

EEW Basiswissen

Klärschlammverwertung

Mai 2020

Die Reihe „Basiswissen“ von EEW Energy from Waste richtet sich an interessierte Bürgerinnen und Bürger genauso wie an Journalisten, Mitglieder von Parlamenten oder Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Behörden.

In dieser Reihe sollen die für unser Unternehmen wichtigen Sachverhalte in einer möglichst neutralen und sachorientierten Art und Weise vermittelt werden. Ziel ist es, ein möglichst breites Spektrum an Informationen abzudecken. Wir erheben jedoch weder den Anspruch auf Vollständigkeit noch darauf, die Sachverhalte mit der aus fachlicher Sicht stellenweise angebrachten naturwissenschaftlichen Tiefe darzustellen. Es geht schlichtweg darum, die Themen einer breiten Leserschaft möglichst allgemeinverständlich zu präsentieren. Daher arbeiten an den „Basiswissen“ zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der EEW-Gruppe aus allen Bereichen und auch externe Fachleute mit. Sofern wir etwas unverständlich ausdrückgedrückt oder sogar aus Ihrer Sicht falsch dargestellt haben, sind wir für Ihre Hinweise dankbar und versprechen, dass wir jedem Ihrer Vorschläge nachgehen und diese mit Ihnen diskutieren.

Wir freuen uns auf den Dialog mit Ihnen.

EEW Energy from Waste GmbH
Marketing und Kommunikation
Schöninger Straße 2-3
38350 Helmstedt
basiswissen@eew-energyfromwaste.com

EEW Energy from Waste (EEW) ist ein in Europa führendes Unternehmen bei der Thermischen Abfall- und Klärschlammverwertung. Zur nachhaltigen energetischen Nutzung dieser Ressourcen entwickelt, errichtet und betreibt das Unternehmen Verwertungsanlagen auf höchstem technologischem Niveau und ist damit unabdingbarer Teil einer geschlossenen und nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. In den derzeit 18 Anlagen der EEW-Gruppe in Deutschland und im benachbarten Ausland tragen 1.150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das energetische Recycling von jährlich bis zu 5 Millionen Tonnen Abfall Verantwortung. EEW wandelt die in den Abfällen enthaltene Energie und stellt diese als Prozessdampf für Industriebetriebe, Fernwärme für Wohngebiete sowie umweltschonenden Strom zur Verfügung. Durch diese energetische Verwertung der in den EEW-Anlagen eingesetzten Abfälle werden natürliche Ressourcen geschont, wertvolle Rohstoffe zurückgewonnen und die CO₂-Bilanz entlastet.

Inhalt

Was ist Klärschlamm?	4
Klärschlamm: Schadstoff- und Rohstoffquelle	4
Einschub: Rohphosphate	4
Abwasserreinigung: Wie entsteht Klärschlamm?	5
Wie viel Klärschlamm fällt in Deutschland an?	6
Wie wird Klärschlamm derzeit in Deutschland entsorgt?	6
Warum ist die landwirtschaftliche Verwertung in die Kritik geraten?	7
Schwermetalle	7
Organische Schadstoffe	9
Arzneimittel	10
Krankheitserreger	11
Mikroplastik	11
Überdüngung	11
Welche Anforderungen gelten künftig für die Klärschlamm Entsorgung?	12
Klärschlammverordnung	12
Düngemittelverordnung	13
Wie kann man Phosphor zurückgewinnen?	15
Rückgewinnung aus dem Kläranlagenablauf	16
Rückgewinnung aus den Schlammwässern bzw. Prozesswasser	16
Rückgewinnung aus Klärschlamm	16
Monoverbrennung und Klärschlammmasche	17
Zusammenfassung und Bewertung	19
Klärschlammverwertung auf der Ebene der Bundesländer	20
Literaturverzeichnis	25

Was ist Klärschlamm?

Klärschlamm: Schadstoff- und Rohstoffquelle

Klärschlamm ist der Abfall der Abwasserbehandlung. In ihm konzentrieren sich all jene Substanzen, die Kläranlagen herausfiltern, um unsere Flüsse und Meere sowie unsere Grundwasser vor den unschönen Seiten der menschlichen Zivilisation zu bewahren und unsere Trinkwasserreservoirs sauber zu halten. Insbesondere die Hinterlassenschaften aus Abwässern der Großstädte und Ballungsräume sind deutlich mit Schadstoffen belastet.

Neben Schadstoffen filtern Kläranlagen auch Phosphor aus dem Abwasser, der unter anderem über landwirtschaftliche Düngung und menschliche Ausscheidungen in den Kreislauf gelangt. Dieser Nährstoff wird abgeschieden, weil ein Überangebot zu einem erhöhten Wachstum von Algen in Oberflächengewässern führt. Infolge der so genannten Eutrophierung (UBA a, 2010; UBA b, 2017) dringt durch Algenblüte des Phytoplankton weniger Licht zum Grund des Wassers vor, was Großalgen und Seegräser absterben lässt. Es kommt zu einer Kettenreaktion: Weniger Licht lässt die am Gewässerboden lebenden Pflanzen sterben. Auch Fische überleben in diesen Gewässern häufig nicht.

Dass Phosphor wegen seiner gravierenden Folgen für das aquatische Ökosystem bei der Abwasserbehandlung herausgefiltert wird, macht Klärschlamm wiederum zu einer wichtigen Rohstoffquelle. Denn Phosphor ist eine lebensnotwendige Ressource und wird unter anderem verwendet, um Düngemittel herzustellen. Ohne Phosphor kann kein Lebewesen auf der Erde existieren – egal ob Pflanze, Tier oder Mensch. Das Element steckt in Knochen und Zähnen, ist Bestandteil der DNA und spielt darüber hinaus eine entscheidende Rolle beim Energiestoffwechsel von Zellen (Peters, 2015).

Es ist diese Ambivalenz aus Schadstoff- und Rohstoffquelle, die zu einer gesellschaftlichen Debatte über den richtigen Entsorgungsweg für Klärschlamm geführt hat.

Rohphosphate

In der industriellen wie der kleinbäuerlichen Landwirtschaft wird Phosphor klassischerweise als Düngemittel eingesetzt (Killiches, 2013, S. 3). Dabei erweist es sich als problematisch, dass sich das Element nicht künstlich herstellen, sondern ausschließlich aus natürlichen Ursprüngen gewinnen lässt. Europa verfügt nur über eine einzige Miene, in der Phosphat abgebaut wird, die Siilinjärvi Mine in Finnland. Weil das bei Weitem nicht reicht, um den europäischen Bedarf zu decken, ist die EU auf Importe angewiesen.

Rohphosphat ist eine begrenzt verfügbare Ressource, eine akute Knappheit gibt es derzeit jedoch nicht (Killiches, 2013, S. 15). Allerdings sind die Vorkommen auf wenige Länder konzentriert. Die größten Produzenten sind China, Marokko und die USA. Zusammen fördern sie etwa zwei Drittel aller Phosphate, wobei in Marokko fast drei Viertel der globalen Reserven lagern (Killiches, 2013, S. 13ff.). Auch Russland, Tunesien, Jordanien und Brasilien sind wichtige Produzenten.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) warnte in einer Studie aus dem Jahr 2013 davor, dass diese Marktkonzentration mittelfristig zu einem erhöhten Versorgungsrisiko führen könnte und verwies beispielhaft auf die Unruhen während der Arabischen Revolution. In der Folge sei im Jahr 2010 der Phosphatabbau in Ägypten und Tunesien deutlich zurückgegangen.

Hinzu kommt, dass Rohphosphate je nach Ursprungsregion mit deutlichen Mengen an radioaktivem Uran belastet sein können (Römer, Gründel, & Güthoff, 2010, S. 206). Vertreter des Bundesumweltministeriums sehen den Einsatz von Rohphosphaten zur Herstellung von Düngemitteln unter dem Gesichtspunkt des Gesundheits- und Umweltschutzes daher zunehmend kritisch (Bergs, 2015, S. 4).

Abwasserreinigung: Wie entsteht Klärschlamm?

In modernen Kläranlagen wird Abwasser in mehreren Reinigungsstufen gesäubert. In vielen dieser Schritte wird auch Phosphor abgetrennt. Zunächst werden im Rahmen einer mechanischen Reinigung mit Hilfe eines Rechens grobe Verschmutzungen wie Laub, Steine oder Hygieneartikel aus dem Abwasser entfernt. (BMLFUW, 2012). Der dabei anfallende Abfall – das Rechengut – wird anschließend gewaschen, gepresst und anschließend meist thermisch verwertet. Danach wird das Abwasser in den so genannten Sandfang geleitet und dort durch die so genannte Sedimentation von mineralischen Verunreinigungen wie Sand, Kies oder auch Glassplitter befreit. Nun gelangt das Abwasser in das Vorklärbecken, wo seine Fließgeschwindigkeit verringert wird. Dadurch setzen sich organische Stoffe – hauptsächlich Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate – entweder am Boden ab oder sie schwimmen an der Wasseroberfläche. Etwa 30 Prozent des Schmutzes können auf diese Weise aus dem Abwasser entfernt werden und landen im so genannten Primärschlamm. Weil auch Fäkalien darunter sind und diese Phosphor enthalten, werden bereits in der mechanischen Reinigungsstufe rund zehn Prozent des im Abwasser enthaltenen Phosphors abgeschieden (IAT; ISWA, 2014, S. 6f.).

Nach der mechanischen Reinigung folgt die biologische Säuberung des Abwassers. Hier bauen Bakterien und andere Mikroorganismen organische Stoffe ab. Dafür wird das Abwasser in ein so genanntes Belebungsbecken geleitet. In diesem biologischen Reaktor befindet sich ein mit Bakterienhefen angereicherter Schlamm. Die Mikroorganismen bauen organische Kohlenstoffverbindungen ab und entziehen dem Abwasser Stickstoff. Bei diesen biochemischen Prozessen werden etwa 37 Prozent des enthaltenen Phosphors entfernt (IAT; ISWA, 2014, S. 6f.).

Das reicht in der Regel nicht aus, um die Vorgaben der deutschen Abwasserverordnung einzuhalten. Die größeren Kläranlagen dürfen je nach Klasse maximal ein bis zwei Milligramm Phosphor pro Liter in die Gewässer einleiten (AbwV, Anhang 1). Aus diesem Grund sind zusätzliche Maßnahmen zur Phosphor-Reduzierung erforderlich.

Beim biologischen Verfahren werden dem Abwasser Mikroorganismen zugesetzt, denen anschließend der Sauerstoff entzogen wird. Um nicht abzusterben, geben diese Phosphor ab, wodurch sie Energie gewinnen.¹ Anschließend wird den Mikroorganismen Sauerstoff verabreicht, woraufhin sie ein Mehrfaches des zuvor abgegebenen Phosphors wieder aufnehmen (Pinnekamp, Montag, Gethke, Goebel, & Herbst, 2007, S. 47f.). Entfernt man nun die Mikroorganismen aus dem Abwasser, ist damit auch dessen Phosphorgehalt gesunken.

Die auch Bio-P-Verfahren (Pinnekamp, Montag, Gethke, Goebel, & Herbst, 2007, S. 65) genannte biologische Fällung begünstigt die spätere Pflanzenverfügbarkeit des recycelten Phosphors (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 41). Mit der Pflanzenverfügbarkeit wird beschrieben, wie gut eine Pflanze einen Nährstoff aufnehmen kann.

Werden hingegen Eisensalze zur Fällung eingesetzt, verschlechtert sich die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors. Da jedoch die biologische Fällung sowohl hinsichtlich des Wirkungsgrades als auch der Prozessstabilität äußerst unzuverlässig ist (IAT; ISWA, 2014, S. 3), müssen viele Kläranlagenbetreiber zusätzlich Metallsalze einsetzen, um die gesetzlich geforderte Phosphorfällung garantieren zu können.

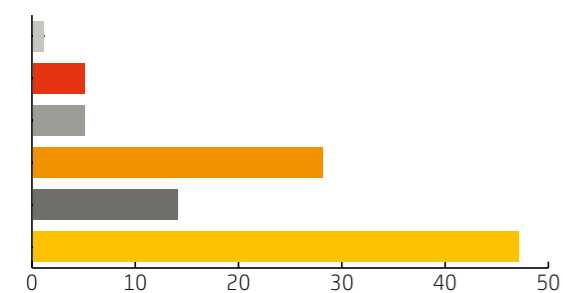
Bei den unterschiedlichen Reinigungsstufen fallen unterschiedliche Schlämme an, die jedoch in aller Regel gemeinsam als so genannter Rohschlamm in den eierförmigen Faultürmen der Kläranlage stabilisiert werden. Dabei wird organischer Kohlenstoff soweit es geht abgebaut, um Geruchsbeeinträchtigungen zu vermeiden (BMLFUW, 2012). Ein stabilisierter Klärschlamm – auch Faulschlamm genannt (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 9) – riecht also nur noch wenig. Der Faulschlamm kann anschließend weiterverarbeitet werden. Faulschlamm ist mit einem Trockensubstanzgehalt von 1 bis 5 Prozent noch ziemlich wässrig. Daher muss der Wassergehalt für die weitere Verwendung durch Pressen und Trocknen reduziert werden.

¹ Wissenschaftler und Ingenieure nennen dieses Verfahren auch „eine Stresssituation erzeugen“.

Wie viel Klärschlamm fällt in Deutschland an?

Jährlich fallen in Deutschland etwa 1,8 Millionen Tonnen Klärschlamm Trockensubstanz an (Destatis). Sie entstehen bei der Behandlung von Siedlungsabwasser, für die ein Netz von über 9.600 öffentlichen Kläranlagen zuständig ist (Durth & Kolvenbach, 2014). Rund 6.500 davon zählen mit einer Ausbaustufe von unter 5.000 Einwohnerwerten (EW)² zu den kleinen bis sehr kleinen Kläranlagen der Größenklasse (Gk) 1 oder 2. Diese Kleinanlagen erfassen lediglich 6,4 Prozent des gesamten Abwasserstroms in Deutschland.

Entscheidend für den Massenstrom und damit für das Klärschlamm aufkommen sind die 571 Großanlagen der Klasse 4b und 5 mit einer Ausbaustufe ab 50.000 EW. Sie stellen gerade einmal sechs Prozent des gesamten Anlagenparks, behandeln jedoch jedes Jahr fast 6,1 Milliarden Kubikmeter Abwasser. Das entspricht einem Anteil von über 61 Prozent des gesamten Abwasserstroms in Deutschland.



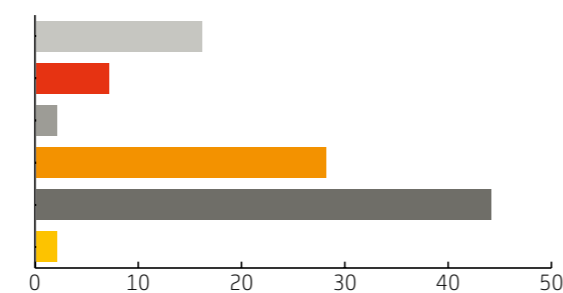
Gk 1	(unter 1.000 EW)	1%
Gk 2	(1.000 – 5.000 EW)	5%
Gk 3	(5.000 – 10.000 EW)	5%
Gk 4a	(10.000 – 50.000 EW)	28%
Gk 4b	(50.000 – 100.000 EW)	14%
Gk 5	(100.000 und mehr EW)	47%

Abbildung 1: Abwasserbehandlung in Deutschland 2010 (Durth & Kolvenbach, 2014, S. 4)

Der überwiegende Teil der Siedlungsabwasserströme wird in den großen öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen gereinigt. Die dort anfallenden Klärschlämme sind erfahrungsgemäß deutlich mit Schadstoffen belastet, weshalb eine direkte landwirtschaftliche Verwertung problematisch ist.

Wie wird Klärschlamm derzeit in Deutschland entsorgt?

In Deutschland wird der Klärschlamm sowohl thermisch als auch stofflich verwertet. Der Anteil der Entsorgung durch Verbrennung lag nach Angaben des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2018 bei rund 74 Prozent (Destatis). Das ist etwas mehr als jener Teil, den die großen Kläranlagen an der Abwasserbehandlung innehaben.



in der Landwirtschaft	280.325 t	16%
bei landschaftsbaulichen Maßnahmen	122.615 t	7%
sonstige stoffliche Verwertung	33.206 t	2%
Monoverbrennung	496.463 t	28%
Mitverbrennung	761.959 t	44%
Verbrennung (unbekannt)	36.766 t	2%

Abbildung 2: Klärschlamm entsorgung in Deutschland 2018 (Destatis)

Wird Klärschlamm beispielsweise in Kohlekraftwerken oder Müllverbrennungsanlagen mitverbrannt, werden zwar die darin enthaltenen Schadstoffe zerstört. Allerdings geht dabei auch wertvoller Phosphor unwiederbringlich verloren, da er aus der Asche nicht zurückgewonnen werden kann.

2018 wurden mehr als 760.000 Tonnen Klärschlamm in Deutschland mitverbrannt. Fast 44 Prozent des Klärschlammes ist also 2018 so behandelt worden, dass der Phosphor nicht zurückgewonnen werden kann. Der Anteil der Monoverbrennung an der Klärschlamm entsorgung war hingegen mit 496.000 Tonnen bzw. 28 Prozent deutlich geringer. Weitere 280.000 Tonnen Klärschlamm sind direkt landwirtschaftlich verwertet worden (16 Prozent).

Warum ist die landwirtschaftliche Verwertung in die Kritik geraten?

Die landwirtschaftliche Verwertung ist nach wie vor eine gängige Entsorgungsmethode für Klärschlamm in Deutschland. Nach einer Vorbehandlung und gegebenenfalls einer Hygienisierung wird dieser auf den Feldern ausgebracht, um mit dem enthaltenen Phosphor und Stickstoff den Boden zu düngen. In die Kritik geraten ist diese Form der stofflichen Klärschlammverwertung, weil damit all jene Stoffe wieder unkontrolliert in die Umwelt gelangen, die zuvor mühsam aus dem Abwasser herausgefiltert wurden.

Schwermetalle

Klärschlämme enthalten zahlreiche Schwermetalle, die bei einer landwirtschaftlichen Verwertung die Böden belasten und in die Grund- und Oberflächengewässer ausgewaschen werden können. So werden die Schwermetalle Arsen, Kupfer und Nickel in deutlich höheren Konzentrationen freigesetzt, als es nach den Vorgaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zulässig ist (Zwiener, Grathwohl & Walz, 2014, S. 46). Teilweise werden die erlaub-

ten Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) um das Zehnfache überschritten.

Tabelle 1 zeigt die Konzentrationen einiger Schwermetalle, wie sie im Klärschlamm des Jahres 2015 zu finden waren.

Schwermetalle und Nährstoffe im Klärschlamm 2015 (in mg/kg TS)

Schwermetalle:

Blei	30,6
Cadmium	0,74
Chrom	32,6
Kupfer	293,6
Nickel	24,7
Quecksilber	0,39
Zinn	772,8

Nährstoffe:

Stickstoff	43.796
Phosphor	24.576

Tabelle 1: Schwermetalle im Klärschlamm 2015 (Roskoch, Heidecke, 2018, S. 20)

Die folgenden Grafiken zeigen, dass die Belastungen des Klärschlammes mit manchen Schwermetallen in den vergangenen Jahren gesunken sind, sich jedoch immer noch auf einem hohen Niveau befinden. Bei anderen Schwermetallen hat sich die Belastung hingegen kaum verändert. Insbesondere die Kupfer-Belastungen sind mit rund 300 mg/kg Trockensubstanz noch immer vergleichsweise hoch.

² Der Einwohnerwert ist der gebräuchlichste Vergleichswert in der Wasserwirtschaft. Er gibt die auf der Basis der Einwohnerzahl im Einzugsgebiet einer Kläranlage und dem so genannten Einwohnergleichwert (EGW) die zu erwartende Schmutzfracht einer Kläranlage an. Der Einwohnergleichwert ist der Vergleichswert für die Schmutzfracht der gewerblichen Einleiter. (BMLFUW a, 2015)

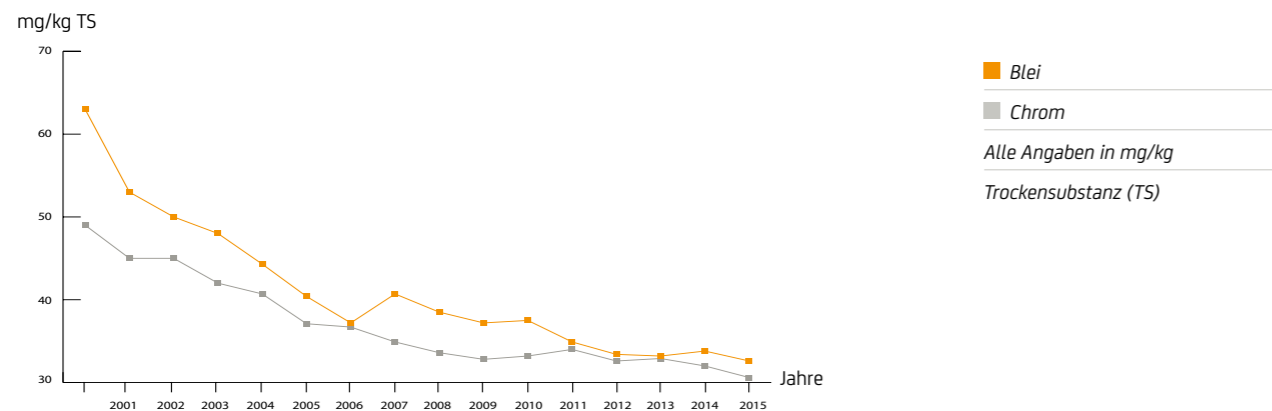


Abbildung 3: Blei und Chrom im landwirtschaftlich genutzten Klärschlamm 1998 bis 2015 (Roskoch, Heidecke, 2018, S. 20)

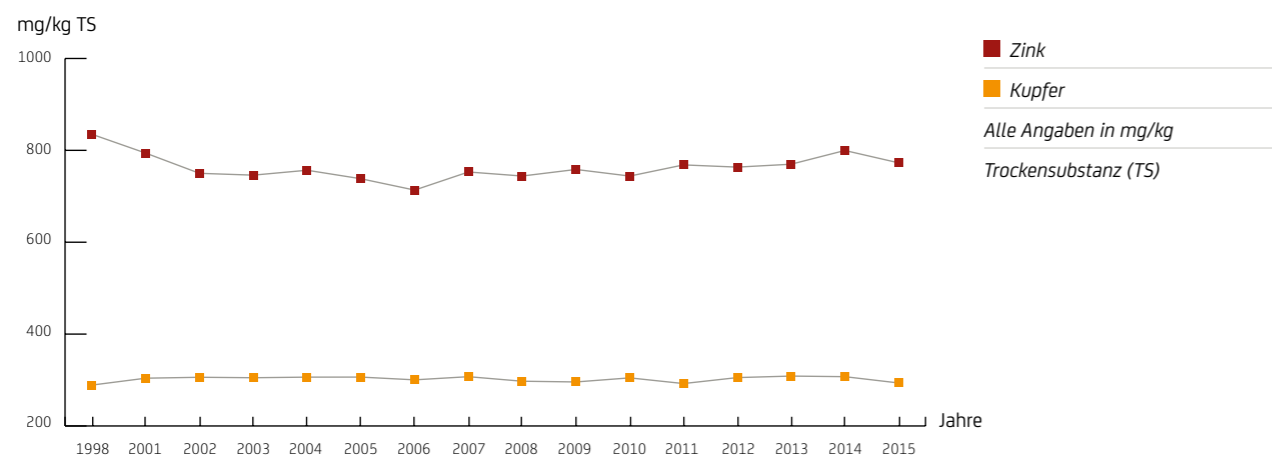


Abbildung 4: Zink und Kupfer im landwirtschaftlich genutzten Klärschlamm 1998 bis 2015 (Roskoch, Heidecke, 2018, S. 20)

Entwicklung der Entsorgungswege in Deutschland (Alle Angaben in t TS)

	2012	2014	2016	2018
Stoffliche Verwertung in der Landwirtschaft	544.065	470.882	423.736	280.325
Stoffl. Verwertung b.landschafts-baulichen Maßnahm.	235.439	216.148	169.439	122.615
Sonstige stoffliche Verwertung	58.107	35.386	31.064	33.206
Thermische Entsorgung	1.008.830	1.077.930	1.142.893	1.295.188
Deponie	-	-	-	-
Sonstige direkte Entsorgung	-	2.642	6.293	6.293

Tabelle 2: Entwicklung der verschiedenen Entsorgungswege in Deutschland (Quelle: Destatis 2020)

Kupfer gelangt insbesondere über Gebäudeinstallationen wie beispielsweise Wasserleitungen ins Abwasser und von dort in den Klärschlamm. Das Schwermetall gehört zu den lebenswichtigen Spurenelementen und ist für den erwachsenen Menschen unbedenklich. Bei Säuglingen kann eine erhöhte Aufnahme von Kupfer allerdings zu schweren Schädigungen der Leber führen (IfAU). Es sollte daher möglichst verhindert werden, dass auch dieses Schwermetall in die Gewässer gelangt.

Die im Klärschlamm enthaltenen Kupferkonzentration überschreitet den in der so genannten Öko-Verordnung der EU festgelegten Grenzwert von 70 Milligramm pro Kilogramm deutlich (Verordnung (EG) Nr. 889/2008). Allein das disqualifiziert Klärschlamm als Düngemittel für Produkte, die auf eine hochwertige landwirtschaftliche Erzeugung angewiesen sind, wie beispielsweise Babynahrung.

Eine bedeutende Rolle im Zusammenhang mit Schwermetallbelastungen von Klärschlamm spielen die so genannten Eluat-Werte. Darunter versteht man die Konzentration jener Schadstoffe, die bei standardisierten Messverfahren aus dem untersuchten Material herausgewaschen werden und sich anschließend im Wasser – dem so genannten Eluat – befinden. Eine Schadstoffkonzentration in einem Material kann sehr hoch sein. Wenn die Schadstoffe jedoch fest eingebunden sind und sich auch bei starken Niederschlägen nicht lösen können, ist der Eluat-Wert niedrig und die Gefahr für die Umwelt und die menschliche Gesundheit trotz der hohen Konzentration gering.

In Klärschlamm sind die Schadstoffe jedoch nicht so fest eingebunden. So hat eine 2014 veröffentlichte Untersuchung von Wissenschaftlern der Universität Tübingen gezeigt, dass die Eluat-Werte der Klärschlämme aus baden-württembergischen Kläranlagen über den Geringfügigkeitsschwellenwerten liegen, die die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die Schwermetalle Arsen, Kupfer und Nickel festgelegt hat. (Zwiener, Grathwohl, & Walz, 2014, S. 3).³ Vergleichbare Untersuchungen für das gesamte Bundesgebiet sind nicht bekannt.

³ Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) definieren Stoffeintragungen in Gewässer, die sich nicht vermeiden lassen. Die Geringfügigkeitsschwelle wird dabei definiert als jene Stoffkonzentration die für Mensch und Umwelt noch nicht schädlich ist. Solange der GFS unterschritten wird, gilt ein Stoffeintrag daher als hinnehmbar (Paul, 2014, S. 58).

Organische Schadstoffe

Neben Schwermetallen sind Klärschlämme mit so genannten organischen Schadstoffen belastet. Darunter versteht man chemische Verbindungen, die häufig giftig und besonders langlebig sind. Sie stellen eine Belastung für die Umwelt dar und können die Gesundheit der Menschen beeinträchtigen (BlfU). Belastet sind Klärschlämme unter anderem mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Beim baden-württembergischen Schadstoff-Screening hat diese Stoffgruppe die Geringfügigkeitsschwellenwerte der LAWA in vielen Fällen überschritten (Zwiener, Grathwohl, & Walz, 2014, S. 46).

Organische Schadstoffe gelangen unter anderem über Putz- und Reinigungsmittel, Körperpflegeprodukte, Heimwerkerchemikalien oder Holzschutzmittel in das Abwasser (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 13). Zwischen 40 und 60 Prozent dieser Verbindungen lagern sich wiederum im Klärschlamm ab (Zwiener, Grathwohl, & Walz, 2014, S. 34). Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt einige der organischen Schadstoffe, die Wissenschaftler beim Schadstoff-Screening in baden-württembergischen Klärschlämmen gefunden haben. Darunter sind neben Industriechemikalien und Arzneimitteln auch giftige Perfluorierte Tenside (PFT).

In baden-württembergischen Klärschlamm aus der öffentlichen Abwasserbehandlung nachgewiesene organische Schadstoffe

Substanz	Art der Substanz	im Klärschlamm	im Säureluat	Identifizierung
4-Acetamidoantipyrin	Metabolit	✓	✓	mögliche Verbindung
4-Aminophenol	Industriechemikalie	✓	✓	mögliche Verbindung
4-Formylaminoantipyrin	Metabolit	✓	✓	mögliche Verbindung
5-Methyl-2H-benzotriazol	Korrosionsschutz	✓	✓	mögliche Verbindung
Adrafinil	Arzneimittel	✓		mögliche Verbindung
Carbamazepin	Arzneimittel	✓	✓	eindeutig identifiziert
Diclofenac	Arzneimittel	✓	✓	eindeutig identifiziert
Lamotrigin	Arzneimittel	✓	✓	eindeutig identifiziert
Losartan	Arzneimittel	✓	✓	mögliche Verbindung
Methylisothiazolinon (MIT)	Biozid	✓	✓	mögliche Verbindung
Metoprolol	Arzneimittel	✓	✓	eindeutig identifiziert
Perfluorooctansulfonsäure	PFT	✓	✓	eindeutig identifiziert
Perfluorbutansulfonsäure	PFT	✓	✓	eindeutig identifiziert
Skatol	Naturstoff	✓	✓	mögliche Verbindung
Tamoxifen	Arzneimittel	✓	✓	mögliche Verbindung
Terbutryn	Herbizid	✓	✓	eindeutig identifiziert
Thiabendazol	Fungizid	✓		eindeutig identifiziert
Tris-(2-butoxyethyl)phosphat	Weichmacher/FSM	✓	✓	eindeutig identifiziert

Tabelle 3: Organische Schadstoffe in baden-württembergischen Klärschlamm (Zwiener, Grathwohl, & Walz, 2014, S. 43f.)

Arzneimittel

Wie der Übersicht zu entnehmen ist, können im Klärschlamm in erheblichem Umfang Arzneimittelreste nachgewiesen werden. Sie gelangen entweder über Ausscheidungen nach therapeutischer Anwendung oder durch eine unsachgemäße und illegale Entsorgung der Medikamentenreste über die Toilette in das Abwasser (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 16). Jährlich werden in Deutschland mehr als 30.000 Tonnen Medikamente verbraucht (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 16).

Wissenschaftler der Uni Tübingen haben in einer Studie im Auftrag des baden-württembergischen Umweltministeriums darauf hingewiesen, dass nur wenige Stoffe sicher identifiziert werden konnten. Dies deutet auf ein noch unbekanntes, aber vermutlich erhebliches Schadstoffpotenzial hin (Zwiener, Grathwohl, & Walz, 2014, S. 46f.). In einer anderen Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes haben Wissenschaftler weitere bedenkliche Arzneimittel im Klärschlamm gefunden, darunter Antiepileptika, Lipidsenker, Betablocker und Steroide Hormone (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 17). Darüber hinaus seien zahlreiche

Antibiotika im Klärschlamm gefunden worden. Im Einzelnen nachgewiesen wurden Ciprofloxacin, Norfloxacin, Doxycyclin, Clarithromycin, Roxithromycin und Trimethoprim (Bergmann, Fohrmann, & Weber, 2011; Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013). Antibiotika reichern sich im Boden an, über längere Zeiträume hinweg auch in erhöhten Konzentrationen.

Krankheitserreger

Die durch eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ansteigende Konzentration von antibiotischen Substanzen kann wiederum gravierende Folgen haben. Denn im Klärschlamm befinden sich Krankheitserreger wie Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeier (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 14). Diese gelangen unter anderem deshalb in den Klärschlamm, weil auch Krankenhäuser das öffentliche Abwasser-Entsorgungssystem nutzen. In Verbindung mit den enthaltenen Arzneimittelrückständen können die Erreger bereits in der Kläranlage Antibiotikaresistenzen bilden. Gelangen diese resistenten Keime in die Umwelt, stellen sie eine erhebliche Gesundheitsgefahr dar.

Krankheitserreger können unter bestimmten Umständen monatelang im Boden überleben und über die Nahrungs- und Futtermittelproduktion zurück zu Mensch und Tier gelangen. So wurde Norddeutschland im Frühsommer 2011 von einer EHEC-Epidemie heimgesucht, die bei rund 3.800 Menschen eine schwere Darminfektion verursachte (Janning, 2016). Als Ursache wird unter anderem die in der Region nach wie vor weit verbreitete landwirtschaftliche Klärschlammverwertung vermutet (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 14).

Mikroplastik

Neben Schwermetallen und Schadstoffen stellt Mikroplastik eine wachsende Gefahr für die Gewässer dar. Darunter versteht man Kunststoffpartikel, die kleiner als fünf Millimeter Durchmesser sind und unter anderem Kosmetik- und Pflegeprodukten beigemischt werden. Ein bekanntes Beispiel sind die so genannten „Peelings“ in Duschgels (Ertl, 2016). Mikroplastik gelangt zudem über Waschmaschinen ins Ab-

wasser, weil sich mit jedem Waschgang kleinste Teilchen von der Kleidung lösen. Die meisten Kleidungsstücke beinhalten heutzutage Kunststoffe, weil sie so länger in Form bleiben als Teile aus reiner Baumwolle. Auch wasserdichte und atmungsaktive Funktionsbekleidung wird mit Kunststoffen behandelt. Typische Synthetikfasern sind Elasthan, Polyamid, Polyester und Polyacryl (Rigos, 2004).

Noch vor wenigen Jahren waren Kläranlagen kaum in der Lage, Mikroplastik aus dem Abwasser herauszufiltern. Die winzigen Partikel schlüpfen sozusagen durch alle Raster hindurch und gelangten so in die Umwelt – und damit in unsere Trinkwasserreservoirs sowie in die Nahrungskette. Lediglich ein kleiner Teil blieb hängen und konnte im Klärschlamm nachgewiesen werden (Mintenig, Int-Veen, Löder, & Gerdt, 2014). Neueren Studien zufolge können mit moderner Technik ausgestattete Kläranlagen heutzutage Mikroplastik fast vollständig aus dem Abwasser entfernen (NLWKN, 2017). Entsprechend höher ist inzwischen der Anteil an Mikroplastik im Klärschlamm. Wissenschaftler des Alfred-Wegener-Instituts haben in einer Studie errechnet, dass je nach Ausbaustufe pro Jahr zwischen 1,2 und 5,7 Milliarden Mikroplastikpartikel in einer Kläranlage anfallen könnten (Mintenig, Int-Veen, Löder, & Gerdt, 2014). In einem Kilogramm Klärschlamm-Trockenmasse könnten demnach 1.041 bis 24.129 Mikroplastikpartikel vorkommen. Bei den Angaben handelt es sich allerdings um eine grobe Hochrechnung auf der Basis von Proben. Die Forschung steht in diesem Bereich noch am Anfang.

Überdüngung

Ein weiteres Hemmnis der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm: Viele Böden insbesondere im norddeutschen Raum sind infolge einer intensiven Viehzucht bereits heute überdüngt. Die Tiere produzieren schlichtweg mehr Gülle als der Boden an Dünger aufnehmen kann. Die Folge sind hohe Nitratwerte und eine immer aufwändigere Trinkwasseraufbereitung. Eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) kam zu dem Ergebnis, dass 27 Prozent der Grundwasserkörper in Deutschland den Nitratgrenzwert der europäischen Wasserrahmenrichtlinie von 50 Milligramm pro Liter überschreiten (Oelmann, Czichy, Scheele, Zaun, & al., 2017). Im April 2016 hat die Europäische Kommission Deutschland deshalb beim Gerichtshof der EU verklagt

(EU-Kommission, 2016) und über zwei Jahre später vom EuGH Recht bekommen (EuGH, 2018). Die Wasserversorger in manchen Regionen Deutschlands müssten technisch deutlich nachrüsten, um den Nitratgehalt im Trinkwasser zu senken. Das wäre jedoch teuer: Eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes spricht von Mehrkosten zwischen 580 und 767 Millionen Euro pro Jahr, die auf die Gebührenzahler umgelegt werden müssten (Oelmann, Czichy, Scheele, Zaun, & al., 2017, S. 29). Das Umweltbundesamt warnt, dass in diesem Fall die Kosten für die Trinkwasseraufbereitung in manchen Regionen um bis zu 45 Prozent steigen könnten (UBA, 2017). Eine vierköpfige Familie müsste demnach bis zu 134 Euro mehr im Jahr für sauberes Trinkwasser bezahlen.

Eine solche Mehrbelastung für die Bevölkerung wäre nicht verursachergerecht. Die Bundesregierung versucht daher mit verschiedenen Maßnahmen, die Nitratbelastung des Grundwassers zu verringern, damit der europäische Nitratgrenzwert in Deutschland flächendeckend eingehalten wird. Zu den Maßnahmen zählen insbesondere die Novelle des Düngerechts und der Klärschlammverordnung.

Welche Anforderungen gelten künftig für die Klärschlamm-entsorgung?

Für die Klärschlamm-entsorgung sind zwei Verordnungen besonders wichtig: Die Klärschlammverordnung und die Düngemittelverordnung. Die Klärschlammverordnung regelt die Entsorgung des Klärschlammes, während die Düngemittelverordnung bestimmt, unter welchen Bedingungen Klärschlamm als Dünger genutzt werden darf. Solange der Klärschlamm also entsorgt werden muss, ist die Klärschlammverordnung maßgeblich. Ist die landwirtschaftliche Verwertung für einen bestimmten Klärschlamm nach der Klärschlammverordnung grundsätzlich möglich, heißt das allerdings noch nicht, dass

er tatsächlich als Düngemittel verwendet werden darf. Denn als zweite Hürde muss der Klärschlamm die Bedingungen der Düngemittelverordnung erfüllen.

Klärschlammverordnung

Mit der im Sommer 2017 verabschiedeten Novelle der Klärschlammverordnung hat die Bundesregierung einen wichtigen Schritt unternommen, um Anreize für eine Phosphorrückgewinnung zu setzen, die über einen direkten landwirtschaftlichen Einsatz des Klärschlammes hinausgeht. Die Verordnung hat das Ziel, die direkte Verwertung von Klärschlamm in der Landwirtschaft zu reduzieren (AbfklärV, 2017). Betroffen sind insbesondere die Betreiber der größeren Kläranlagen mit einer Ausbaustufe von mindestens 50.000 Einwohnerwerten (EW). Wie Abbildung 1 zu entnehmen ist, behandeln diese Anlagen der Größenklassen 4b und 5 etwa zwei Drittel des in Deutschland anfallenden Abwassers. Der überwiegende Teil des zu entsorgenden Klärschlammes unterliegt also künftig einer Pflicht zur Phosphorrückgewinnung und darf nicht mehr direkt landwirtschaftlich verwertet werden. Damit einher geht faktisch eine Pflicht zur thermischen Behandlung des Klärschlammes.

Der Gesetzgeber hat den Kläranlagen-Betreibern großzügige Übergangsfristen eingeräumt. So haben Anlagen mit mehr als 100.000 EW zwölf Jahre Zeit, die neuen Vorgaben zur Phosphorrückgewinnung umzusetzen. Für Abwasserbehandlungsanlagen mit einer Ausbaugröße zwischen 50.000 und 100.000 EW gilt eine Übergangszeit von 15 Jahren. Für die Klärschlämme aus kleineren Anlagen gelten diese neuen Regeln nicht: Sie dürfen auch nach der neuen Klärschlammverordnung auf die Äcker gelangen.

Die neue Klärschlammverordnung ist hinsichtlich der Rückgewinnung des Phosphors grundsätzlich technologieneutral ausgelegt. Das bedeutet, der Gesetzgeber bevorzugt keine bestimmte Technik bei der Rückgewinnung. Es ist ihm auch egal, ob der Phosphor vor oder nach der Verbrennung zurückgewonnen wird. Soll der Stoff vor der Verbrennung aus dem Klärschlamm zurückgewonnen werden, muss dessen Phosphorgehalt um mindestens 50 Prozent oder auf weniger als 20 Gramm je Kilogramm Trockenmasse reduziert werden. Anschließend darf der Klärschlamm wie bislang in Kohle-

kraftwerken, Zementwerken oder in konventionellen Müllverbrennungsanlagen mitverbrannt werden.

Für ein nachträgliches Phosphor-Recycling muss die thermische Verwertung in einer so genannten Mono-Verbrennungsanlage stattfinden, in der ausschließlich Klärschlämme eingesetzt werden. Nur so lässt sich später der Phosphor aus der Asche zurückgewinnen. Bei einer Mitverbrennung in Kohlekraftwerken oder Müllverbrennungsanlagen ist das technisch nicht möglich. Nach der neuen Klärschlammverordnung muss der Kläranlagenbetreiber, der sich für die Monoverbrennung entscheidet, mindestens 80 Prozent des ursprünglichen Phosphorgehalts aus der Asche zurückgewinnen.

Darüber hinaus gilt der in einer Mono-Verbrennungsanlage behandelte Klärschlamm nach der neuen Klärschlammverordnung nicht mehr als solcher. Vielmehr endet die Klärschlamm- und damit auch die Abfalleigenschaft, sobald im Zuge einer thermischen Verwertung die stofftypischen organischen Verbindungen zerstört werden. Das hat weitreichende Folgen: denn mit dem Status als Produkt sind die mittels Monoverbrennung und anschließendem Phosphorrecycling hergestellten Düngemittel im europäischen Binnenmarkt und darüber hinaus frei handelbar.

Düngemittelverordnung

Darf ein Klärschlamm auch nach der neuen Klärschlammverordnung grundsätzlich landwirtschaftlich verwertet werden – beispielsweise weil er in einer kleineren Kläranlage der Größenklassen 1 bis 3 anfällt – muss er als zweite Hürde die Bestimmungen der Düngemittelverordnung erfüllen, um als Dünger auf dem Acker verstreut werden zu dürfen.

Im Frühjahr 2017 hatte der Bundesrat der neuen Düngemittelverordnung zugestimmt. Sie schränkt den Einsatz von Düngemitteln ab 2019 erheblich ein, wenn diese synthetische Polymere enthalten. Sie dürfen nur noch so angewendet werden, dass die auf einer Fläche aufgebrachte Menge an synthetischen Polymeren 45 Kilogramm Wirksubstanz je Hektar innerhalb von drei Jahren nicht überschreitet (DüMV, Anlage 2, Tabelle 8.1.3). Diese Vorschrift betrifft insbesondere Klärschlamm der landwirtschaftlich verwertet werden soll, weil synthetische Polymere häufig bei der Abwasserbehandlung als Flockungsmittel eingesetzt werden.⁴ Darüber hinaus unterliegen Klärschlämme mit synthetischen Polymeren einer Kennzeichnungspflicht.

Bereits bei einer vorherigen Novelle der Düngemittelverordnung im Jahr 2015 hatten Bundesregierung, Bundestag und Bundesrat die Anforderungen für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung verschärft. Damals hatte der Verordnungsgeber erheblich strengere Grenzwerte für die in den Düngemitteln zulässigen Fremdstoffe festgelegt. Bis dato galt, dass maximal 0,5 Gewichtsprozent Fremdstoffe mit über zwei Millimeter Siebdurchgang in Düngemitteln enthalten sein durften. Fortan wurde dieser Grenzwert für nicht abgebaute Kunststoffe auf 0,1 Gewichtsprozent in der Trockenmasse reduziert. Nicht verformbare Kunststoffe – also Hartplastik – dürfen seitdem noch zu 0,4 Prozent im Klärschlamm enthalten sein (Kehres, 2015).

Auch die Schwermetall-Grenzwerte für Klärschlämme wurden 2015 deutlich verschärft (Kehres, 2015). In der neuen Klärschlammverordnung wird hinsichtlich der Schwermetall-Grenzwerte auf die Düngemittelverordnung verwiesen. Die nachfolgende Tabelle vergleicht die Schwermetall-Grenzwerte in der alten Klärschlammverordnung und in der Düngemittelverordnung.

⁴ Als „Flockung“ bezeichnet die Wasserwirtschaft die Zusammenlagerung kleinster Schmutzpartikel im Abwasser zu größeren Einheiten, den „Flocken“.

Schwermetall-Grenzwerte

Schwermetall / Rechtsakt in mg/kg TM	Düngemittelverordnung	Klärschlammverordnung alt
Cadmium	1,5	10
Blei	150	900
Chrom	-	900
Kupfer	700	800
Quecksilber	1	8
Nickel	80	200
Zink	5.000	2.500

Tabelle 4: Schwermetall-Grenzwerte für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung (DüMV, 2017; AbfklärV, 2015)

Selbst wenn also ein Klärschlamm nach der Klärschlammverordnung stofflich – das heißt landwirtschaftlich – verwertet werden darf, heißt das nicht, dass ein landwirtschaftlicher Einsatz düngerechtlich zulässig ist. Werden beispielsweise die Schwermetall-Grenzwerte nicht eingehalten, bedarf der Klärschlamm zunächst einer weiteren Aufbereitung. In diesen Fällen kann es sein, dass die thermische Verwertung des Klärschlammes mit anschließender Phosphorrückgewinnung wirtschaftlich sinnvoller ist.

Wie kann man Phosphor zurückgewinnen?

Wissenschaft und Entsorgungswirtschaft haben in den vergangenen Jahren verschiedene Methoden zur Rückgewinnung von Phosphor entwickelt.

Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor

Wässrige Phase / Schlammwasser / Prozesswasser	Klärschlamm / Faulschlamm	Klärschlammasche
	Air Prex / MAP-Verfahren	AshDec (SUSAN)
	Aqua Reci	BioCon
Adsorptionsverfahren	Eisenbadreaktor (ATZ)	Bioleaching
Air Prex / MAP-Verfahren	CAMBI	Ecophos
CSIR Wirbelbettreaktor	Elophos	Eisenbadreaktor (ATZ)
DHV Crystallactor	ExtraPhos (Budenheimer Verfahren)	Eberhard-Verfahren
Ebara	FIX-Phos	EPHOS
Ekobalans	Gifhorner-Verfahren	EuPhoRe
Kurita Festbett	KEMIKOND	Inocre
Magnetseparator	Kemira-KREPRO	Kubota
MAP Kristallisation Treviso	KREPRO	LEACHPHOS
Nachfällung / Flockungsfiltration	Leachphos / Zar	Mephrec (KRN)
NuReBas-Prozess	LOPROX	PARFORCE
NuReSys	MEPHREC	PASCH
Ostara PEARL™	NuReSys	PhosRec (Koop Schiefer)
Phosiedi	Peco	Pontes Pabuli
Phosnix	Phostrip	RECOPHOS (AT)
PHOSPHAQ	POPROX-Verfahren	RecoPhos (DE) / Seraplant
PHOSTRIP	PRISA	Rhenania
PRISA	PROXNAN	SEPHOS
P-RoC (Prophos)	Seaborne	SESAL(-Phos)
RECYPHOS	SESAL-Phos	TetraPhos
REPHOS	Stuttgarter Verfahren	Thermphos
RIM NUT Ionenaustauscher	Unitika-Phosnix	
Struvia	Pyrolyse / HTC-Verfahren	
Sydney Water Board Reactor		

Tabelle 5: Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor (Roskoch, Heidecke, 2018, S. 50)

Je nach gewähltem Verfahren unterscheidet sich das Rückgewinnungspotenzial für den Phosphor, wie die nachfolgende Tabelle zeigt:

Theoretische Rückgewinnungspotenziale (in Tonnen)

Abwasser (kommunal)	61.600
Klärschlamm (kommunal)	50.000
Klärschlammmasche	50.000

Tabelle 6: Theoretische Phosphor-Rückgewinnungspotenziale (Roskoch, Heidecke, 2018, S. 50)

Bei kommunalem Abwasser ist das Potenzial zur Rückgewinnung von Phosphor mit knapp 62.000 Tonnen theoretisch am Größten. Allerdings kann nur ein vergleichsweise geringer Teil des Phosphors in der Praxis tatsächlich direkt aus dem Abwasser zurückgewonnen werden. Bei den meisten Rückgewinnungsverfahren setzt das P-Recycling daher erst einige Verfahrensschritte später ein: wenn der Phosphor in konzentrierter Form im Faulschlamm oder in der Klärschlammmasche nach der Monoverbrennung vorliegt (Roskoch, Heidecke, 2018, S. 52). Die Rückgewinnung aus dem Klärschlamm oder der Klärschlammmasche funktioniert in der Praxis sehr gut.

Zur Rückgewinnung von Phosphor gibt es grundsätzlich vier Möglichkeiten:

Rückgewinnung aus dem Kläranlagenablauf

In diesem Fall wird auf eine Phosphorelimination während des Reinigungsprozesses verzichtet. Die Fällung findet stattdessen nach der eigentlichen Abwasserreinigung statt, also wenn das Wasser die Kläranlage verlässt und in die Gewässer zurückfließt. Der Vorteil dieser „Nachfällung“ ist, dass der Phosphor in pflanzenverfügbarer Form vorliegt. Allerdings liegt das Rückgewinnungspotenzial bezogen auf die Zulauffracht – also den im ungereinigten Abwasser enthaltenen Phosphor –

lediglich zwischen 15 und 50 Prozent (Pinnekamp, Montag, Gethke, Goebel, & Herbst, 2007, S. 76). Es ist bei diesem Verfahren daher nicht gewährleistet, dass die rechtlichen Vorgaben der Abwasser- und der neuen Klärschlammverordnung eingehalten werden.

Rückgewinnung aus den Schlammwässern bzw. Prozesswasser

Die Phosphorrückgewinnung aus Schlamm- oder Prozesswässern setzt vor einer Eindickung oder der Entwässerung ein. Auch hier liegt der Phosphor in gelöster Form vor und ist damit pflanzenverfügbar. Das Rückgewinnungspotenzial liegt jedoch bei nur etwa 45 Prozent, bezogen auf den im ungereinigten Abwasser enthaltenen Phosphor (Pinnekamp, Montag, Gethke, Goebel, & Herbst, 2007, S. 79). Deshalb ist dieses Verfahren eher von geringer Bedeutung (IAT; ISWA, 2014, S. 9).

Rückgewinnung aus Klärschlamm

Bei der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm hat sich insbesondere das nasschemische Verfahren mit dem Fällungsprodukt Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) als praktikabel erwiesen (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 41). Um die Pflanzenverfügbarkeit des MAP-Düngers zu gewährleisten, muss die Kläranlage den Phosphor allerdings in der Regel biologisch aus dem Abwasser eliminieren, was unter Umständen die Prozessstabilität gefährden kann. Nach der Stabilisierung im Faulturm gelangt der Schlamm in einen Reaktor, dem Magnesiumchlorid hinzugefügt wird. In Folge einer chemischen Reaktion wird der Phosphor aus dem Faulschlamm herausgelöst und MAP entsteht (BWB, 2013).

Problematisch an dem Verfahren ist ebenfalls die vergleichsweise geringe Rückgewinnungsquote. 40 bis maximal 70 Prozent des im Abwasser enthaltenen Phosphors lassen sich mit der MAP-Fällung zurückgewinnen (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 41).

Auch hier ist also nicht sichergestellt, dass die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden. Außerdem ist der Chemikalienaufwand hoch; damit verbunden sind vergleichsweise hohe Betriebskosten. Erschwerend kommt hinzu, dass weiterhin organische Schadstoffe und Schwermetalle in die Umwelt gelangen können. Wissenschaftler fanden im Eluat von MAP unter anderem polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie erhöhte Gehalte von Arsen, Kupfer und Nickel (Zwiener, Grathwohl, & Walz, 2014, S. 9).

Monoverbrennung und Klärschlammmasche

Bei der Monoverbrennung wird zunächst der Klärschlamm in einer eigenen Verbrennungslinie und ohne den Zusatz anderer Brennstoffe thermisch verwertet. Das ermöglicht es, den Phosphor anschließend aus den Verbrennungsrückständen zurückzugewinnen. Technisch hat sich dabei in den vergangenen Jahren die stationäre Wirbelschicht als das am besten geeignete Feuerungsverfahren durchgesetzt (Wiechmann, Dienemann, Kabbe, Brand, Vogel, & Roskosch, 2013, S. 28).

Bei der thermischen Behandlung werden die im Klärschlamm enthaltenen organischen Schadstoffe sicher zerstört. Denn Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen werden bei vergleichsweise hohen Temperaturen zwischen 850 und 950 Grad Celsius betrieben (Roskoch, Heidecke, 2018, S. 36). Der Phosphor lässt sich anschließend aus der Klärschlammmasche zurückgewinnen, beispielsweise mit Hilfe des nasschemischen Verfahrens. Damit ist es möglich, bis zu 90 Prozent des in der Asche enthaltenen Phosphors zurückzugewinnen. Die sehr gute Ausbeute ist einerseits auf die hohe Konzentration des Phosphors in der Asche und andererseits auf den überschaubaren Anteil an Verunreinigungen zurückzuführen.

Problematisch an der Monoverbrennung ist der relativ hohe Energieaufwand, der zu vergleichsweise hohen Betriebskosten führt. Diese Betriebskosten können jedoch dadurch gesenkt werden, dass die bei der thermischen Verwertung des Klärschlamm freigesetzte Energie genutzt wird. Darüber hinaus kann eine Entscheidung für eine Monoverbrennung hohe Investitionskosten nach sich ziehen. Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen gelten als Abfallverbrennungsanlagen und unterliegen damit der 17. BImSchV. Um die Grenzwerte

der 17. BImSchV einzuhalten, bedarf es einer modernen und teuren Rauchgasreinigungsanlage. Die Investitionskosten könnten an jenen Standorten gesenkt werden, an denen bereits Müllverbrennungsanlagen oder Ersatzbrennstoff-Kraftwerke existieren, weil bereits eine gut ausgebaute Infrastruktur vorhanden ist und von der Klärschlamm-Monoverbrennungsanlage mitbenutzt werden kann.

Zusammenfassung und Bewertung

Neue rechtliche Vorgaben erschweren die direkte landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm in Deutschland. Für den Gesetzgeber überwiegen inzwischen die negativen Aspekte dieser Form der stofflichen Verwertung. Denn Schadstoffe und Schwermetalle, die zuvor in aufwändigen Verfahren aus dem Abwasser gefiltert wurden, werden bei der landwirtschaftlichen Verwertung wieder großflächig in der Landschaft verteilt. Darüber hinaus erscheint es nicht sinnvoll, Arzneimittel, Krankheitserreger und Mikrokunststoffe über die Äcker zu streuen. Viele dieser Stoffe und Substanzen können seit einiger Zeit überhaupt erst im Wasser nachgewiesen werden, neuen analytischen Verfahren sei Dank. Wie sie in der Umwelt wirken, welche Wechselwirkungen bestehen und wie sich das auf die Nahrungskette und damit die Gesundheit der Bürgerinnen und Bürger auswirkt, wissen wir in vielen Fällen derzeit noch nicht. Die Forschung steht hier noch am Anfang. Allein vor dem Hintergrund des umweltpolitischen Vorsorgeprinzips war es daher aus unserer Sicht richtig, aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung auszusteigen.

Der Druck der EU, endlich die europäischen Nitratgrenzwerte einzuhalten, und die generelle Sorge um die Qualität des Grundwassers in Deutschland sorgten darüber hinaus für verschärfte Düngevorschriften, die in der Folge auch die Möglichkeiten einschränkten, Klärschlamm als Düngemittel zu nutzen. Die Prinzipien der Nachhaltigkeit und des Ressourcenschutzes gebieten es jedoch, den Klärschlamm so zu verbrennen, dass es technisch möglich ist, möglichst viel Phosphor zurückzugewinnen. Denn Phosphor ist ein lebensnotwendiges Element. Ohne ihn kann kein Leben auf der Erde existieren. Auch wenn die Rohphosphat-Reserven der Erde derzeit nicht knapp erscheinen: die Vorkommen sind sehr ungleich verteilt. Die größten Rohphosphat-Vorkommen gibt es in politisch und wirtschaftlich instabilen Regionen. Allein aus strategischen Gründen sollten Deutschland und die Europäische Union verstärkt auf heimische Phosphor-Quellen zurückgreifen.

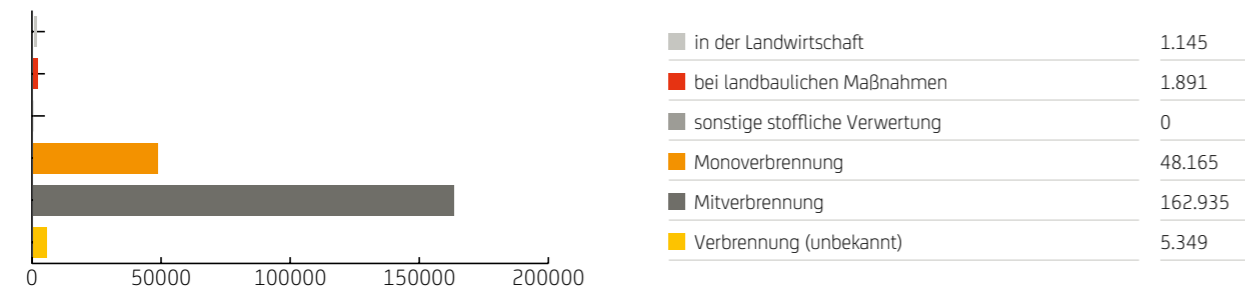
Klärschlamm ist eine solche heimische Phosphor-Quelle. Neue technische Verfahren ermöglichen es, den Phosphor zurückzugewinnen, ohne die negativen Eigenschaften der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung in Kauf nehmen zu müssen. Von allen Rückgewinnungsverfahren hat die Monoverbrennung des Klärschlammes mit anschließendem Phosphorrecycling aus unserer Sicht das größte Potenzial. Würde man den gesamten in Deutschland anfallenden Klärschlamm in Mono-Verbrennungsanlagen thermisch verwerten und anschließend den Phosphor aus der Asche zurückgewinnen, könnte damit fast die Hälfte des landwirtschaftlichen Bedarfs an mineralischem Phosphordünger in Deutschland gedeckt werden. Wissenschaftliche Untersuchungen haben darüber hinaus gezeigt, dass dieser Dünger aus Klärschlamm wesentlich reiner ist als Phosphordünger aus primären Quellen, weil er durch die thermische Behandlung des Klärschlammes weitgehend von Schadstoffen und Schwermetallen befreit ist. Mittel- bis langfristig würden also auch Ackerböden und die Trinkwasserreservoirs in Deutschland profitieren.

Die Monoverbrennung ist allerdings technisch aufwändig und teuer. Weil entsprechende Anlagen unter die 17. BImSchV fallen, müssen sie hinsichtlich der Schadstoffemissionen die Grenzwerte einhalten, die auch für andere Abfallverbrennungsanlagen gelten. Wirtschaftlich sinnvoll kann es daher sein, entsprechende Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen an existierenden MVA-Standorten zu errichten. Denn dadurch kann unter anderem die bereits vorhandene und gut ausgebaute Infrastruktur mitbenutzt werden. Außerdem verfügen MVA-Betreiber an ihren Standorten über gut ausgebildetes und im Bereich der thermischen Abfallbehandlung erfahrenes Personal.

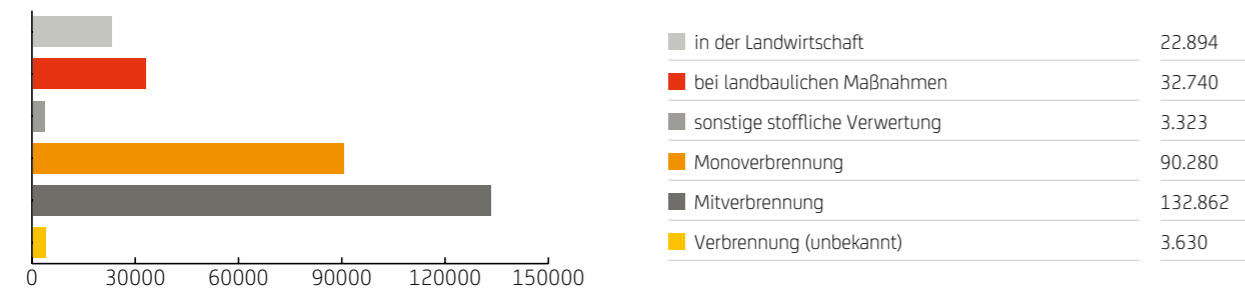
Klärschlammverwertung auf der Ebene der Bundesländer ¹

1 Quelle jeweils (Destatis)

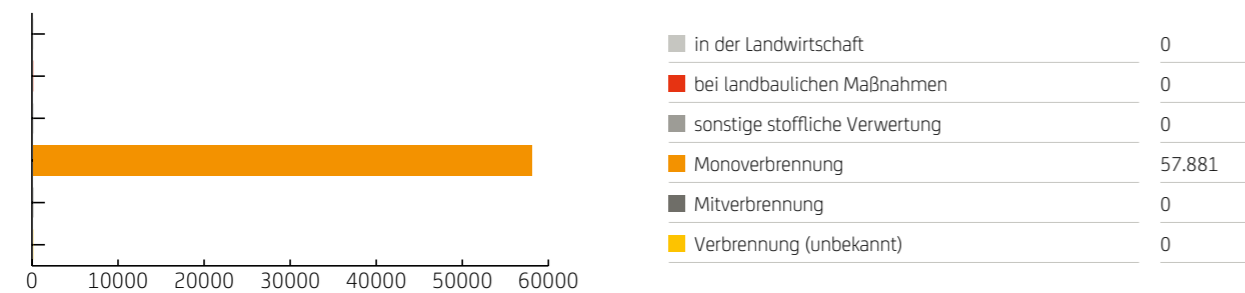
Klärschlammverwertung in Baden-Württemberg 2018 (in Tonnen)



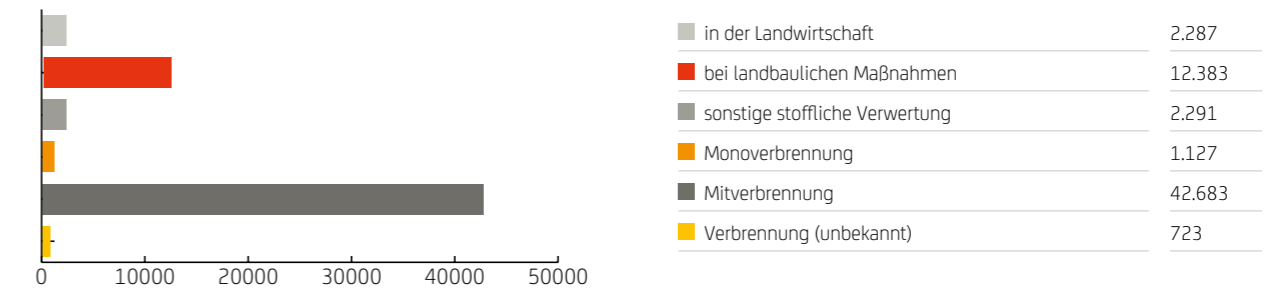
Klärschlammverwertung in Bayern 2018 (in Tonnen)



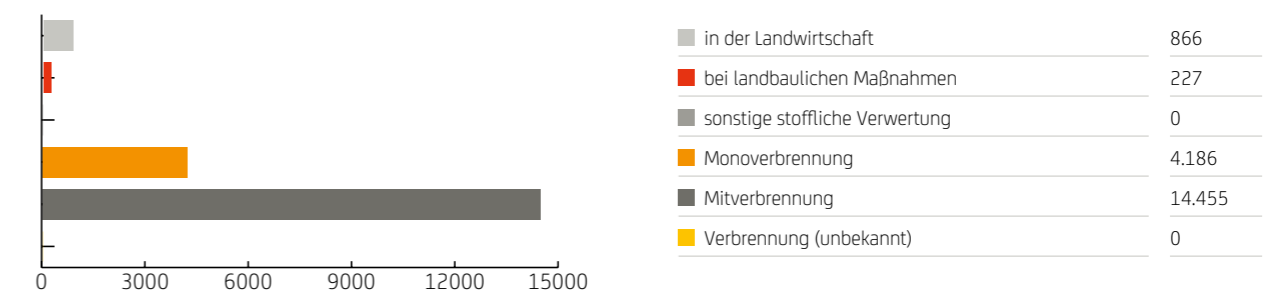
Klärschlammverwertung in Berlin 2018 (in Tonnen)



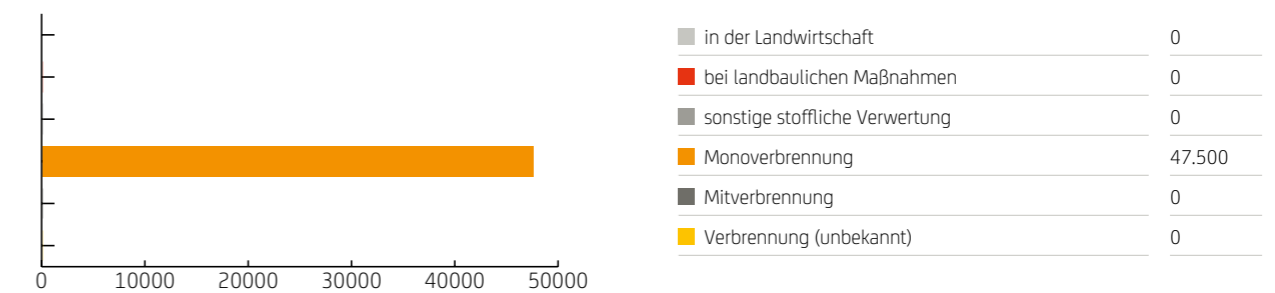
Klärschlammverwertung in Brandenburg 2018 (in Tonnen)



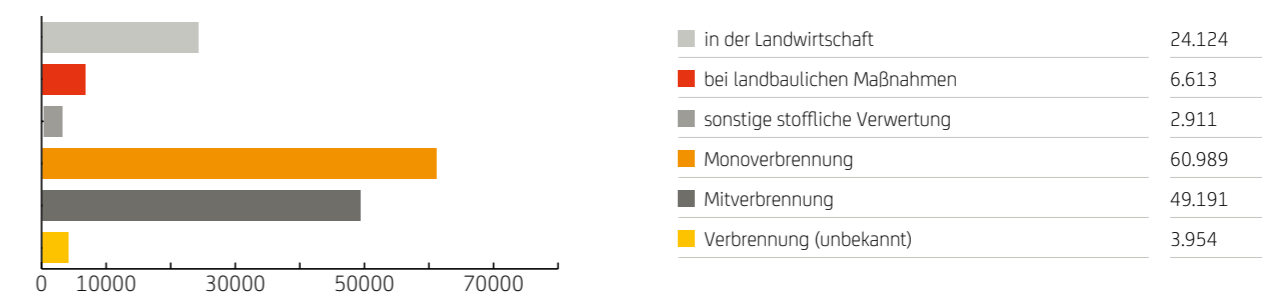
Klärschlammverwertung in Bremen 2018 (in Tonnen)



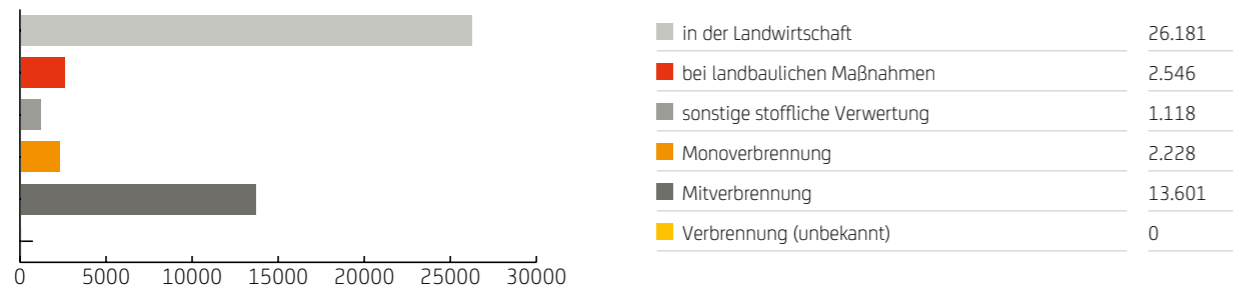
Klärschlammverwertung in Hamburg 2018 (in Tonnen)



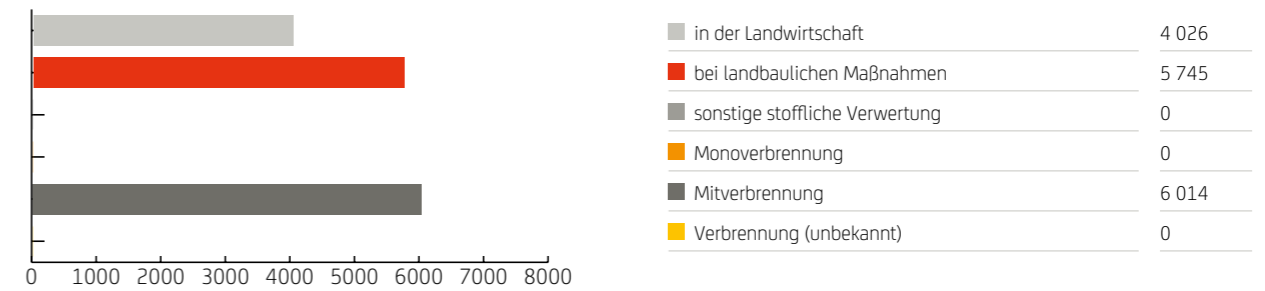
Klärschlammverwertung in Hessen 2018 (in Tonnen)



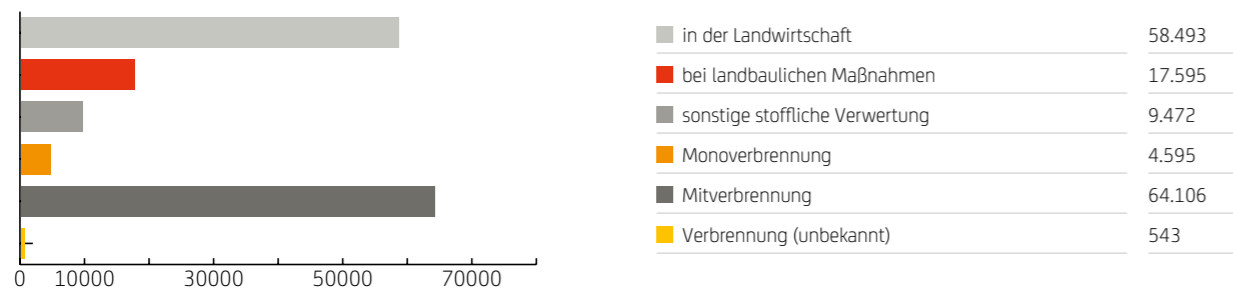
Klärschlammverwertung in Mecklenburg-Vorpommern 2018 (in Tonnen)



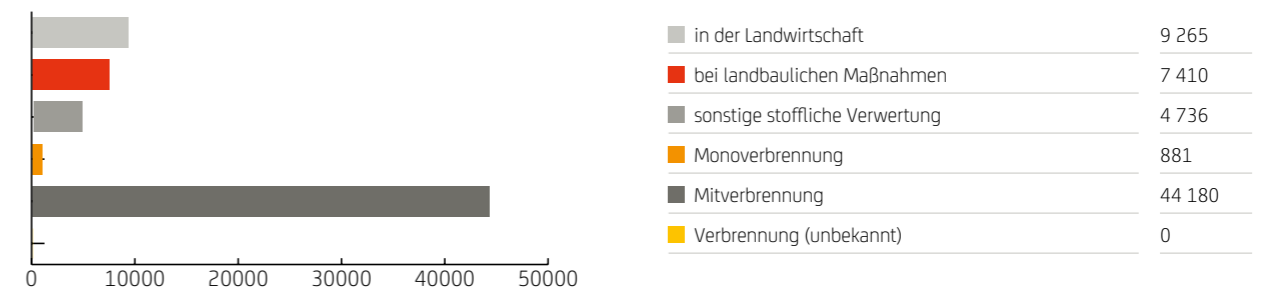
Klärschlammverwertung im Saarland 2018 (in Tonnen)



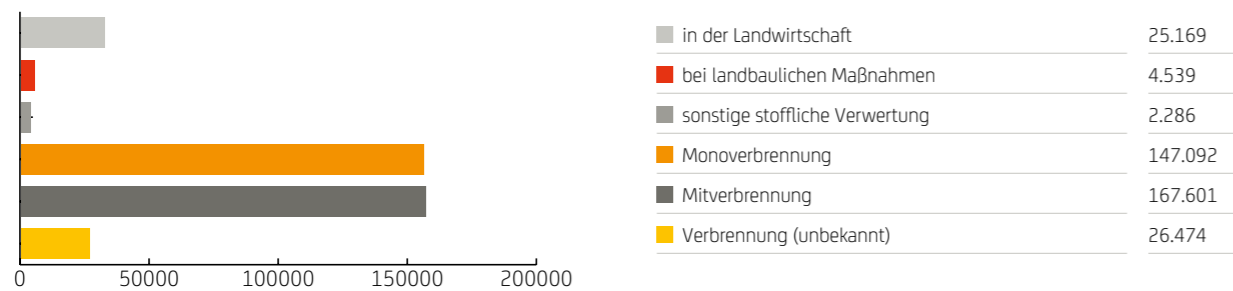
Klärschlammverwertung in Niedersachsen 2018 (in Tonnen)



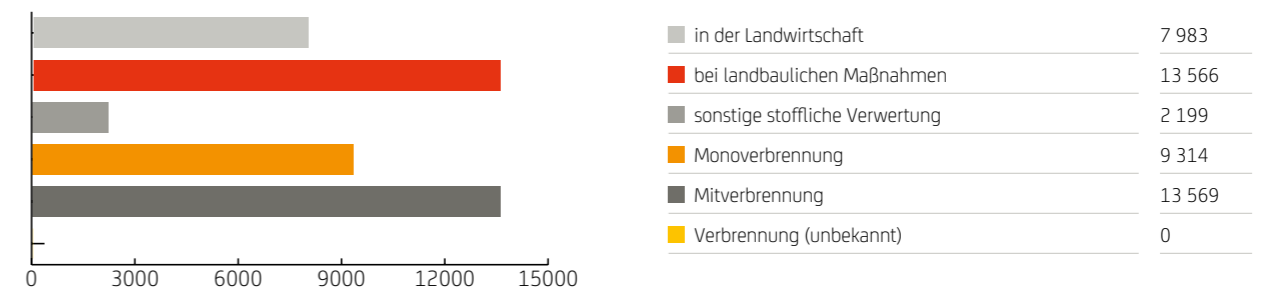
Klärschlammverwertung in Sachsen 2018 (in Tonnen)



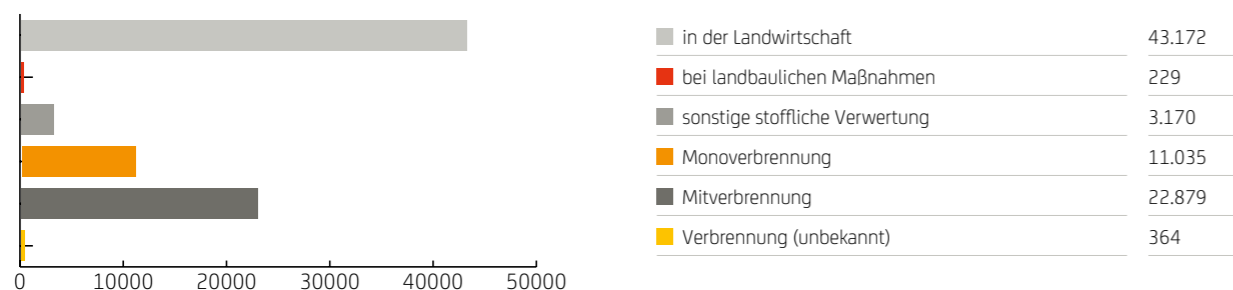
Klärschlammverwertung in Nordrhein-Westfalen 2018 (in Tonnen)



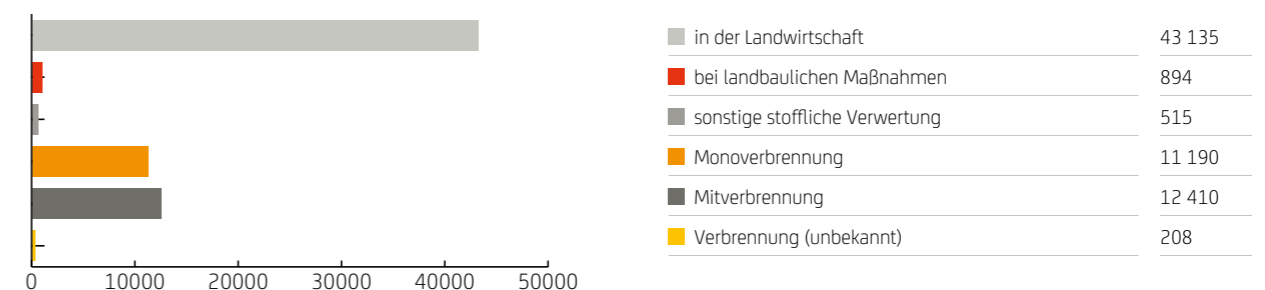
Klärschlammverwertung in Sachsen-Anhalt 2018 (in Tonnen)



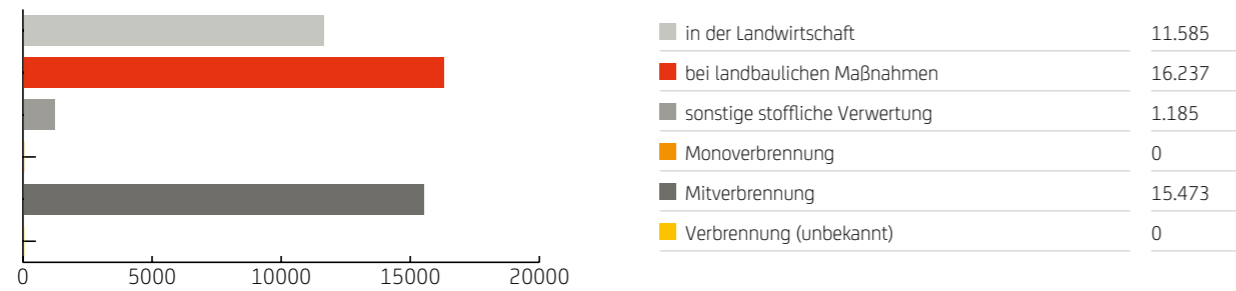
Klärschlammverwertung in Rheinland-Pfalz 2018 (in Tonnen)



Klärschlammverwertung in Schleswig-Holstein 2018 (in Tonnen)



Klärschlamm Entsorgung in Thüringen 2018 (in Tonnen)



Literaturverzeichnis

- AbfklärV. (31. 08. 2015). *Klärschlammverordnung (AbfklärV)*. Abgerufen am 15. 06. 2017 von Juris: <https://goo.gl/gTKTBU>
- AbfklärV-E. (02. 10. 2017). *Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung*. in: *BGBI. I, Nr. 65, S. 3.465-3.512*, abgerufen am 05. 07. 2018 von BgBl.: <http://bit.ly/2zcd05s>
- AbwV, Anhang 1. (29. 03. 2017). *Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV)*. Abgerufen am 16. 06. 2017 von Juris: <https://goo.gl/EAzxKr>
- BBodSchV Anhang 2. (31. 08. 2015). *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) Anhang 2*. Abgerufen am 15. 06. 2017 von Juris: <https://goo.gl/WJhIB2>
- Bergmann, A., Fohrmann, R., & Weber, F.-A. (2011). *Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln*. (Umweltbundesamt, Hrsg.) Dessau-Roßlau.
- Bergs, C.-G. (26.09.2012). *Perspektiven der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung und des Phosphatrecyclings aus Sicht des Bundes, Berlin*.
- BGR. (07. 2014). *Phosphat. Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe*. Abgerufen am 03. 06. 2017 von Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: <https://goo.gl/4990Is>
- BlfU. (kein Datum). *Organische Schadstoffe*. Abgerufen am 09. 06. 2017 von Bayerisches Landesamt für Umwelt: <https://goo.gl/CNyiz1>
- BMLFUW. (02. 04. 2012). *Wie funktioniert eine Kläranlage?* Abgerufen am 16. 06. 2017 von Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: <https://goo.gl/Bj4FWW>
- BMLFUW a. (29. 07. 2015). *Abwasserkennzahlen*. Abgerufen am 19. 06. 2017 von Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: <https://goo.gl/CmpNJZ>
- Brandt, S. (2011). *Nutzung von Klärschlamm als Rohstoffquelle- Aktueller Stand in Deutschland und in der Europäischen Union sowie Perspektiven für die Zukunft. Masterarbeit ZQS Studiengang Umweltschutz, Universität Rostock*.
- BWB. (09. 01. 2013). *Rohstoff-Recycling. Verfahren zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm zu Düngemitteln*. Abgerufen am 17. 06. 2017 von Berliner Wasserbetriebe: <https://goo.gl/6ZvV3i>
- Destatis. (12.12.2019). *Wasserwirtschaft: Klärschlamm Entsorgung aus der öffentlichen Abwasserbehandlung 2017*. Abgerufen am 30.01.2020 von Statistisches Bundesamt: <http://bit.ly/2uOrjq0>
- Destatis. (2020). *Entwicklung der verschiedenen Entsorgungswege in Deutschland, Daten basierend auf* <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=1&step=0&titel=Tabellenaufbau&levelid=1584627343573&levelid=1584627255083#abreadcrumb>

- DüMV (26. 05. 2017). *Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV)* Abgerufen am 18. 04. 2019 von Juris: <http://bit.ly/2ZlfBhm>
- DüMV, Anlage 2, Tabelle 8.1.3. (kein Datum). *Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV)*. Von Juris: <https://goo.gl/OuptS3> abgerufen
- Durth, A., & Kolvenbach, F.-J. (2014). *Abwasser und Klärschlamm in Deutschland - statistische Betrachtungen*. Von Destatis: <https://goo.gl/suU7aN> abgerufen
- Ertl, S. (30. 08. 2016). *Kunststoffe im Alltag – Gründe für einen bewussten Umgang*. Abgerufen am 12. 06. 2017 von Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz: <https://goo.gl/kpPnhe>
- EuGH (2018). *Rechtssache C-543/16*. Abgerufen am 05. 07. 2018 von EuGH: <http://bit.ly/2zaSzkG>
- EU-Kommission. (28. 04. 2016). *Nitratbelastung in Gewässern: EU-Kommission verklagt Deutschland*. Abgerufen am 12. 06. 2017 von Europäische Kommission. Vertretung in Deutschland: <https://goo.gl/zSHH9G>
- EUWID 24/2017. (13. 06. 2017). *Entsorgungsmarkt für gewerbliche Siedlungsabfälle*. (24/2017).
- Goldbach, H., Eichert, T., Leers, K., & al., e. (15. 06. 2016). *Pflanzenverfügbarkeit von P aus Klärschlammaschen*. Abgerufen am 16. 06. 2017 von Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: <https://goo.gl/TH8rgZ>
- Heinzow, B., & al., e. (1994). Umweltmedizinische Problemstellungen in ausgewählten Beispielen und Kasuistiken. In A. Beyer, & D. (. Eis, *Praktische Umweltmedizin. Klinik, Methoden, Arbeitshilfen* (S. 7-68). Berlin, Heidelberg.
- IAT; ISWA. (2014). *Klärwerk Göppingen. Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm. Machbarkeitsstudie*. Abgerufen am 16. 06. 2017 von Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), Landesverband Baden-Württemberg: <https://goo.gl/kVC3HP>
- IfAU. (kein Datum). *Schwermetalle im Trinkwasser*. Abgerufen am 09. 06. 2017 von Institut für Angewandte Umweltforschung e.V.: <https://goo.gl/dfl8kX>
- Janning, M. (28. 04. 2016). *EHEC – die vergessene Gefahr*. Abgerufen am 12. 06. 2017 von Das Erste: <https://goo.gl/iuSsh5>
- Kehres, B. (2015). *Änderung der Düngemittelverordnung, in: H&K aktuell 06/2015*. Abgerufen am 14. 06. 2017 von Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK): <https://goo.gl/oGVslb>
- Killliches, F. (10. 2013). *Phosphat. Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit*. Abgerufen am 11. 11. 2017 von Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR): <https://goo.gl/TwWe8a>
- Mintenig, S., Int-Veen, I., Löder, M., & Gerdt, G. (2014). *Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch- Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen. Abschlussbericht*. Helgoland.

- NLWKN. (01. 06. 2017). *Neue Studie: Kläranlagen bremsen Mikrofasern aus*. Abgerufen am 12. 06. 2017 von Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz: <https://goo.gl/G0vKSP>
- Oelmann, M., Czichy, C., Scheele, U., Zaun, S., & al., e. (04. 2017). *Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung*. Abgerufen am 12. 06. 2017 von Umweltbundesamt: <https://goo.gl/sAhZOE>
- Paul, M. (2014). *Die Mantelverordnung. Überblick und Herausforderungen*. In: Heußen, Michael; Motz Heribert (Hrsg.): *Schlacken aus der Metallurgie, Band 3. Chancen für Wirtschaft und Umwelt*. Berlin.
- Peters, W. (27. 02. 2015). *Ohne geht es nicht - Warum Phosphor so unersetzlich ist*. Abgerufen am 02. 06. 2017 von Scinexx: <https://goo.gl/LpxcO9>
- Pinnekamp, J., Montag, D., Gethke, K., Goebel, S., & Herbst, H. (2007). *Rückgewinnung eines schadstofffreien, mineralischen Kombinationsdüngers „Magnesiumammoniumphosphat – MAP“ aus Abwasser und Klärschlamm*. (Umweltbundesamt, Hrsg.) Von Umweltbundesamt: <https://goo.gl/MCvftb> abgerufen
- Rigos, A. (03. 2004). *Hightech auf unserer Haut*. Abgerufen am 12. 06. 2017 von Greenpeace Magazin: <https://goo.gl/dhV3CG>
- Roskoch, A.; Heidecke, P. (2018). Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, hrsg. v. Umweltbundesamt. Von Umweltbundesamt <http://bit.ly/2NqW5um> abgerufen am 25.02.2019.
- Römer, W., Gründel, M., & Güthoff, F. (2010). U-238, U-235, Th-232 und Ra-226 in einigen ausgewählten Rohphosphaten, Phosphatdüngern, Boden- sowie Pflanzenproben aus einem P-Düngungsversuch. *Journal für Kulturpflanzen*, 62 (6), S. 200-210, online unter: <https://goo.gl/2LDcbv> (besucht am 11. 11. 2017).
- UBA a. (10. 08. 2010). *Eutrophierung: Was bedeutet das?* Abgerufen am 02. 06. 2017 von Umweltbundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/eutrophierung>
- UBA b. (09. 06. 2017). *Zu viel Dünger: Trinkwasser könnte teurer werden. Preissteigerung bis zu 45 Prozent erwartet*. Abgerufen am 12. 06. 2017 von Umweltbundesamt: <https://goo.gl/yxelQb>
- Verordnung (EG) Nr. 889/2008. (18. 09. 2008). *Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle*. Abgerufen am 09. 06. 2017 von EUR-Lex: <https://goo.gl/DtFtMB>
- Wiechmann, B., Dienemann, C., Kabbe, C., Brand, S., Vogel, I., & Roskosch, A. (2013). *Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland*, hrsg. v. Umweltbundesamt. Von Umweltbundesamt: <https://goo.gl/1auRdm> abgerufen
- Zwiener, C., Grathwohl, P., & Walz, A. (2014). *Abschlussbericht zum Projekt „Schadstoff-Screening in Klärschlamm“*. Von Umweltministerium Baden-Württemberg: <https://goo.gl/hp7SDw> abgerufen

Weitere Fragen?

T 05351 18-0
F 05351 18-2522
M presse@eew-energyfromwaste.com

Herausgeber

Vi.S.d.P. Peter Werz, Leiter Marketing und Kommunikation
EEW Energy from Waste GmbH
Schöninger Straße 2 - 3, 38350 Helmstedt



eew

Energy from Waste

www.eew-energyfromwaste.com