehen.

<sup>2</sup> PAK: polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Bei metallurgischen Verfahren wird Klärschlamm mit evtl. Zuschlagstoffen bis zur Schmelze erhitzt und in der Schlacke angereichert. Schließlich ist noch auf die hydrothermale Karbonisierung (HTC) hinzuweisen, bei der man Klärschlamm unter Druck auf ca. 170–180 °C erhitzt. Aus dem entstandenen kohlehaltigen Rückstand wird das Phosphat durch Säure gelöst und darauf folgend ausgefällt. Einige Anbieter streben eine Realisierung auch auf dem Gelände kleinerer Kläranlagen an. Eine großtechnische Umsetzung in Deutschland hat bisher noch nicht stattgefunden.

Im Anhang der Langfassung dieses Positionspapiers sind einige Verfahren exemplarisch beschrieben.

Sechs Jahre nach Inkrafttreten der novellierten AbfKlärV gibt es somit nur wenige großtechnische Anlagen, viele Verfahrensvorschläge mit Pilot- oder Demonstrationsanlagen, aber noch keine Rückgewinnungsverfahren, die man als „Stand der Technik“ bezeichnen könnte. Viel Zeit wurde verloren, zumal man vom Beginn des Aufbaus einer Anlage im großtechnischen Maßstab bis zur Serienreife acht bis zehn Jahre benötigt.

## BEWERTUNG DER VERFAHREN UND AUSWAHLKRITERIEN

Die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm ist ein Auslaufmodell. Zwar ist die Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft aus Sicht der Nutzung der darin enthaltenen Nährstoffe grundsätzlich sinnvoll. Insbesondere Phosphor reichert sich im Klärschlamm an und wird auf diese Weise in den Boden zurückgeführt. Außerdem ist die bodenbezogene Verwertung des Klärschlammes die preiswerteste Methode mit hoher Energieeffizienz im Vergleich zu allen technischen Behandlungsverfahren. Jedoch überwiegen seit langem die Bedenken wegen des Schadstoffgehaltes des Klärschlammes. Auch wenn die Grenzwerte der Klärschlamm- und der Düngemittelverordnung die Belastung reduziert haben, bleibt Klärschlamm eine Stoffsenke für viele schwer abbaubare Stoffe. Hinzu kommen Bedenken wegen des Vorhandenseins pathogener und Antibiotika-resistenter Organismen. Für große Kläranlagen ist die bodenbezogene Verwertung des Klärschlammes künftig nicht mehr erlaubt.

Aktuell dominiert noch die Mitverbrennung in Zement- und Kohlekraftwerken sowie Abfallverbrennungsanlagen. Kohlekraftwerke werden nach Decarbonisierung der Energieerzeugung nicht mehr zur Verfügung stehen, so dass sich die Mit-

verbrennung auf phosphorarme Klärschlämme und Klärschlämme, denen durch Fällungsverfahren der Phosphor entzogen wurde, beschränken wird.

Es verbleiben Verfahren zur thermischen Behandlung des Klärschlammes, bei denen sich der Phosphor rückgewinnen lässt. Bei diesen „end-of-pipe“ Maßnahmen werden Wertstoffe vernichtet und angesichts des geringen Brennwertes von Klärschlamm wenig Energie gewonnen. Luftschadstoffe und Treibhausgase werden emittiert; aufwändige Filtertechniken sind erforderlich.

Diverse Verfahrensvorschläge zur Phosphorrückgewinnung liegen vor, sind aber nur zu einem geringen Teil großtechnisch erprobt. Zum jetzigen Stand kann der BUND deshalb kein Verfahren zur Anwendung empfehlen. Folgende Verfahrenstypen sind zu betrachten:

- Nasschemische Fällung des Phosphors und anschließende Verbrennung des angereicherten Schlammes,
- Monoverbrennung des Schlammes und anschließende Rückgewinnung des Phosphors aus der Verbrennungssasche,
- Alternative thermische Verfahren, bei denen thermische Behandlung und Phosphorrückgewinnung integriert sind.

Grundsätzlich sind diese Verfahren auch für Klärschlämme geeignet, die die Grenzwerte der AbfKlärV für die bodenbezogene Verwertung nicht einhalten. Kläranlagenbetreiber sollten bei der Auswahl des für sie geeigneten Verfahrens die nachfolgend genannten **Auswahlkriterien** beachten. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass unterschiedliche örtliche Verhältnisse (Kläranlagengröße, Transportaufwand, Platzbedarf, Möglichkeit regionaler Zusammenschlüsse etc.) zu unterschiedlichen Entscheidungen bei der Verfahrensauswahl führen werden. Einschränkend ist auch zu bemerken, dass Kläranlagenbetreiber aktuell weitgehend auf Informationsmaterial der Anbieter mit Werbecharakter angewiesen sind. Deshalb sollten ökologisch sinnvolle Verfahren mit Unterstützung durch staatliche Finanzierungsmittel einer vergleichenden ökologischen Bilanzierung durch eine unabhängige Stelle unterzogen werden.

### **Auswahlkriterien:**

#### • **Transportaufwand**

Nasschemische Fällungsverfahren zur Gewinnung von Phosphaten aus Klärschlamm haben den Vorteil, dass sie sich oft auf Kläranlagen integrieren lassen und von dem dort tätigen Personal durchgeführt werden können. Monoverbrennungsanlagen lassen sich demgegenüber nur mit größerem Einzugsgebiet betreiben. Sehr kleine Verbrennungsanlagen an Kläranlagen mit weniger als 50.000 EW sind nicht empfehlenswert, weil solche Anlagen eine kontinuierliche, stabile Anlieferung von Klärschlamm benötigen, und der spezifische Aufwand z. B. für die Abgasreinigung zu hoch wäre.

### • Emissionen

Die Emissionen aller Verbrennungsanlagen – ob Mitverbrennung oder Monoverbrennung oder die meisten alternativen Verfahren – unterliegen den Anforderungen der 17. BImSchV. Auch bei der thermischen Behandlung von Klärschlammasche und vielen alternativen Verfahren müssen Schadstoffe, vor allem Schwermetalle, in einer effektiven Rauchgasreinigung abgeschieden werden. Insbesondere ist auf die Reduktion des flüchtigen Quecksilbers zu achten. Organische Stoffe werden bei Verbrennungstemperaturen von 850 °C und höher zu CO<sub>2</sub> verbrannt. Fluorchemikalien (PFAS) benötigen jedoch eine Temperatur der Verbrennungsgase von wenigstens 1.100 °C mit einer Mindestaufenthaltszeit von 2 Sekunden. Ist der Klärschlamm höher mit PFAS belastet, sind die üblichen Temperaturen der Abfallverbrennung ungeeignet. Auch ist auf eine effektive Elimination von Stickstoffoxiden – sowohl NO<sub>x</sub> als auch Lachgas (N<sub>2</sub>O) – zu achten.

### • Energie- und Klimabilanz

Grundsätzlich wird bei allen Verfahren, bei denen die organische Substanz des Klärschlammes vollständig oxidiert wird, diese als CO<sub>2</sub> emittiert. Verschlechternd für die Bilanz an Treibhausgasen sind Verfahren, bei denen eine Stützfeuerung mit Gas benötigt wird. Bei den Fällungsverfahren ist zu berücksichtigen, dass die Mitverbrennung des abgereicherten Klärschlammes ebenfalls zu Treibhausgasemissionen führt. Verfahren, bei denen die Klärschlammasche zur weiteren Reinigung erhitzt werden muss, schneiden schlechter ab. Nur bei den Verfahrensvarianten, bei denen kohlehaltige Rückstände entstehen (Beispiele: HTC-Verfahren und Pyrolyse), sind die verfahrensbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen geringer. Günstiger schneiden dezentrale Verfahren ab, bei denen die freigewordene Wärmeenergie der Klärschlammverbrennung gemeinsam mit der Faulgasverbrennung z.B. zur Klärschlamm-trocknung oder für Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) genutzt wird.

### • Reststoffe

Nach Abtrennung des Düngerphosphats fallen in praktisch allen Verfahren Reststoffe an. Bei den Fällungsverfahren aus Klärschlamm oder Abwasser ist es phosphorarmer Klärschlamm, der einer (Mit-)Verbrennung zuzuführen ist. Bei Verbrennungaschen liegt nach Abtrennung des Phosphors meist unlösliche Restasche vor, die wegen ihres hohen Schwermetallgehaltes zu deponieren ist. Werden – wie bei der thermischen Behandlung von Klärschlammaschen oder bei einigen alternativen Verfahren – die Schwermetalle aus der Asche ausgetrieben, fallen schwermetallhaltige Flugstäube an und es ist sicherzustellen, dass der phosphathaltige Rückstand mit mineralischen Bestandteilen nur wenig Schwermetalle enthält. Hierbei ist besonders auf erhöhte Kupfer- und Zinkgehalte zu achten.

### • Pflanzenverfügbarkeit des Recyclats

Ein entscheidendes Beurteilungskriterium für die Nutzung des Phosphors aus Abwasser, Klärschlamm oder Klärschlammasche als Dünger ist die Pflanzenverfügbarkeit des Recyclats. Diese wird üblicherweise mithilfe der Löslichkeit in „Neutral Ammonicitrat“ (NAC) oder durch Pflanzversuche bestimmt. Bei allen Fällungsprodukten, sei es Magnesiumammoniumphosphat (Struvit) oder verschiedene Calciumphosphate, ist in der Regel eine hohe Pflanzenverfügbarkeit gegeben. Auch aus Phosphorsäure lassen sich pflanzenverfügbare Phosphatdünger herstellen. Ebenso sind die Fällungsprodukte nach dem Säureaufschluss von Klärschlammaschen gut pflanzenverfügbar. Nach Herstellerangaben schneiden Recyclate aus Verfahren, bei denen die Aschen oder die Rückstände aus alternativen Verfahren (z.B. Schmelzschlacken oder Karbonisate aus der Pyrolyse) thermisch behandelt wurden, ebenfalls günstig ab. Dies ist aber im Einzelfall zu überprüfen. Eisen- und Aluminiumphosphat aus der chemischen Fällung in der 3. Reinigungsstufe sind in der Regel schlecht pflanzenverfügbar, weshalb einige Fällungsverfahren für solche Schlämme weniger geeignet sind.

### • Entwicklungsstand und Effektivität

Der Vorteil mehrerer nasschemischer Fällungsverfahren ist, dass sie an einigen großen Kläranlagen bereits erfolgreich eingesetzt werden. Dies wird allerdings dadurch aufgewogen, dass nicht sichergestellt ist, dass sie im Dauerbetrieb genügend hohe Phosphorrückgewinnungsquoten erzielen. Außerdem sind sie für Eisen- und Aluminiumphosphate aus der chemischen Fällung meist ungeeignet und führen nur dann zu guten Ergebnissen, wenn eine Bio-P Eliminierung vorgeschaltet ist.

Die Klärschlammmonoverbrennung ist inzwischen bewährt und eingeführt. Demgegenüber stehen für den Aufschluss der Aschen zur Gewinnung der als Düngemittel verwendbaren Phosphate kaum großtechnisch bewährte Verfahren zur Verfügung. Inzwischen ist eine großtechnische Anlage in Betrieb und wenige größere Anlagen befinden sich in der Genehmigung. Bei der Mehrzahl der Verfahren liegen nur Erfahrungen aus Pilot- und Demonstrationsanlagen vor.

Dasselbe gilt für die alternativen Verfahren der Klärschlammbehandlung (z.B. HTC-Verfahren, thermische Verfahren mit integrierter Phosphorrückgewinnung). Dies ist bedauerlich, zeigen doch einige dieser Verfahren durchaus Vorteile gegenüber der Monoverbrennung mit anschließendem Aufschluss der Asche.

### • Kosten

Zur Beurteilung der Kosten der Klärschlammverwertung liegen nur wenige gesicherte Zahlen vor. Das Umweltbundesamt veranschlagt für die Kosten der landwirtschaftlichen Klärschlamm-mausbringung zwischen 160 und 320 €/t TM, günstiger als die

Mitverbrennung (280 bis 400 €/t TM) und die Monoverbrennung (280 und 480 €/t TM). Noch schwerer sind die Kosten der Phosphorrückgewinnung zu kalkulieren, da Herstellerangaben meist nicht verlässlich sind. Erste Schätzungen gehen von 3 bis 11 € pro Einwohner und Jahr aus. Ideal wäre, wenn die Kosten für die P-Rückgewinnung durch den Erlös des Verkaufs von Sekundärphosphat kompensiert würden. Dies hängt jedoch von dem Marktpreis im Vergleich zu primärem Mineralphosphat ab.

## SCHRITTE ZUR AKZEPTANZ VON RECYCLING-PHOSPHAT

Für eine erfolgreiche Rückführung des Phosphors aus Klärschlamm in den Wertstoffkreislauf ist eine Fülle gesetzlicher Bestimmungen zu beachten, die nicht widerspruchsfrei sind und zurzeit das P-Recycling eher erschweren. Einschlägig sind Wasserrecht, Abfallrecht; Düngerecht und das Stoffrecht. Mehr rechtliche Klarheit ist wünschenswert. Die EU-Düngeproduktverordnung setzt einen Rechtsrahmen für Düngemittel, die EU-weit gehandelt und verwendet werden dürfen, und ergänzt die deutsche Düngemittelverordnung, die für in Deutschland gehandelte Düngeprodukte Maßstäbe setzt. Für die jeweiligen Recyclate muss bestätigt werden, dass sie diesen rechtlichen Anforderungen genügen.

Eine weitere Frage ist die Akzeptanz der P-Recyclate auf dem Düngemittelmarkt. Wie bei vielen anderen Recyclingprodukten tendieren Kunden dazu, Sekundärprodukte als minderwertig zu betrachten, was die preisliche Konkurrenzfähigkeit beeinträchtigt. Es wird notwendig sein, auch vonseiten des Staates durch gesetzliche Vorgaben und Aufklärungskampagnen die Akzeptanz hochwertiger Sekundärphosphate zu steigern.

## FORDERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN DES BUND

Primäres Ziel ist es, die Gewässer vor Einträgen von Schad- und Nährstoffen zu schützen, Belastungen des Bodens durch Schadstoffe im Klärschlamm zu vermeiden und schädliche Luftemissionen bei der thermischen Behandlung des Klärschlammes so weit wie möglich zu verhindern.

Zur Minimierung des Eintrags gefährlicher Stoffe in das Abwasser und damit des Klärschlammes

- sollen Stoffe, die schwer oder nicht abbaubar sind (persistente Chemikalien) oder andere irreversible Wirkungen haben, nicht mehr verwendet werden und durch abbaubare, nachhaltige Chemikalien ersetzt werden.
- sollen insbesondere per- und polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) nur noch für unverzichtbare Anwendungen eingesetzt werden.
- sollen auch die Einträge von Arzneimitteln so weit wie möglich vermindert werden, z. B. durch die Entwicklung nachhaltiger Wirkstoffe, Rezeptpflicht für umweltgefährdende Arzneimittel und Maßnahmen zur Senkung des Antibiotikaverbrauchs.
- sollen Hersteller und Inverkehrbringer von Stoffen, die das Abwasser belasten, an den Kosten einer weitergehenden Abwasserreinigung zur Eliminierung von Mikroschadstoffen beteiligt werden (Verursacherprinzip).

Schutz vor gefährlichen Stoffen muss an der Quelle ansetzen! Nur so ist das Ziel der EU einer schadstofffreien Umwelt erreichbar.

Zum Schutz des Bodens vor Schadstoffen im Klärschlamm

- ist die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm auch für die Größenklassen 1 bis 4a bis 2034 vollständig zu beenden. Ausgenommen sind die Kompostierung und Vererdung von Klärschlamm kleiner Kläranlagen (GK 1, ohne industrielle Indirekteinleiter) sowie Pflanzenkläranlagen.
- sind für den Fall einer weiteren bodenbezogenen Verwertung von Klärschlamm aus mittelgroßen und kleinen Kläranlagen die Anforderungen der „Qualitätssicherung im Landbau“ (QLA) einzuhalten.
- ist der Grenzwert für PFAS spätestens bis zum 01.01.2025 zu verschärfen (20 µg/kg TM für die Summe aus 23 Einzelverbindungen).

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm ist weiter zu entwickeln und flächendeckend einzuführen. Hierzu werden verschiedene Verfahren angeboten, die jedoch teilweise noch nicht im großtechnischen Einsatz erprobt sind. Es gibt mehrere aus ökologischer Sicht vielversprechende Ansätze, die zurzeit noch im Pilotmaßstab getestet und optimiert werden. Kläranlagenbetreiber verfügen aktuell nicht über ausreichende Informationen für eine konkrete Entscheidung. Deshalb

- sollten die Kläranlagenbetreiber, die bis zum 31.12.2023 über den Stand ihrer Planungen berichten sollen, wenigstens drei Jahre Zeit erhalten, um sich für ein konkretes Verfahren zur Phosphorrückgewinnung zu entscheiden.



- sollten in der Übergangszeit ökologisch sinnvolle Verfahren mit Unterstützung durch staatliche Finanzierungsmittel zur Anwendungsreife im großtechnischen Maßstab weiterentwickelt werden. Dieser Prozess ist von einer vergleichenden ökologischen Bilanzierung der entwickelten marktreifen Verfahren zu begleiten.

Bei der Verfahrensauswahl sollen die Kläranlagenbetreiber

- außer den Erwägungen zu den örtlichen Bedingungen die in diesem Positionspapier genannten Auswahlkriterien berücksichtigen, insbesondere Effizienz der Verfahren, niedrige Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen, sichere Abtrennung von Schadstoffen und Pflanzenverfügbarkeit der Recyclate.
- bei einer Entscheidung für nasschemische Fällungsverfahren darauf achten, dass die Rückgewinnungsquoten ausreichend hoch sind und auch bei einer chemischen Fällung in der 3. Reinigungsstufe befriedigende Ergebnisse erzielt werden.
- sich bei einer Entscheidung für die nasschemische Phosphatfällung vergewissern, dass der abgereicherte Klärschlamm durch eine Mitverbrennung sicher entsorgt werden kann.
- bei einer Entscheidung für ein thermisches Verfahren sicherstellen, dass der Klärschlamm nicht mehr als 100 µg/kg TM PFAS (Summe aus 23 Einzelverbindungen) enthält. Bei Überschreitung ist der Klärschlamm einer Hochtemperaturverbrennung zuzuführen.
- bei einer Entscheidung für ein thermisches Verfahren sich versichern, dass die Anlage in der Lage ist, einen Grenzwert von 1 µg/Nm<sup>3</sup> Quecksilber (Jahresmittelwert) in der Abluft sicher einzuhalten.
- bei einer Entscheidung für eine Monoverbrennung des Klärschlammes darauf achten, dass bei der Aufbereitung der Asche Phosphor und Schwermetalle effektiv voneinander getrennt werden.
- bei einer Entscheidung für ein pyrolytisches Verfahren bedenken, dass dabei in Kohlen, Ölen und Gase krebserregende polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen können.
- sich versichern, dass das entstehende Recyclat düngerechtlich verwendet werden kann (außer Phosphorsäure, die vielfältig verwendbar ist).
- sicherstellen, dass entstehende Rückstände (z. B. Flugstaub oder Restasche) sicher entsorgt werden können.

Ferner ist aus Sicht des BUND zu fordern,

- dass die thermische Behandlung von Klärschlämmen übergreifend geplant wird, um regionale Über- oder Unterkapazitäten zu vermeiden.
- dass – wo möglich – die thermische Behandlung des Klärschlammes mit einer Kraft-Wärme-Kopplung verbunden wird, um die gewonnene Energie möglichst effizient zu nutzen.

- dass alternative thermische Verfahren, in die die Phosphorrückgewinnung integriert ist, bevorzugt werden, soweit sie sicher zu betreiben sind, einen niedrigen Energiebedarf, geringere Treibhausgasemissionen und geringere Umweltbelastungen aufweisen.
- dass über die Anforderungen des Düngerechts hinaus die Recyclate Grenzwerte für zusätzliche Schadstoffe einhalten. Insbesondere sind Begrenzungen für die in der AbfKlärV genannten Schadstoffe Zink, PCB und Benzo[a]pyren in der DüMV bzw. der EU-DüngeproduktVO zu verankern sowie dem Stand der Analysetechnik entsprechende Grenzwerte für halogen- und fluororganische Verbindungen (EOX<sup>3</sup> und EOF<sup>4</sup>).

Damit Phosphor-Recyclate einen hohen Prozentsatz der primären Mineralphosphate ersetzen, ist es notwendig,

- dass den Landwirten kommuniziert wird, dass sie keinen Klärschlamm mehr auf ihren Feldern ausbringen und bevorzugt sekundäre Phosphate anstelle belasteter primärer Mineralphosphate verwenden.
- dass Anreize geschaffen werden (z. B. steuerliche Vorteile für Sekundärphosphate und/oder steuerliche Nachteile für mineralische Phosphate, die mit Schwermetallen belastet sind).
- dass gesetzliche Hürden aufgehoben werden und eine Harmonisierung zwischen Abfall-, Wasser- und Düngerecht sowie stoffrechtlichen Bestimmungen erfolgt, um die Anerkennung marktfähiger Produkte zu erleichtern.

Noch immer sind die Einträge von Phosphor und Stickstoff in die Gewässer zu hoch. So kommen 24% der abwasserbürtigen Phosphorfracht aus Kläranlagen < 10.000 EW, die aber nur 8% des (kommunalen) Abwasservolumens beitragen. Es fehlen weitere Initiativen zur effektiveren Rückgewinnung von Phosphor und Stickstoff aus der Wasserphase. Um dies zu ändern, sind

- Forschungen und erhebliche Investitionen in ihre weitere Entwicklung erforderlich.
- technische Maßnahmen für eine effektivere Nährstoffelimination in Kläranlagen notwendig, um die Qualitätsziele für einen guten ökologischen Zustand in Oberflächengewässern einzuhalten.
- die Regeln für eine bedarfsgerechte, aber ökologisch verträgliche Düngung weiter zu entwickeln und zu verschärfen, um Einträge durch Abschwemmung und Dränage landwirtschaftlicher Flächen zu verhindern.

<sup>3</sup> EOX: Extrahierbares organisch gebundenes Halogen, X = Cl, Br, I

<sup>4</sup> EOF: Extrahierbares organisch gebundenes Fluor





Eine Langfassung des Positionspapiers „Klärschlamm – Nährstoffquelle und Schadstoffsенke“ kann heruntergeladen werden unter:

<https://www.bund.net/klaerschlamm>

**Impressum**

Herausgeber: Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) · Kaiserin-Augusta-Allee 5 · 10553 Berlin · Telefon: 030/27586-40 · Telefax: 030/27586-440 · E-Mail: [info@bund.net](mailto:info@bund.net) · [www.bund.net](http://www.bund.net) · V.i.S.d.P.: Petra Kirberger · Titelbild: Kekyalaynens/Shutterstock.com · Gestaltung: Natur & Umwelt GmbH · Oktober 2023

Bundesarbeitskreise Wasser, Umweltchemikalien & Toxikologie, Bodenschutz & Altlasten, Landwirtschaft sowie Abfall & Rohstoffe  
Autoren: Ralph Ahrens, Hans-Joachim Grommelt, Markus Große Ophoff, Klaus Günter Steinhäuser



FRIENDS OF THE EARTH GERMANY

## Unterstützen Sie uns!

Der BUND engagiert sich bundesweit und in 2.000 Ortsgruppen für den Klimaschutz und die Biodiversität. Wir finanzieren uns zu 80 Prozent aus Mitgliedsbeiträgen und privaten Zuwendungen. Machen Sie mit. Geben Sie dem Klima-, Flächen- und Artenschutz als BUND-Mitglied eine Stimme: [www.bund.net/mitgliedwerden](http://www.bund.net/mitgliedwerden)

