Olaf Holm
Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Peter Quicker
Stefan Kopp-Assenmacher

Verwertung von Klärschlamm



Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky
Peter Quicker • Stefan Kopp-Assenmacher

Verwertung von Klärschlamm

TK

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.dnb.de abrufbar

Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,
Peter Quicker, Stefan Kopp-Assenmacher (Hrsg.):

Verwertung von Klärschlamm

ISBN 978-3-944310-43-5 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Olaf Holm
Alle Rechte vorbehalten

Verlag:	Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2018
Redaktion und Lektorat:	Dr.-Ing. Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout:	Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Roland Richter, Sarah Pietsch, Cordula Müller, Gabi Spiegel
Druck:	Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Vorwort

Das Jahr 2017 wird von vielen Marktteilnehmern als Startpunkt eines neuen Abschnittes in der Behandlung und Verwertung von Klärschlämmen in Deutschland gesehen. Der Begriff *Klärschlammverwertungswende* kursiert in den Fachkreisen und ist angesichts des Ausmaßes der teils bereits wirksamen und der teils festgeschriebenen aber noch mit Übergangsfristen belegten gesetzlichen Rahmenbedingungen durchaus berechtigt.

Wie bei Veränderungen gemeinhin üblich, wird es dabei Gewinner und Verlierer geben. Dennoch wären aufgrund der Komplexität der unterschiedlichen, betroffenen Aspekte seitens der Politik ganzheitlichere Ansätze wünschenswert (gewesen). In diesem Zusammenhang ist die zukünftig größtenteils verpflichtende Phosphorrückgewinnung zu nennen, die bis hin zum Produkt gedacht werden müsste. Die Realisierung von derartigen ressortübergreifenden Ansätzen führt im Föderalismus jedoch nicht selten zu einer gewissen Lähmung in der Fortschreibung der relevanten Rahmenbedingungen, was ebenfalls nicht wirklich erwünscht oder innovationsfördernd ist. Gegenüber vergleichbar komplexen Vorhaben wie der Mantelverordnung, die im Wesentlichen die Einführung einer längst überfälligen bundeseinheitlichen Ersatzbaustoffverordnung zum Ziel hat, ist für die Klärschlammverwertung nun Klarheit geschaffen worden. Rechtssicherheit ist in diesem Kontext dennoch ein vager Begriff, da neben den vorhandenen Erfahrungen und den avisierbaren Herausforderungen ein nicht unwesentlicher Erfahrungsschatz erst bei der Umsetzung der nötigen Veränderungen aufgebaut werden wird.

Einhellige Meinung der Fachwelt ist, dass es langfristig zu einer Veränderung in der Art und Weise der Verwertung kommen wird und sich die Route der zentralisierten Monoklärschlammverbrennung als Hauptverwertungsweg mit anschließender Phosphorrückgewinnung aus den Aschen durchsetzen wird. Dahingehend ist beispielsweise die veränderte Wahrnehmung und Beteiligung der Öffentlichkeit bei Großprojekten, wie es die Errichtung von Verbrennungsanlagen sind, zu berücksichtigen.

Seitens der Politik wurde langfristig eine robuste Lösung zur Klärschlammentsorgungssicherheit geschaffen, die für den Nährstoff Phosphor mit einer gezielten Wertstoffrückgewinnung verknüpft ist. Klare und praktikable Vorgaben für den Vollzug der novellierten Klärschlammverordnung befinden sich in der Vorbereitung. Kurz- bis mittelfristig werden nach Ansicht vieler Experten dennoch regionale und temporäre Entsorgungsengpässe entstehen. Die neuen düngerechtlichen Vorgaben haben die traditionelle stoffliche Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft bereits jetzt akut beeinflusst und zu stark angestiegenen Marktpreisen geführt.

Klärschlammerzeuger und Entsorgungsunternehmen müssen daher nun schnell umsetzbare und ökonomische Zwischenlösungen finden. Dabei spielt unter Umständen auch das Thema Zwischenlager von Schlämmen oder Aschen eine relevante Rolle. Vor dem Hintergrund, dass Klärschlammerzeuger oder -entsorger in der Regel weder mit deponie-, dünge- oder chemikalienrechtlichen Anforderungen vertraut sind, noch das Know-how zur Errichtung der benötigten infrastrukturellen Maßnahmen haben, eröffnet sich ein breit gefächerter Markt. Es bieten sich diverse Kooperations- und Umsetzungsmöglichkeiten, die ihrerseits wieder rechtliche Fragestellungen aufwerfen. Vermutlich wird es viele individuelle *Beste Lösungen* geben oder zumindest werden sie derart propagiert werden.

Vor dem Hintergrund einer hinsichtlich Spezifikation (Größe, Ausbaustufen) und Umfeld (urban, ländlich, lokale Verwertungsmöglichkeiten) der Kläranlagen äußerst heterogenen Branche stellt sich für viele Betreiber die Frage nach sinnvollen technischen Lösungen und wirtschaftlich passenden Konzepten. Diverse Verfahrensansätze zur Phosphorrückgewinnung direkt aus dem Abwasser, den unterschiedlich aufbereiteten Klärschlämmen oder indirekt aus den Rückständen einer thermischen Behandlung befinden sich in unterschiedlichsten Entwicklungsstadien.

Das Ziel sowohl der ersten Berliner Klärschlammkonferenz sowie dieses assoziierten Fachbuches ist es, einen Überblick zu den relevanten Informationen zur veränderten Rechtslage und zu aktuellen Verfahrensansätzen und Praxiserfahrungen der Klärschlammverwertung zu geben. Die neu initiierte und jährlich stattfindende Konferenz-reihe *Berliner Klärschlammkonferenz* wird die Tradition der anderen Berliner Konferenzen aus dem Bereich der Umwelttechnik und Abfallwirtschaft aufgreifen und dabei jeweils den Stand zu den oben genannten Entwicklungen in Wort und Schrift dokumentieren.

Dr.-Ing. Olaf Holm

Inhaltsverzeichnis

Rechtliche Rahmenbedingungen

Nach der Verabschiedung der novellierten AbfKlärV: Einblicke in den Erwartungshorizont des BMU – Umsetzung der Vorgaben und Vollzugsfragen
Hans-Peter Ewens 3

Vollzug der Klärschlammverordnung
Hans-Walter Schneichel 11

Novellierte Verordnungen für die Klärschlammverwertung – Politische Ambitionen versus betrieblicher Herausforderungen
Christian Kabbe 17

Rechtliche Rahmenbedingungen der Klärschlammentsorgung
Daniel Schiebold 31

Genehmigungsrechtliche Aspekte der Klärschlammverbrennung und Phosphorrückgewinnung
Gregor Franßen 45

Transparenz und Öffentlichkeitsbeteiligung im Genehmigungsverfahren von neuen Klärschlammverbrennungsanlagen
Stefan Kopp-Assenmacher 67

Kooperationsmöglichkeiten zwischen wasserwirtschaftlichen Betrieben – Gestaltungsmöglichkeiten bei der Phosphorrückgewinnung
Till Elgeti, Bastian Hensel und Nadine Micus-Zurheide 71

Genehmigungsrechtliche Aspekte für die thermische Klärschlammverwertung am Standort Halle-Lochau
Harald Plank, Sonja Wiesgickl und Thomas Roitzsch 79

Strategien und Kooperationen

Positionen und Aktivitäten der DWA zur zukünftigen Klärschlammverwertung
Matthias Barjenbruch und Karin Schulz 97

Die Klärschlammverwertungsanlage der KKMV in der Hansestadt Rostock
Ulrich Jacobs 111

Technische Grundlagen

Beispiel einer zukunftsorientierten kommunalen Abwasserreinigung
Erwin Schäfer 121

Thermische Verwertung von Klärschlamm
– Überblick und Einordnung bestehender Verfahren
Matthias Schnell, Thomas Horst und Peter Quicker 131

Verfahren zu Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm
Christian Adam 165

Klärschlammverbrennung

Drei Jahre erfolgreicher Betrieb der Klärschlammverwertungsanlage Zürich
Ralf Decker und Susanne Niermann 189

Revitalisierung eines alten Industriestandortes durch Erweiterung
mit einer Klärschlammmonoverbrennungslinie
Thomas Obermeier und Sarah Endres 209

Mehrstufiges Wirbelschichtverfahren zur Mono-Klärschlammverbrennung
am Beispiel Mainz
Matthias Mann 217

Klärschlammverwertung der Berliner Wasserbetriebe
– Konzept und Anlagenprojektierung
Thomas H. Siepmann 225

Konzepte Klärschlammverbrennung
– Beispiele im schweizerischen und dänischen Kontext
Stephan Bhend, Arnaud Gilliéron und Martin Brunner 249

Zukünftige Klärschlammverbrennung der Stadtentwässerung Frankfurt am Main
Susanne Schmid 259

Erweiterung eines Kraftwerksbestands um eine Klärschlammverwertungsanlage am Beispiel der MVA Bonn
Frank Hagstotz 273

Gewinnbringende Symbiose – Nutzung von Synergieeffekten bei der Realisierung einer Klärschlammverbrennungsanlage im Umfeld thermischer Anlagen
Michael Nolte und Peter Unger 287

Abgasreinigung und Brüdenbehandlung

Klärschlammverbrennung und -mitverbrennung – Übersicht zu den Anforderungen und Voraussetzungen an die Abgasreinigung
Rudi Karpf 305

Konzepte für die Rauchgasreinigung nach Monoklärschlammverbrennung – worauf muss man achten?
Dirk Band 327

Brüdenkondensat – ein vernachlässigtes Problem?
Margit Löschau und Timo Pittmann 343

Phosphorrückgewinnung

Phosphor: Rückgewinnung um jeden Preis? Antworten in Deutschland und der EU
Daniel Frank 363

Konzepte eines großen Klärschlammerzeugers aus NRW zur Phosphorrückgewinnung: Erste Erkenntnisse aus dem INTERREG Verbundprojekt *Phos4You*
Dennis Blöhse, Marie-Edith Ploteau, Karl-Georg Schmelz und Issa Nafo 373

Pflanzenverfügbarkeit und agronomische Effizienz von klärschlammbasierten Phosphor (P)-Recyclingdüngern
Sylvia Kratz, Christian Adam und Christian Vogel 391

Aktuelle Entwicklungen der Phosphorrückgewinnung: Was macht die Schweiz?
Martin Theiler, Christian Fux, Michael Wächter und Thomas Vollmeier 409

Phosphorrückgewinnung – Geeignete Verfahren hinsichtlich der neuen Anforderungen
Rudolf Bogner und Bernhard Ortwein 419

Regenerative Phosphor-Schmelzkonversion von Klärschlamm der Region Nürnberg
Burkard Hagspiel 427

Das ExtraPhos® Verfahren zur optimalen Klärschlammverwertung
Rainer Schnee 445

Möglichkeiten der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm mit dem MSE-Verfahren – Betriebsergebnisse aus Großversuchen
Rudolf Turek und Martin Bouché 451

Das Braunschweiger Modell der Abwasserwiederverwertung unter besonderer Beachtung des Pflanzennährstoffs Phosphor
Bernhard Teiser 461

TerraNova®Ultra-Verfahren zur Klärschlamm-Trocknung mit Phosphor-Rückgewinnung
Marc Buttmann 473

Thermo-chemische Klärschlammbehandlung nach dem EuPhoRe®-Verfahren Die perfekte Synergie im Verbund mit Feststoffkraftwerken
Siegfried Klose 481

Das REMONDIS TetraPhos®-Verfahren
Andreas Rak 491

Herstellung neuer Düngemittelausgangsstoffe durch thermochemische Behandlung von Klärschlammaschen
Hannes Herzel, Stefan Anton Kugler, Tanja Schaaf und Christian Adam 495

Ash2®Phos – Saubere Kommerzielle Phosphatprodukte aus Klärschlammasche
Yariv Cohen, Patrik Enfält und Christian Kabbe 513

Phosphatrecycling – Königsweg zu einer nachhaltigen Phosphorversorgung
Martin Bertau, Peter Fröhlich und Jürgen Eschment 519

Ökobilanzieller Vergleich der konventionellen P-Düngemittelproduktion aus Rohphosphat mit der Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasserpfad
Fabian Kraus, Malte Zamzow und Lea Conzelmann 535

Dank 553

Autorenverzeichnis 557

Inserentenverzeichnis 564

Schlagwortverzeichnis 569

Rechtliche Rahmenbedingungen



Wir widmen uns aktuellen verfahrens- und anlagentechnischen sowie politischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Themen, soweit sie die Abfall- und Kreislaufwirtschaft und die Energie- und Rohstoffwirtschaft betreffen. Unsere Aufgabe sehen wir in der Kommunikation zwischen Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Technik und Wissenschaft.

Zu wichtigen Themen veranstalten wir Konferenzen und Congresse – dazu geben wir Bücher heraus.

Stets sind wir auf der Suche nach interessanten Referenten, aktuellen Themen und spannenden Projekten um unser Angebot weiterzuentwickeln. Gern lassen wir uns von neuen Ideen inspirieren und diskutieren deren Realisierbarkeit.



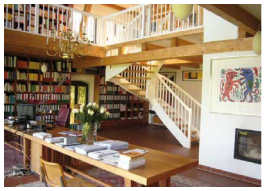
Wir geben seit vierzig Jahren Fachbücher zu zahlreichen Themen des technischen Umweltschutzes heraus:

- Thermische Abfallbehandlung & energetische Verwertung
- Dokumentation von Abfallverbrennungsanlagen
- MBA & Ersatzbrennstoffe
- Recycling & Rohstoffe
- Mineralische Nebenprodukte & Abfälle
- Strategie & Umweltrecht
- Immissionsschutz
- Biologische Abfallbehandlung...

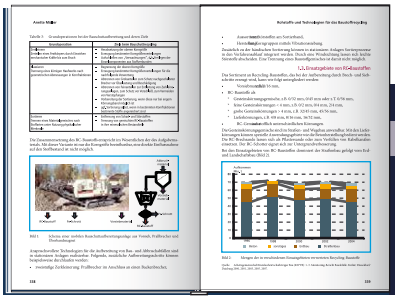
Unsere Konferenzen im Überblick:

- Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz
- Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz
- Berliner Konferenz Mineralische Nebenprodukte und Abfälle
- IRRC – Waste-to-Energy
- NEU: Berliner Klärschlammkonferenz (ab 2018)

Insgesamt sind bislang bei uns etwa zweitausend Fachbeiträge erschienen, die in ihrer Gesamtheit einen guten Überblick über technische, wirtschaftliche, rechtliche und politische Entwicklungen geben. Seit Kurzem stellen wir Ihnen einen großen Teil der Fachbeiträge kostenlos auf unserer Internetseite zur Verfügung.







TK Verlag GmbH
Dorfstraße 51
D-16816 Nietwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

Nach der Verabschiedung der novellierten AbfKlärV: Einblicke in den Erwartungshorizont des BMU – Umsetzung der Vorgaben und Vollzugsfragen

Hans-Peter Ewens

1. Ausgangslage 4

2. Zentrale Inhalte der novellierten Klärschlammverordnung 5

2.1. Verpflichtungen zur Phosphorrückgewinnung 5

2.2. Ausnahmen von den Rückgewinnungspflichten 6

2.3. Ökobilanzielle Aspekte und Kosten 6

2.4. Anforderungen an eine Qualitätssicherung 7

2.5. Abgrenzung zum Düngerecht und Einsatz von Polymeren 7

3. Phosphorrückgewinnungspotential bei anderen organischen Stoffströmen 8

4. Bodenbezogene Klärschlammverwertung noch eingeschränkt zulässig 9

5. Ausblick und Erwartungshorizont 9

6. Literatur 10

Obwohl die globalen Phosphorreserven (Rohphosphate) rechnerisch noch eine Reichweite von mehreren hundert Jahren aufweisen, wächst national und international die Sorge, es könne mittelfristig zu Engpässen bei der Versorgung mit Phosphor kommen. So hat die Europäische Kommission am 26. Mai 2014 eine Liste kritischer Rohstoffe vorgelegt, in der erstmals auch Phosphor (Phosphatgestein) enthalten ist. Bei mineralischem Phosphor ist sowohl Deutschland als auch nahezu die gesamte EU vollständig von Importen abhängig, die überwiegend aus politisch instabilen Regionen bezogen werden. Rechnerisch kann der insgesamt in kommunalen Klärschlämmen bzw. Abwässern enthaltene Phosphor immerhin 50 bis 60 % des Bedarfs der Landwirtschaft an Mineraldüngerphosphor decken.

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung die Neuordnung der Klärschlammverwertung eingeleitet, die mit Zustimmung des Bundeskabinetts, des Deutschen Bundestages und des Bundesrates am 3. Oktober 2017 in Kraft gesetzt wurde.

Die Novelle der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vollzieht eine Neuausrichtung der Klärschlammverwertung in Deutschland. Künftig wird die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlämmen integraler Bestandteil der Kreislaufwirtschaft. Zugleich wird die bisher praktizierte bodenbezogene Klärschlammverwertung deutlich eingeschränkt.

1. Ausgangslage

Im Dezember 2016 wurden durch das Statistische Bundesamt [1] die derzeit noch aktuellen Angaben zur Klärschlammentsorgung in Deutschland veröffentlicht. Demnach fielen im Kalenderjahr 2015 rund 1,8 Millionen Tonnen Klärschlamm (KS) – Trockensubstanz (TS) aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen an. Zur Nutzung der wertgebenden Inhaltsstoffe des Klärschlamms (Phosphor, Stickstoff, Spurenelemente sowie Humus bildende Kohlenstoffverbindungen) wurden nur noch rund 36 % der Klärschlämme in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau zur Pflanzenernährung und Bodenverbesserung genutzt. Im Jahr 2000 wurden noch rund 60 % der kommunalen Klärschlämme bodenbezogen verwertet.

Mit rund 1,1 Millionen Tonnen wurden demgegenüber 64 % der Klärschlämme nach einer thermischen Behandlung auf Deponien abgelagert oder als Aschen z.B. im Straßenbau oder Bergversatz stofflich verwertet. Damit hat sich der seit längerem zu beobachtende Trend hin zur thermischen Klärschlammbehandlung und weg von der bodenbezogenen Verwertung fortgesetzt. Die Zahlen lassen auch erkennen, dass der unmittelbare Einsatz von Klärschlämmen zu Düngezwecken allgemein weiter an Akzeptanz verliert, obwohl es durch Düngung mit Klärschlämmen bei Einhaltung der rechtlichen Vorgaben bislang nicht zu Schäden an Böden oder Feldfrüchten gekommen ist.

Die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung wird bekanntermaßen seit langem kontrovers diskutiert: Auslöser für Kritik waren zu Beginn die hohen Schwermetallgehalte. Aktuell sind es die Gehalte organischer Schadstoffe wie Arzneimittelrückstände und Kosmetika. Problematische Schadstoffe (Cadmium, Quecksilber, Dioxine; offensichtlich auch PFC) in Klärschlämmen konnten in den beiden vergangenen Jahrzehnten deutlich um bis 95 % reduziert werden.

Obwohl die globalen Phosphorreserven (Rohphosphate) rechnerisch noch eine Reichweite von mehreren hundert Jahren aufweisen, wächst national und international die Sorge, es könne mittelfristig zu Engpässen bei der Versorgung mit Phosphor kommen. Bei mineralischem Phosphor ist sowohl Deutschland als auch nahezu die gesamte EU vollständig von Importen abhängig, die überwiegend aus politisch instabilen Regionen bezogen werden.

Eine zentrale Rolle bei der langfristigen Sicherung der Versorgung mit Phosphor spielt – auch im Sinne eines Wertstoffrecyclings entsprechend der gesetzlich vorgegebenen *Abfallhierarchie* – die Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser oder aus Klärschlämmen, da diese Stoffströme die wesentlichen Quellen für Sekundärphosphor darstellen. Der insgesamt in kommunalen Klärschlämmen bzw. Abwässern enthaltene Phosphor (in der Regel als Phosphat vorliegend) könnte rechnerisch immerhin 50 bis 60 % des Bedarfs der Landwirtschaft an Mineraldüngerphosphor decken.

Schlagwortverzeichnis

A

Abfallerzeuger 11
abfallrechtliche Regelungen 31
Abfallverbrennungsanlagen 305
Abgasreinigung 148, 305
  nasse 280
Abgasreinigungsanlagen 305
Abscheidegrad 331
Abscheidung
  Dioxine/Furane 306
  Schwermetalle 306
Abwasseraufbringung 464
Abwasserbehandlungsanlage 343
Abwasserbeseitigungspflichtige 73
Abwasserpfad 535
Abwasserreinigung 121
Abwasserverband 461
Abwasserverwertung
  landwirtschaftliche 461
Adsorptionsstufe 122
AirPrex-Verfahren 170, 422
Aktivkohle 125, 314
Alkalisalze 483
Ammoniakstrippung 351
Ammonium 344
Anlagenprojektierung 229
Anteilseigner 112
Anzeige 52
Anzeigefrist 14
Apatit 497
A-Schilder 53
Ash2Phos-Verfahren 175, 513
AshDec-Verfahren 176, 495
Aufschluss
  nasschemischer 151
Aufschlussverfahren 481

B

Beförderung 52
Behandlung
  thermochemische 495
Bereitstellungslager 51
Berichtspflicht
  P-Rückgewinnung 14
Betriebe
  wasserwirtschaftliche 71
Betriebserfahrungen 189
Betriebskosten 204, 299
Betriebsstörungen 168
Betriebsstundenzahlen 295
Bewässerung 462
Bio-P 166, 419
Bodenlösung 402
Braunkohlekraftwerk 290
Brikettierung 437
Brüden 192, 295, 484
Brüdenaufbereitung 276
Brüdenkondensat 343
Brüdenkondensation 138
Brüdenmanagement 277
Brushit 171, 424

C

Calciumphosphat 515
Calciumsilikat-Hydrat (CSH) 473
CalPrex-Verfahren 170, 423
Carbonisierung
  hydrothermale 132, 157, 171, 473
Chemisorption 314

D

Deponierecht 51
Deponieverordnung 36
Deutsche Phosphor-Plattform 370
DGT-Methode 402
Diammoniumphosphat 515
Diammonsulfat 469
Dicalciumphosphat 424, 448, 516
Diffusive Gradients in Thin Films (DGT) 495
Doppeluntersuchungen 8
Drehrohrreaktoren 143
Düngemittel 169, 484
Düngemittelproduktion 536
Düngemittelverordnung 7, 36, 365
  Europäische 365
Düngerecht 36
Düngeverordnung 36
Düngewirksamkeit 403
DWA 97
DWA-Regelwerk 100

E

Economy of Scale 25, 544
EcoPhos-Verfahren 175, 413, 530
Effizienz
  agronomische 391
Elektrofilter 252, 307, 329
EloPhos-Verfahren 170
Energiebilanz 541
Energierecht 41
Energierückgewinnung 249
Entquickung 306
Entschwefelung 306
Entsorgungsengpässe 113
Entsorgungskosten 280
Entsorgungsnotstände 17
Entsorgungsrouten 17
Entsorgungssicherheit 17, 97
Entsorgungsverträge 37
Entsorgungswege 12
Entstaubung 306, 345
Entstickung 306
Entwässerung 137
Erdalkalisalze 483
Etagenofen 145
Etagenwirbler 145
EU-Nitratrichtlinie 36
EuPhoRe-Verfahren 169, 298, 373, 414, 481
Europäische Union 364
European Sustainable
    Phosphorus Platform 370
Extraktion
  sequentielle 401
Extraktionsmethoden 495
  chemische 391
ExtraPhos-Verfahren 171, 414, 445

F

Faulschlammbehandlung 267
Fernwärme 242, 251, 284
Fernwärmenetz 114, 192
Festbettadsorber 307
Filteranlage 122
Filterkammern 124
FiltraPhos-Verfahren 373
Flugstromadsorber 307

G

Gefäßversuch 402
Genehmigungspflichten 45
Genehmigungsrechtliche Einordnung 79
Genehmigungsverfahren 45, 79
Generalunternehmer 190
Gesamtenergiekonzept 190
Gewebefilter 307
Glührückstand 18
Groundwater Directive 364
Grundsatzstudie 263
GuD-Kraftwerk 290

H

Haarslev-Hydrolyse 170
Handlungsoptionen 39
Heizwert 254
Helmstedter Revier 209
Hierarchievorgaben 53
hydrothermale Carbonisierung (HTC)
    132, 157, 171, 473

I

Indirekteinleiterverordnung 343
Inkrustrationen 168
Investitionskosten 299
Ionentauscherharze 492

K

Kalkhydrat 309, 149
Kalkstein 315
Kaltgasentstaubung 297
Karbonisierung
  hydrothermale 132, 157, 171, 473
Klärschlammanalysen 117
Klärschlammasche(n) 150, 174, 491
  Mineralogie 519
Klärschlammausbringung 97
Klärschlammbehandlung
  thermo-chemische 481
Klärschlammentsorgung 410
  rechtliche Rahmenbedingungen 31
Klärschlammfaulung 268
Klärschlammfaulungsanlage 269

Klärschlammkompost 13
Klärschlammkonzept 226
Klärschlammkooperation 106, 111
Klärschlammmitverbrennung 6
Klärschlammmitverbrennungsanlagen 56
Klärschlammmonoverbrennung 227, 276
Klärschlammmonoverbrennungsanlage 80, 189
Klärschlammnetzwerke 103
Klärschlammreformer 155
Klärschlammtrocknung 82, 268, 473
  abwasserfreie 83
Klärschlammtrocknungsanlage 138
Klärschlammverbrennung 45, 305
  Konzepte 249
Klärschlammverbrennungsanlage(n) 55, 287
Klärschlammverordnung 11, 35
  Folgenabschätzung 546
Klärschlammverwertung 97, 111
  bodenbezogene 6
  landwirtschaftliche 4
  thermische 132
Klärschlammverwertungsanlage 189, 273
Klärschlammverwertungswege 98
Klärschlammvorbehandlungsanlagen 55
Kohlekraftwerke 136, 152, 317
Kohlensäure-Extraktion 446
Kohlenstoffdioxid 446
kommerzielle Produkte 513
Kontaktreaktor 124
Kooperation
  formelle 72
  informelle 72
  institutionelle 72
Kooperationen
  Rechtsrahmen 32
Kooperationsmodelle 283
Kooperationsmöglichkeiten 71
Kraftwerk Buschhaus 209
Kreislaufwirtschaft 4
Kreislaufwirtschaftsgesetzes 53
Kristallisation 456
KRN-Mephrec 427
Kupolofentechnologie 430

L

Lagerdauer 52
Lagerung 47
Länderarbeitsgemeinschaft 13
Landwirtschaft 20
Langzeitlager 48
Leachphos-Verfahren 413
Löslichkeit 391
Lysogest/Lysotherm-Hydrolyse 170

M

Machbarkeitsstudie 265
Magnesium-Ammonium-Phosphat 419, 456
MAP-Fällung 469
Marine Strategy Directive 364
Marktstudie 227
materiell-rechtliche Präklusion 69
Mephrec-Verfahren 156, 170
Messkampagnen 454
metallurgische Verfahren 132, 151, 156
Methaphos 373
Mikroalgen 373
Mitführungspflicht 52
Mitverbrennung
  21, 131, 227, 288, 304, 306, 410
Monoammoniumphosphat 515
Monocalciumphosphat 516
Monoklärschlammverbrennung 217, 327
Monoklärschlammverbrennungsanlagen 306
Monoverbrennung
  24, 131 210, 249, 288 439
MSE-Verfahren 451
Müllheizkraftwerk 290
Müllverbrennung 152
Müllverwertungsanlage 274

N

Nährstoffbedarfsstufe 122
Nährstoffkreisläufe 165
nasschemische Behandlung 513
Nasswäsche 251
Nass-Waschsystem 307
Natriumbicarbonat 321
Nebenprodukte
  tierische 413
Netherlands Nutrient Platform 370
NextGenFertilizer 495
NH_3-Abscheidung 334
NH_3-Emissionen 202
Nitrat 466

Nitrates Directive 364
Nitratverlagerung 467
NO_x-Reduktion 334
NuReSys-Verfahren 170

O

Öffentlichkeitsbeteiligung 61, 67
Ökobilanz 413, 535

P

Papierschlamm 276
PARFORCE-Verfahren 175, 530
PASCH-Verfahren 181
P-Düngemittelproduktion 535
Pearl-Verfahren 170
pflanzenverfügbares
  Düngemittelprodukt 473
Pflanzenverfügbarkeit 391, 479, 484
Pflanzenversuche 495
Pflanzenwurzel 402
PhorWater-Verfahren 170
Phos4Life 413
Phos4You 373
Phospaq-Verfahren 170
Phosphatrecycling 519
Phosphor 520
Phosphordüngung 364
Phosphorrecycling 428, 513
  metallurgisches 430
Phosphorrezyclate 367
Phosphorrückgewinnung
  5, 45, 77, 79, 131, 150, 227, 276, 289, 363, 409, 419, 445
  Bundesländer 369
  ökobilanzielle Aspekte 6
  Verfahren 165
Phosphorrückgewinnungspflicht 13, 412
Phosphorrückgewinnungsverfahren 165
  AirPrex 170, 422
  Ash2Phos 175, 513
  AshDec 176, 495
  Bio-P 166, 419
  CalPrex 170, 423
  EcoPhos 175, 413, 530
  EloPhos 170
  EuPhoRe 169, 298, 373, 414, 481
  ExtraPhos 171, 414, 445
  FiltraPhos 373
  Haarslev-Hydrolyse 170
  Leachphos 413
  Lysogest/Lysotherm-Hydrolyse 170
  Mephrec 156, 170
  Methaphos 373
  Mikroalgen 373
  MSE 451
  NuReSys 170
  PARFORCE 175, 530
  PASCH 181
  Pearl 170
  PhorWater 170
  Phospaq 170
  Pondus-Hydrolyse 170
  Pyrophos 415
  PULSe 373
  RecoPhos 176
  Sepholix 415
  SeraPlant 91, 175
  Struvia 373
  Stuttgarter 171, 452
  TerraNova Ultra 473
  TetraPhos 175, 373, 413 491
  Wasstrip 170
Phosphorrücklösung 452
Phosphorsäure 428, 491
Phosphor-Schmelzkonversion 427
Phosphorversorgung 519
Physisorption 314
P-Löslichkeit
  Ameisensäure 394
  Neutralammoniumcitrat 394
  Zitronensäure 394
Polymere
  synthetische 8
Pondus-Hydrolyse 170
P-Recyclingdünger 392
Primärenergieeinsparung 476
Produktverwertung 439
P-Senken-Methoden 402
PULSe 373
Pulveraktivkohle 124
Pyreg-Verfahren 153
Pyrolyse 131, 169, 298
Pyrophos-Verfahren 415

Q

Qualitätssicherung 7
Quecksilber 149, 305
  Abscheidung 313, 333

R

Rauchgasbehandlungsanlage 432
Rauchgasreinigung 296, 327
  trockene 84
Rauchgasreinigungssysteme 191
rechtliche Rahmenbedingungen 31
Rechtsgrundlagen 31
Rechtssicherheit 67
RecoPhos-Verfahren 176
Recyclingdünger 411, 448
Recyclingstrategien 519
Reduktion
  selektive nichtkatalytische 148
Reforming-Verfahren
  thermokatalytische 153
Regelungen
  abfallrechtliche 33
  wasserrechtliche 32
regionales Phosphor-Recycling 434
RePhoR 434
Rhenaniaverfahren 495
RhePhoR 428
Risikobewertung 545
Rohphosphat 535
Rohstoffsituation 520
Rostfeuerung 145
Rückgewinnungspflichten
  Ausnahmen 6

S

Sauerstoffbedarf
  chemischer 344
Sauerstoffbedarfsstufe 122
Säureaufschluss 514
Schadgasbestandteile 313
Schadgase
  saure 328
Schadstoffkontaminationen 545
Schlacke 432
Schlackeschmelzofen 430
Schlammbelüftungsanlage 261
Schlammverbrennungsanlagen 410
Schlauchfilter 329
Schmelzkonversion 427
Schmelzvergasung 427
Schwermetalle 169, 328, 483, 537
Schwermetallgehalte 519
Schwermetallkonzentration 479
Schwermetallreduktion 483
Sedimentationsbecken 125
selektive (nicht)katalytische Reduktion
  (SCR, SNCR) 148
Sepholix-Verfahren 415
Seraplant/Glatt-Verfahren 91, 175
SO_2-Rohgasmessung 281
Solartrocknung 140
Solventextraktion 436
Stand-Alone-Anlage 294
Standortanalyse 113
Steinkohlekraftwerke 292
Steuerrecht 41
Stickoxide 220
Stickstoffrückgewinnung 469
Stöchiometrie 331
STRUBIAS
  EU-Arbeitsgruppe 366, 370
Struvia 373
Struvit 419
Stuttgarter Verfahren 171, 452
Sülzle-Kopf-Verfahren 155
Synergieeffekte 289, 481
  anlagenintegrierte 290
  infrastrukturelle 290
  personelle 290
Synergien 274
Synthesegas 298

T

TerraNova Ultra-Verfahren 473
Testpflanzen 397
TetraPhos-Verfahren 175, 373, 413, 491
  Wirtschaftlichkeit 493
thermische Klärschlammverwertung 79
thermische Schlammtrocknung 473
thermochemische Verfahren 151
thermokatalytische Reforming-Verfahren 153
Totalunternehmer 231
Transparenz 67
Transport 115
Transportkosten 275, 291
Transportkostenumlage 115
Trikalziumphosphat 415
Triplesuperphosphat 412, 486
Trocken-Additiv-Verfahren 315
Trockenrückstand 18

Trockensorption 331
konditionierte 313
Trockensorptionsprozess 251
Trockensorptionsverfahren 309
Trockensubstanz 18
Trocknung 137

U

Übergangsfristen 10
Überwachung 7
Ultrafiltration 453
Umkristallisation 491
Umweltentlastungspotential 542
Umweltinformationsgesetzes 62
Umweltverträglichkeitsprüfung 47
Untersuchungspflichten 14
Upswing-Verfahren 298

V

Vegetationsversuch(e) 391, 486
Verfahrensfehler 68
Verfügbarkeit 520
Vergabekonzept 230
Vergaberecht 40
vergaberechtliche Anforderungen 71
Vergasung 132
Verkehrsbelastung 283
Verwertung
bodenbezogene 12, 101
landwirtschaftliche 535
thermische 131
Verwertungsdiversität 17
Vollkostenbetrachtung 457
Vollzug 11
Vollzugsbehörden 10
Vollzugshilfe 10, 411
Vollzugshinweise 13
Vorbescheid 87
Vortrocknung 114

W

Wärmerückgewinnung 249
Wäscher
basischer 332
saurer 332
Wasser-Dampf-Kreislauf 295
wasserrechtliche Regelungen 32
Wasstrip-Verfahren 170
Water Framework Directive 364
Whitlockit 497
Wirbelschicht 275
stationäre 140
Wirbelschichtanlagen 276
Wirbelschichtfeuerung 141
Wirbelschichtofen 190, 261
Wirbelschichtreaktoren 217
Wirbelschichttechnik 217
Wirbelschichtverbrennung 83, 111, 190
Wirbelschichtverfahren 217
Wirtschaftsdünger 535

Z

Zementindustrie 414
Zementwerk(e) 136, 153, 318
Zuständigkeit 34
Zweischichtfiltration 351
Zwischenlagerung 38
Zykloidfeuerung 147