

Umwelt Magazin

Nachhaltig • Konkret • Visionär

Special:
**Kreislaufwirtschaft Fokus
Rohstoffe**



TITELTHEMA

Phosphor zurückgewinnen
& gleichzeitig Kohlenstoff
im Boden binden

SPECIAL

Fakten zum kritischen
Rohstoff Phosphor im
Abfallstrom Klärschlamm

RECYCLING

Innenwände
eines Wohngebäudes:
100 % Bauschutt

RADAR IST DAS BESSERE ULTRASCHALL



816,- €
VEGAPULS 31

Kompakter
80 GHz-Füllstandsensor
mit Vor-Ort-Anzeige

Alle Vorteile der Radartechnologie:
www.vega.com/vegapuls

Phosphorquelle Klärschlamm nutzen

Abwasserbehandlung hat in Deutschland eine lange Tradition. Erste Kanalsysteme und Kläranlagen wurden bereits im 19. Jahrhundert gebaut. Seitdem hat sich viel getan.

Standen zu Beginn hygienische und sanitäre Aspekte im Vordergrund, hat sich die Abwasserwirtschaft heute zu einem multidimensionalen Dienstleister entwickelt, der inzwischen eine Vielzahl ökologischer Aufgaben übernimmt, die weit über die reine Abwasserbehandlung hinaus gehen. Hierzu gehört auch ein modernes, spezifisches Phosphorrecycling.

Das Abwasser Nährstoffe enthält, die landbaulich genutzt werden können, ist seit langem bekannt. Die bei der Abwasserbehandlung anfallenden Klärschlämme wurden lange direkt als Düngemittel in der Landwirtschaft genutzt. Nachteil ist, dass neben den Nährstoffen eine Vielzahl von Schadstoffen in die so gedüngten Böden eingetragen wird.

Genau hier setzt die Idee einer modernen Phosphorrückgewinnung an: Phosphor soll aus Klärschlamm zurückgewonnen und zum Beispiel als Düngemittel genutzt werden, die Schadstoffe sollen zerstört oder für eine weitergehende Entsorgung separiert werden.

Die Phosphorrückgewinnung gelingt besonders effektiv aus Aschen von thermisch vorbehandelten Klärschlämmen. Durch die hohen Temperaturen bei der Verbrennung werden die gesamten organischen Schadstoffe im Klärschlamm eliminiert. Übrig bleibt eine phosphorhaltige Asche. Unter Zugabe von Säuren kann der Phosphor aus der Asche gezielt in Lösung gebracht und anschließend zur Herstellung von Düngemitteln oder Phosphorsäure verwendet werden.

Dies beschreibt nur einen Weg. Die in 2017 novellierte Klärschlammverordnung, die AbfKlärV, hält mehrere Rückgewinnungswege offen. Ein Kläranlagenbetreiber kann schon vor dem Anfall von Klärschlamm den Phosphorgehalt durch

Rückgewinnungsmaßnahmen zum Beispiel durch gezieltes Füllen von Struvit aus dem Schlammwasser senken. Enthält der Klärschlamm dann weniger als 20 g Phosphor pro Kilo Trockenmasse, ist keine weitere Phosphorrückgewinnung mehr nötig.

„Seit Sommer 2022 ist die Einfuhr von Düngemitteln aus Russland (...) infolge des Kriegs in der Ukraine sanktioniert. Auch darum spitzt sich die Lage am Düngemittelmarkt zu.“

Für Kläranlagen größer 100 000 Einwohnerwerten ist die bodenbezogene Verwertung von 2029 an verboten. Gleiches gilt für Anlagen ab 50 000 Einwohnerwerten von 2032 an. Von 2029 an besteht somit faktisch für das überwiegende Abwasseraufkommen in Deutschland eine Phosphorrückgewinnungspflicht.

Aktuell gibt es weitere Gründe, sich stärker dem Phosphorrecycling aus Abwasser zuzuwenden. Seit Sommer 2022 ist die Einfuhr von Düngemitteln aus Russland – von dort bezog Deutschland einen Großteil an schadstoffarmen Rohphosphaten und Phosphordüngern – infolge des Kriegs in der Ukraine sanktioniert. Auch darum spitzt sich die Situation am Düngemittelmarkt zu. Es gibt bereits Hinweise darauf, dass Landwirte wieder vermehrt auf Klärschlämme als Dünge-

mittel zurückgreifen. Ein Zurück zu alten Verfahrensweisen darf nicht die Lösung sein, da dadurch einem vorsorgenden Bodenschutz nicht ausreichend Rechnung getragen wird.

Trotz aller offensichtlichen Notwendigkeiten gibt es aber auch noch eine Reihe von Herausforderungen. Die entstehenden Phosphorzyklate müssen nicht nur der AbfKlärV genüge tragen, sondern vor allem sämtliche düngerechtliche Anforderungen einhalten. Wird den neuen Recyclingprodukten aus Klärschlamm in der Düngemittelprodukteverordnung der EU bereits Rechnung getragen, gibt es in der deutschen Düngemittelverordnung noch Hemmnisse, die entstehenden Phosphorzyklaten einen Marktzutritt erschweren. Diese gilt es zeitnah auszuräumen, um mit umweltfreundlichen Düngemitteln aus Phosphorzyklaten Rohphosphate substituieren zu können. Gemäß der im Januar 2023 geänderten EU-Ökoverordnung darf Struvit als erstes Phosphorrecycling-Düngemittel aus dem Abwasser- und Abfallpfad im Ökolandbau eingesetzt werden.

Aus Sicht eines vorsorgenden Umwelt- und Ressourcenschutzes ist es wünschenswert, dass die Möglichkeit einer modernen Phosphor-Rückgewinnung qualitativ hochwertiger, das heißt gering schadstoffbelasteter Recyclingprodukte, mittelfristig für alle in Deutschland anfallenden Klärschlämme genutzt wird. Nur so wird es möglich sein zu verhindern, dass über diesen Pfad weiterhin Schadstoffe wie Arzneimittel, Chemikalien und resistente Bakterien unkontrolliert auf und in Böden gelangen. ■

Dr.
**Bettina
Rechenberg**

Leiterin des Fachbereichs Nachhaltige Produkte und Produktion, Kreislaufwirtschaft Umweltbundesamt



Foto: UBA/Susanne Kambor



Aus Klärschlamm lässt sich neben Phosphor auch Synthesegas als Rohstoff für chemische Substanzen gewinnen. Dies zeigt ein neues Verfahren einer baden-württembergischen Firma. Foto: Kopf SynGas



Der erste Erdbeckenspeicher in Deutschland entsteht in Schleswig-Holstein. Bis zu 95 °C heißes Wasser wird dort gespeichert werden, um eine Kommune mit Fernwärme zu versorgen. Foto: NDR

Gastkommentar

- 3** Phosphorquelle Klärschlamm nutzen
Bettina Rechenberg

Nachrichten

- 6** Aus Unternehmen, Politik und Forschung

Titelthema

- 12** Phosphor recyceln & Kohlenstoff binden
Klärschlamm bei 500 bis 700 °C karbonisieren

Special: Kreislaufwirtschaft, Fokus Rohstoffe

- 15** Synthesegas aus Klärschlamm
Grundbausteine für die Chemieindustrie aus dem Abfallstrom
- 18** Fakten zu Phosphor & Klärschlamm
Deutschland will für Phosphor die Rohstoffquelle Klärschlamm erschließen
- 21** Per Elektrodialyse zur Phosphorsäure
Saubere Phosphorsäure durch Strom
- 24** Phosphorsäure aus Klärschlamm
Im Hamburger Hafen wird hierfür eine große Anlage in Betrieb genommen
- 26** Phosphor – direkt aus dem Überschussschlamm
... dann, wenn mit Eisen gefällt wurde
- 29** Sauberes Phosphat aus Klärschlammasche
Salzsäure hilft, einen Dünger herzustellen

- 32** Gut gepresst, hoher Phosphorertrag
Aus Klärschlamm, gut entwässert, werden bis zu 70 % des Phosphors recycelt
- 35** Düngergranulate aus Asche
Aus aufgeschlossenen Aschen wird Wasser mechanisch entfernt

Markt

- 38** Projekte
Umwelttechnik in Forschung und Praxis
- 40** Produkte
Technische Antworten auf Umweltfragen

Luft, Wasser & Lärm

- 42** Adsorbertechnik für gesundes Wasser
... entfernt Rückstände von Arzneimitteln und Pestiziden

Energie

- 44** Wärme aus dem Erdbecken
... soll Kommune wärmen



Eine Glättekele, die nach Ökodesign-Kriterien von einem kleinen Unternehmen in Remscheid entwickelt wurde. Es hat dafür erfolgreich mit Fachleuten einer Universität zusammengearbeitet. Foto: Maurerfreund



Acrylglasabfälle zu recyceln hat Zukunft, meint ein hessisches Unternehmen. Es weitet seine Kapazitäten dafür aus und sammelt immer mehr davon mit eigenen Sammelboxen ein. Foto: Pekutherm Kunststoffe

Management & Recht

46 Ökodesign für und mit kleineren Betrieben
... am Beispiel einer Glättekele

50 Sollen Gas- und Kernkraftwerke nachhaltig sein?
Diese Frage wird vielleicht erst ein Gericht klären

Abfall, Recycling & Kreislauf

52 Neuer Schredder für Acrylglas
Die Kapazitäten für das Recycling von Acrylglas steigen

54 Schwarze Kunststoffe recyceln
... ist möglich mit Zusatzstoffen in Kunststoffen & Infrarot-Spektroskopie

56 Innenwände zu 100 % aus Bauschutt
... hergestellt aus hochwertigem Recycling-Baustoff

Organschaften

59 Verband der Betriebsbeauftragten (VBU)

60 VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU)

62 Verband für Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement (VNU)

Rubriken

10 Impressum

55 Vorschau

63 Standards
helfen, sich auf Stromausfälle vorzubereiten, das Industriedesign zu verbessern und Quecksilber genau zu messen

64 Gesucht:
Investoren für den Senegal
... um fossile & erneuerbare Energien zu gewinnen und zu nutzen

66 Literatur



Pyreg GmbH: Expertin für CO₂-bindende Karbonisierung

Das Unternehmen für Anlagenbau und Umwelttechnik aus Dörth in Rheinland-Pfalz ist weltweit führend auf dem Gebiet der Karbonisierung kohlenstoffhaltiger Reststoffe wie Klärschlämmen zu Biochar. Pyreg plant und baut seit mehr als zehn Jahren hochwertige Karbonisierungsanlagen, die Kreisläufe schließen und höchste Umweltstandards erfüllen. Mehr als 50 Anlagen weltweit entziehen jährlich bereits mehr als 30 000 t CO₂ der Atmosphäre.

Foto: Pyreg



Anlagen und Maschinen wie hier die eines Wärmekraftwerks werden deutsche Unternehmen auch künftig in die USA verkaufen. Foto: PantherMedia/gyn9037

Keine Angst vor Subventionen

Die Regierung der USA will die Industrie in ihrem Land mit dem „Inflation Reduction Act“ (IRA) und 400 Mrd. € klima- und zukunfts-fester machen. In der EU sehen manche dieses Konjunkturpaket als Gefahr für die hiesige Wirtschaft. Für den Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) überwiegen jedoch positive Effekte des IRA. Er rechnet infolge des IRA mit einem weiteren Anstieg der Ausfuhren in die USA. Auch die „Domestic-Content“-Gesetzesregeln, die einen bestimmten Anteil amerikanischer Vorprodukte verlangen, sieht er nicht als Hindernis. Wo sich Lieferketten und Netzwerke bewährt haben, werden sie keine nennenswerten Auswirkungen haben. Die dortige Industrie könne, so der VDMA, die Versäumnisse der letzten 30 Jahre nicht so schnell aufholen, dass Zulieferer aus der EU mittelfristig ersetzt werden könnten.

www.vdma.org

Chance für die Ozeane

Die Staaten der Vereinten Nationen haben sich in Panama nach 15 Jahren Verhandlungen auf ein Hochseeabkommen geeinigt. Das Abkommen stellt die biologische Vielfalt auf Hoher See unter Schutz. Mindestens 30 % der Weltmeere sind danach bis 2030 als Schutzgebiet auszuweisen. Die Hohe See, die mehr als 60 % der Weltmeere ausmacht, ist ein weitgehend rechtsfreier Raum. Die Nutzung der Hoch- und Tiefsee ist bislang nicht geregelt. Schutzgebiete konnten nur an den Küsten innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszonen der jeweiligen Länder, also bis rund 370 km vor der Küste, ausgewiesen werden. Ein Streitpunkt war, wie welche Meeresteile als Schutzgebiet festgelegt werden. Manche Staaten forderten hier Einstimmigkeit. Am Ende lautete die Einigung, eine Dreiviertelmehrheit der Mitgliedsstaaten kann Schutzgebiete festlegen. Die Staaten haben auch ein Verfahren bestimmt, wie wirtschaftliche Projekte oder Expeditionen auf ihre Umweltverträglichkeit hin zu prüfen sind. Ein Konflikt drehte sich um möglicherweise ertragreiche Forschungen, etwa wenn das Erbgut bislang unbekannter Lebewesen der Tiefsee zu Durchbrüchen in der Medizin führt. Sollte dies geschehen, dürften reichere Staaten des Nordens die meisten Erträge auf sich vereinen. Daher wurde ein Mechanismus für Ausgleichszahlungen an ärmere Länder etabliert. Doch der Schutz der Hohen See kostet: Die teilnehmenden Staaten sagten in Panama bereits 18,8 Mrd. € zum Schutz der Meere zu.

www.unoceans.org



Tiere wie hier ein Buckelwal und deren Lebensräume auf Hoher See sollen international besser geschützt werden. Foto: PantherMedia/Gudovandrey

Frankreich setzt auch auf Offshore-Wind

Frankreich setzt für seine Energieversorgung künftig neben dem Bau neuer Atomkraftwerke auch auf einen beschleunigten Ausbau erneuerbarer Energien etwa von schwimmenden Windrädern an der Mittelmeerküste. Das erste Pilotprojekt mit drei Windrädern startete bei Perpignan. Der Anschluss für das Kabel, das die demnächst 18 km vor der Küste schwimmenden Windräder mit dem Stromnetz verbinden soll, wurde zu Wasser gelassen, so der Stromnetzbetreiber Réseau de Transport d'Electricité (RTE) mit Sitz in Paris. Geplant sind auch zwei größere schwimmende Windparks mit einer Leistung von jeweils 250 MW. 2050 könnten solche Offshore-Windparks nach Angaben von RTE 12 bis 31 % des französischen Stroms liefern. Schwimmende Windparks sind technisch noch nicht so weit entwickelt wie fest verankerte Parks, bei denen die Windräder auf einem Fundament in relativ niedrigem Wasser befestigt sind. Mit dem Pilotprojekt sollen jetzt Erfahrungen mit schwimmenden Parks bei Meerestiefen von 30 bis 300 m auch fernab der Küsten gesammelt werden. Die Plattformen, auf denen die Windräder stehen, werden dafür am Meeresgrund vertäut.

www.rte-france.com



Grafik: VDI

Deutscher Ingenieurtag 2023

Der VDI lädt unter dem Motto „Zukunft gemeinsam gestalten. Innovationen für Mensch und Umwelt.“ zum diesjährigen Deutschen Ingenieurtag (DIT) am 25. Mai ein. Der DIT wird in Berlin stattfinden, vor allem aber eine Hybrid-Veranstaltung sein. Für den VDI stehen alle Individuen und auch die Gesellschaft vor großen Herausforderungen. Doch wie können Ingenieurinnen und Ingenieure dazu beitragen, Deutschland zu einem attraktiven Zukunftsstandort zu machen? Ein Standort an dem sich das Leben lohnt. Wie setzen Ingenieurinnen und Ingenieure ihre Motivation und ihr Wissen für nachhaltige Lösungen ein? Um diese Fragen zu beantworten, lädt der VDI im Mai zu einem Diskurs mit Gästen aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft ein, um gemeinsam Strategien zu entwickeln und Antworten auf die Herausforderungen von heute und morgen zu finden. Es wird überraschende Keynotes geben, eine offene Podiumsdiskussion, die für Klarheit sorgt und Lösungen aufzeigt, vertiefte Breakout-Sessions und virtuelles Networking. Der VDI lädt auch Sie ein, an der Hybrid-Veranstaltung DIT 2023 teilzunehmen, mit Fachleuten aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft zu sprechen und sich einzubringen. Weitere Informationen zum DIT finden Sie unter: www.vdi.de/deutscher-ingenieurtag

Tempo für Erneuerbare & Verkehr

Der Bundestag hat Anfang März den Weg freigemacht, um erneuerbare Energie und Infrastrukturprojekte schneller und unbürokratischer umzusetzen. Es hat beispielsweise der Änderung des Raumordnungsgesetzes (ROG) und der Umsetzung der sogenannten EU-Notfallverordnung zugestimmt. Die neue ROG-Fassung soll Planungs- und Genehmigungsverfahren unter anderem durch eine Digitalisierung der Beteiligungsverfahren zeitlich straffen. Auch sollen Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren besser miteinander verzahnt werden. Die EU-Verordnung zur Festlegung eines Rahmens für einen beschleunigten Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien von Dezember 2022 wiederum soll Genehmigungsverfahren bei Windenergieanlagen an Land und auf See vereinfachen. Sie bringt auch neue Regeln für den Artenschutz: Unter bestimmten Voraussetzungen können Umweltverträglichkeitsprüfungen und artenschutzrechtliche Prüfungen für einzelne Projekte entfallen. www.bundestag.de

Abgabe auf Einweg

Der Bundestag hat mit dem Einwegkunststofffondsgesetz eine Vorgabe der EU übernommen. Von 2024 an müssen Hersteller bestimmter Getränkebecher, Essensverpackungen oder Zigaretten in einen Fonds einzahlen und sich so an den Kosten für die Beseitigung weggeworfener Kaffeebecher und Chipstüten beteiligen. 2025 sollen erstmals Mittel aus dem Fonds ausbezahlt werden. Das Umweltbundesamt (UBA) wird ihn verwalten. Es schätzt den Bedarf der Kommunen auf bis zu 434 Mio. €/a. Das Bundesumweltministerium hat nun die Einwegkunststofffondsverordnung vorgelegt. Das UBA hat die Höhe der Abgabesätze in einer wissenschaftlichen Studie ermittelt. Sie orientieren sich an Art und Menge der entsprechenden Produkte, die bislang auf den Markt gebracht wurden. So soll der Abgabesatz für 1 kg in Verkehr gebrachte To-go-Getränkebecher 1,231 € betragen.

www.bmwk.de



An der Sammlung von Einwegkunststoffen beteiligen sich künftig finanziell deren Hersteller. Foto: PantherMedia/Orathai164



Ersetzen E-Fahrzeuge jene, die mit Benzin oder Diesel fahren, sinkt der Stickstoffdioxidgehalt in den Städten.
Foto: PantherMedia/uflypro (YAYMicro)

Weniger NO₂

Die Belastung mit Stickstoffdioxiden (NO₂) geht nach der Corona-Pandemie langsamer zurück. Messdaten zeigen, dass 2022 die NO₂-Jahresmittelwerte knapp unter denen von 2021 lagen. Während der Pandemie trug weniger Verkehr dazu bei, dass diese Belastung sank. 2021 wurde der Jahresgrenzwert von 40 µg NO₂/m³ in drei Städten überschritten, 2022 wohl noch in zwei: nach den Daten automatisch messender Stationen in München mit 49 µg/m³. Kommen die Daten von Passivsammlern, die im Labor analysiert werden und deren Ergebnisse im Mai vorliegen hinzu, ist eine Grenzwertüberschreitung auch in Essen zu erwarten. Den WHO-Jahresgrenzwert von 10 µg/m³ hielten jedoch rund drei Viertel aller automatischen Messstationen nicht ein.

www.uba.de

Bald klimaneutral wohnen?

Das Europäische Parlament (EP) will, dass Gebäude schneller klimaneutral werden als die Europäische Kommission es vorschlägt und die EU-Staaten zugestehen wollen. Es geht um die Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie der EU, deren Hauptziel es ist, Treibhausgas-Emissionen im Gebäudesektor bis 2030 deutlich zu senken und dort 2050 Klimaneutralität zu erreichen. Dafür sollen von 2026 an alle öffentlichen Neubauten Null-emissionsgebäude sein und alle anderen neuen Gebäude von 2028 an – zum Vergleich: Die Kommission will dies von 2027 beziehungsweise 2030 an, die EU-Staaten in ihrer gemeinsamen Position von 2028 und 2030 an. Für Bestandsgebäude verlangt das EP, dass alle großen energetischen Renovierungen bis 2032 abgeschlossen sein sollen. Nichtwohngebäude im Bestand wie Bürogebäude sollen die Energieeffizienzklassen E bis 2027 und D bis 2030 erreichen, alle Wohnhäuser 2030 zumindest die Energieeffizienzklasse E einhalten, von 2033 an die Energieeffizienzklasse D. Zum Vergleich: Die Kommission schlug hier die Energieeffizienzklassen F und E vor, die EU-Staaten, dass der durchschnittliche Primärenergieverbrauch des Wohngebäudebestands bis 2033 mindestens äquivalent zu D sein soll. Bis 2040 soll er mindestens äquivalent zu einem nationalen, sich aus der schrittweisen Entwicklung hin zum Nullemissionsgebäudebestand ergebenden Wert sein.

www.europarl.europa.eu



Bestandsgebäude sind energetisch zu sanieren, sagt die EU. Umstritten ist in Brüssel und den EU-Staaten, wie schnell dies vonstatten gehen soll. Foto: PantherMedia/marpalusz

Klimaanpassung vermeidet Schäden

Klimawandel verursacht Kosten. Um diese für Deutschland abzuschätzen, haben drei Institute für das Bundesministerium für Wirtschaft und Klima die Kosten von Klimaschäden systematisiert, die Schäden der Extremereignisse vor allem durch die Hitze- und Dürresommer 2018 und 2019 sowie die Flutkatastrophe 2021 bewertet sowie zukünftige Schadens- und Anpassungskosten für mehrere Handlungsfelder modelliert. In ihrer Studie „Kosten durch Klimawandelfolgen in Deutschland“ zeigen die Forschenden, dass von 2000 bis 2021 Schäden in Höhe von mindestens 145 Mrd. € entstanden sind (80 Mrd. € seit 2018). Bis 2050 erwarten sie je nach Ausmaß der Erwärmung volkswirtschaftliche Gesamtschäden in Höhe von 280 bis 900 Mrd. €. Die Studie zeigt auch, dass sich mögliche Schäden bei einem schwachen Klimawandel vollständig durch Investitionen in Anpassungsmaßnahmen vermeiden lassen, bei einem mittelstarken Klimawandel um 80 % verringern lassen und um 60 % bei einem starken Klimawandel. Vor allem naturbasierte Lösungen wie die Kohlenstoffspeicherung in Vegetation und Boden durch Wälder oder Moore, können Treibhausgas-Emissionen senken und zur Anpassung beitragen. Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Berlin, die Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH in Osnabrück und die Prognos AG haben die Studie erstellt.

www.bmwk.de

Gewerbeabfall unüberwacht

Erzeuger und Besitzer gewerblicher Siedlungsabfälle sowie von Abbruch- und Bauabfällen müssen diese nach der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) von 2017 an der Stelle ihres Anfalls sortieren, um eine möglichst hochwertige Verwertung der Abfälle zu gewährleisten. Ein Ziel ist, die Recyclingquote dieser Abfälle von 7 % in 2017 auf mindestens 30 % bis 2030 zu erhöhen. Von den Unternehmen, die dazu im Millionenbereich investiert haben, um Gewerbeabfälle entsprechend vorbehandeln zu können, sind jedoch einige in ihrer Existenz bedroht, sagt die Bundesvereinigung Umwelt-Audit (B.U.A.), Würzburg, nach einer Umfrage bei Gewerbeabfallsortierern und -verwertungen in elf Bundesländern. Der Grund: Abfallerzeuger lassen oftmals Gewerbeabfälle direkt zu Verbrennungsanlagen fahren, da deren Betreiber die von Gewerbeabfallsortier- und verwertungsanlagen unterbieten. Der Preisunterschied beträgt zurzeit etwa 35 bis 55 €/t je nach Region. Die B.U.A. fordert, dass die zuständigen Behörden der Bundesländer die Einhaltung der Verordnung künftig streng überwachen – vor allem jene Anlagen, die zwar nicht ausreichend Aggregate gemäß Gewerbeabfallverordnung vorhalten, aber dennoch von den Bundesländern als Gewerbeabfallsortieranlagen veröffentlicht werden.

www.beate-kummer.de



Teile einer der zwölf Windkraftanlagen die zum „alpha ventus“-Offshore-Windpark in der Deutschen Bucht vor der niedersächsischen Nordseeküste gehören. Foto: REpower Systems/Jan Oelker

Flächen für Offshore-Wind

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie mit Sitz in Rostock hat im „Flächenentwicklungsplan 2023 für die deutsche Nordsee und Ostsee“ neue Flächen für den Bau von Windkraftanlagen festgelegt. Auf den Arealen sollen bis 2030 Anlagen mit mindestens 22 GW Leistung installiert werden – zusätzlich zu den bestehenden Anlagen mit einer Leistung von 8 GW. Der Flächenentwicklungsplan ist jetzt die Basis dafür, dass das Ausbauziel der Bundesregierung von 30 GW Leistung bis 2030 erreicht werden kann. Im Plan ist festgelegt, wann und wie die neuen Flächen ausgeschrieben werden und wann die Parks an das Stromnetz angebunden werden sollen. Er regelt auch technische Grundsätze für die Anbindungen. Da sich mit Strom aus diesen Offshore-Parks grüner Wasserstoff herstellen lässt, ist auch ein Bereich in der Nordsee, der mit Wasserstoff-Pipelines angebunden werden kann, festgelegt. Dort soll das Elektrolyseverfahren in industriellem Maßstab mit einer Kapazität von bis zu 1 GW erprobt werden. Der Plan legt auch die Grundlage für ein europäisches Offshore-Stromnetz, in dem einzelne Windparks der Nord- und Ostsee-Anrainerstaaten miteinander verbunden werden können, und beschreibt den Verlauf der hierfür nötigen Kabeltrassen.

www.bsh.de

PERSONALIEN

Eric Schweitzer wird am 1. April 2023 die Leitung der ALBA-Group an **Robert Arbter** abgeben. Der neue Geschäftsführer war bis dahin als Finanzvorstand bei der Berliner Gegenbauer Holding und davor bereits als Finanzvorstand bei ALBA tätig. Arbter soll das Entsorgungs- und Recyclingunternehmen fachkundig als führenden Umweltdienstleister für Rohstoffe, Klimaschutz und Energiewende ausbauen.

www.alba.info

Bundeskanzler **Olaf Scholz** hat im Februar den neuen 15-köpfigen Rat für Nachhaltige Entwicklung berufen. Der Vorsitzende ist **Reiner Hoffmann**, ehemaliger Vorsitzender des Deutschen Gewerkschaftsbundes, **Gunda Röstel** seine Stellvertreterin. Sie ist kaufmännische Geschäftsführerin der Stadtentwässerung Dresden und Prokuristin von Gelsenwasser. www.nachhaltigeitsrat.de

Der Verband der Kunststoffherzeuger, **PlasticsEurope Deutschland**, hat **Carolina Hupfer** und **Alexander Kronimus** zu neuen Geschäftsführern ernannt. Sie unterstützen Hauptgeschäftsführer **Ingemar Bühler**. Hupfer und Kronimus verantworten gemeinsam die Themen strategische Ausrichtung, Positionierung, Partnerschaften sowie Personalthemen.

www.plasticseurope.org

Susann Mayhead ersetzt bei der Mercedes-Benz Mobility AG mit Sitz in Stuttgart am 1. April **Eefje Dikker** als Vorstandsmitglied für Personal und Arbeitsdirektorin. Dikker wird von dann am im Personalbereich der Mercedes-Benz Group für Transformation, Digitalisierung und Operations zuständig sein wird. Mayhead ist bis dahin noch Geschäftsführerin bei Mercedes-Benz Financial Services für Belgien, die Niederlande und Luxemburg.

www.mercedes-benz-mobility.com

IMPRESSUM

UmweltMagazin

ISSN 0173-363 X, 53. Jahrgang 2023

Herausgeber

Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf

Organschaften

VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt (VDI-GEU), Düsseldorf

Verband der Betriebsbeauftragten e. V. (VBU), Essen

Verband für Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement e. V. (VNU), Bad Soden
Für VDI-Mitglieder ist der Bezug im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Redaktion

Dr. Ralph Heinrich Ahrens, Chefredakteur
Telefon: +49 211 6103-326

rahrens@vdi-fachmedien.de

Dipl.-Phys.-Ing. Udo Schnell
Redaktionsleitung VDI Fachmedien

Telefon: +49 211 6103-104

uschnell@vdi-fachmedien.de

Sandra Schüttler, Redaktionsassistentin
Telefon: +49 211 6103-124

Ines Henning, Redaktionsassistentin

Telefon: +49 211 6103-311

umweltmagazin@vdi-fachmedien.de

Redaktionsbeirat

Dr.-Ing. Jochen Theloke, VDI-GEU, Düsseldorf
Lennart Schleicher, Vorsitzender VNU, Frankfurt am Main

Prof. Dr.-Ing. Hans-Friedrich Hinrichs, Geschäftsführer KTB GmbH, Gladbeck
Martin Ittershagen, Pressesprecher Umweltbundesamt, Dessau

Claudia Nauta, Produktmanagerin DGQ, Frankfurt am Main

Prof. Dr.-Ing. Klaus Gerhard Schmidt, Wissenschaftlicher Direktor Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA), Duisburg
Bernhard Schwager, Vorsitzender VBU, Essen

Autorenhinweise/Veröffentlichungsgrundlagen:
www.umweltmagazin.de

Verlag

VDI Fachmedien GmbH & Co. KG
Unternehmen für Fachinformationen VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf

Postfach 10 10 22, 40001 Düsseldorf

Commerzbank AG

SWIFT/BIC-Code: DRES DE FF 300

IBAN: DE69 3008 0000 0212 1724 00

Geschäftsführung

Ken Fouhy, B.Eng.

Layout

Ulrich Jöcker

Leitung Media Sales

Sarah-Madeleine Simon

Telefon: +49 211 6103-166

ssimon@vdi-fachmedien.de

Anzeigenverkauf

CrossMediaConsulting

Wolfgang Ernd GmbH

Wichmannstraße 4 - Haus 1 - 22607 Hamburg

Arnd Walgenbach

Telefon: +49 40 881449-370

Fax: +49 40 881449-11

awalgenbach@cmc-web.de

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 49 vom 1. Januar 2023.

Vertrieb und Leserservice

Leserservice VDI Fachmedien

65341 Eltville

Telefon: +49 6123 9238-202

Fax: +49 6123 9238-244

vdi-fachmedien@vuserice.de

Bezugspreise

6 Ausgaben

Jahresabonnement: € 145,20 (E-Paper € 124,70)

VDI-Mitglieder: € 130,68 (E-Paper € 112,23)

nur für persönliche Mitglieder

Studenten: € 88,- (E-Paper € 75,60)

gegen Studienbescheinigung

Preise Inland inkl. MwSt.,

Ausland exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten

(Inland: € 13,-, Ausland € 21,30, Luftpost

auf Anfrage)

Einzelausgabe: € 25,-, Inland inkl. MwSt.,

Ausland exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten.

Die Mindestlaufzeit beträgt 12 Monate.

Im Anschluss an die Mindestlaufzeit ist das

Abonnement jeweils zum Monatsende

kündbar.

Druck

KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

Copyright

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden.

Weitere Informationen:

umweltmagazin.de

UmweltMagazin ist Mitglied der European Environmental Press.



Auflage IVW-geprüft



Grünen Wasserstoff in größeren Mengen, etwa für Brennstoffzellenfahrzeuge herzustellen, würde aktuell die Trinkwasserversorgung nicht gefährden. Foto: PantherMedia/aa-w

Noch genug Wasser für Wasserstoff

Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfachs zeigt in der Studie „Genügend Wasser für die Elektrolyse“, Wasserstoff zu erzeugen, wird die Trinkwasserversorgung nicht bedrohen. Wasser sollte bei Plänen für neue Produktionsanlagen aber stärker berücksichtigt werden. Sonst könnte Süßwasser regional knapp werden. Elektrolyseure mit einer installierten Leistung von 10 GW benötigen rund 7 Mio. m³ Reinstwasser, also bis zu 9 Mio. m³ Süßwasser. Zwei Vergleiche aus 2019: Landwirtschaftliche Flächen wurden mit fast 450 Mio. m³ Rohwasser beregnet. Aus Kraftwerkskühltürmen verdunsteten mehr als 300 Mio. m³ Wasser. Die Wassernachfrage würde laut DVGW um 1 % steigen, beträgt die Leistung aller Elektrolyseure 40 GW. www.dvgw.de

Kreisläufe im Gesundheitswesen

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück, will mit dem Förderschwerpunkt „CirculAid“ in Gesundheitseinrichtungen die Kreislaufwirtschaft voranbringen. Bewerben können sich vorrangig kleine und mittlere Unternehmen, die etwa Arzneimittel oder medizintechnische Geräte herstellen, im Gesundheitswesen Dienste anbieten oder beraten sowie Forschungseinrichtungen. Weitere Informationen stehen unter: www.dbu.de/@CirculAid



Das Zentrum für Umweltkommunikation der Deutschen Bundesstiftung Umwelt: ein Vorreiter für nachhaltige Veranstaltungen. Die Veranstaltungsbranche will nachziehen und strebt an, dass spätestens 2040 alle Events klimaneutral sind. Foto: Michael Münch/DBU

Nachhaltigere Events

Die Veranstaltungsbranche steht vor einer Neuausrichtung für mehr Nachhaltigkeit, Klima- und Ressourcenschutz. Der Dachverband der Veranstaltungszentren in Europa (EVVC) mit Geschäftsstelle in Frankfurt am Main hat in einem Elf-Punkte-Papier angekündigt, dass die bei ihm organisierten Locations bis 2040 klimaneutral sein werden. Stichworte sind gute Gebäudedämmung, Passivhausstandard, nachhaltige Heizungen, energiesparende Veranstaltungstechnik, 100 % Ökostrom bis 2030, Nachhaltigkeit als Kriterium für Ausschreibungen, weniger Abwasser und Abfall, Catering unter Berücksichtigung von Klima- und Ressourcenschutz, umweltfreundliche Anreisen und eine soziale Nachhaltigkeit, die unter anderem für mehr Vielfalt steht und spezifische Bürden bestimmter Bevölkerungsgruppen nicht aus dem Blick verliert. Der Verband betont aber auch, für die notwendige energetische Sanierung der Häuser bedarf es der Unterstützung durch kommunale Träger, der Länder und des Bundes.

www.evvc.org

Ingenieurinnen gesucht

Ingenieurinnen sind im Maschinen- und Anlagenbau unterrepräsentiert, auch wenn der Frauenanteil von rund 9 % in 2019 auf gut 11 % in 2022 gestiegen ist. Eine Studie des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen zeigt, dass, um Frauenanteile zu erhöhen, an vielen Stellschrauben entlang des Bildungs- und Arbeitslebens gedreht werden muss. Für die Studie wurden 49 Ingenieurinnen des Maschinen- und Anlagenbaus befragt, Web-Auftritte von 90 Unternehmen untersucht sowie in drei beispielhaften Unternehmen die Arbeitsgegebenheiten bewertet. Ein Tipp aus der Studie ist, die persönliche Ansprache zu verbessern: Unternehmen, die Praktika, Exkursionen oder Abschlussarbeiten für Studentinnen anbieten, sind beim Rekrutieren erfolgreicher. Auch Unternehmenswebsites und Stellenausschreibungen sollen anders präsentiert werden. Die Studie zeigt, dass Frauen auf Webseiten der Unternehmen oft unterrepräsentiert sind. Auf jeder zehnten untersuchten Website wurde keine einzige Frau abgebildet. Auch eine Willkommenskultur beim Einstieg von Ingenieurinnen, dem Mindest von Beschäftigten und Unternehmensleitungen bis hin zur Familienfreundlichkeit und dem Fördern weiblicher Fach- und Führungskarrieren helfen. Denn die Studie zeigt, dass sich Ingenieurinnen noch immer mit Hindernissen bezüglich einer gleichberechtigten Anerkennung von Fachkompetenzen, der Karrieregestaltung oder der Vereinbarkeit von Beruf und Familie konfrontiert sehen. Die Impuls Deutschland Stiftung, Bremen, die zum Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), Frankfurt am Main gehört, hat die Studie beauftragt.

<https://impuls-stiftung.de>

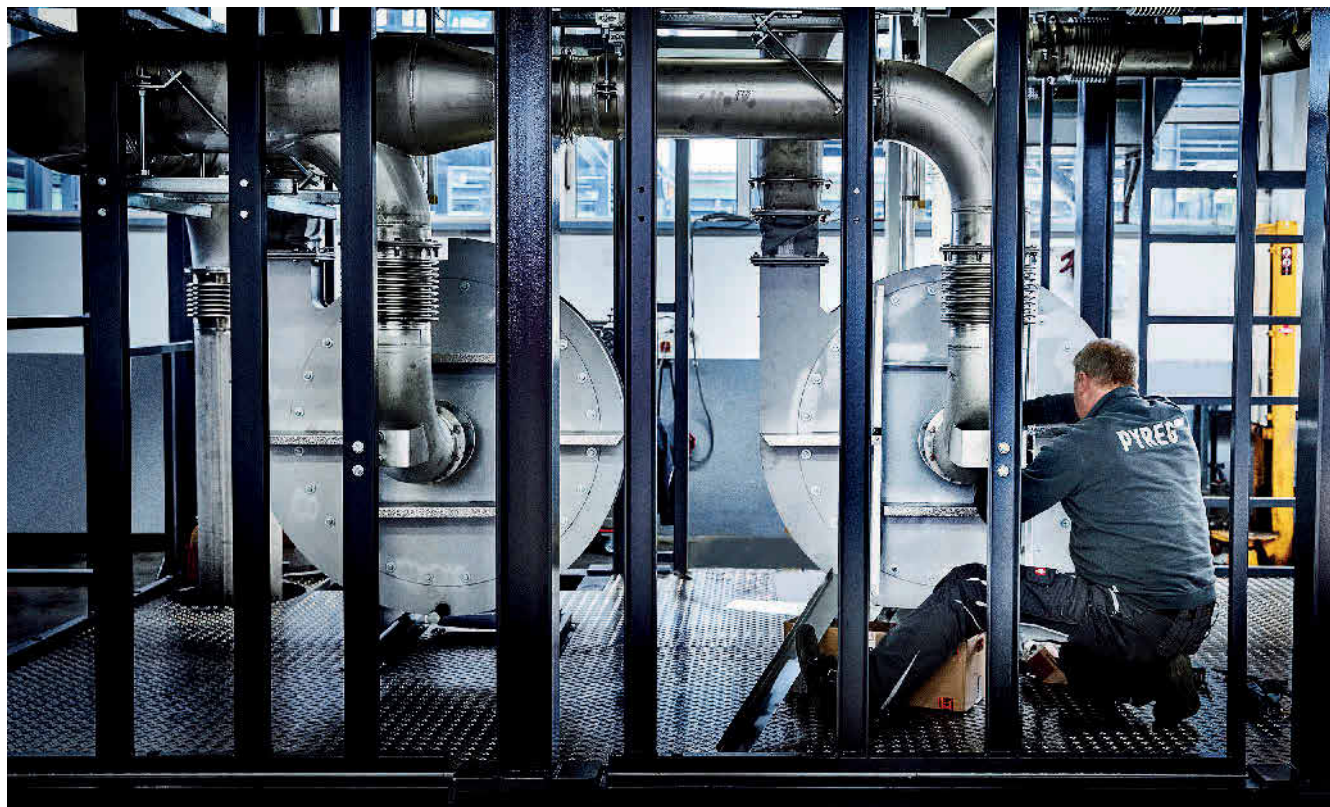
Blauer Engel für Events

Nachhaltige Meetings und Events sollen von 2024 an das Gütesiegel „Blauer Engel“ erhalten können. Die Vergabekriterien sollen noch in diesem Jahr festgelegt werden. Das Umweltbundesamt hat damit das Beratungsinstitut adelphi aus Berlin zusammen mit dem Öko-Institut in Freiburg beauftragt. Der Engel soll sich am österreichischen Umweltzeichen UZ 62 „Green Meetings und Green Events“ orientieren. Geprüft wird jetzt, ob Anpassungen an die deutschen Rahmenbedingungen notwendig sind. Veranstaltungshäuser, Dienstleister und Eventagenturen können sich dann für das Gütesiegel als Lizenznehmer bewerben. Werden sie lizenziert, können diese dann eigene oder Veranstaltungen Dritter nach erfolgter Prüfung zertifizieren. Dafür müssten ein Mindestmaß an Umwelt- und Sozialkriterien für die jeweilige Veranstaltung etwa in den Bereichen Mobilität, Energie, Catering und Beschaffung erfüllt und nachgewiesen werden.

www.adelphi.de



Grafik: Blauer Engel



Für die Pyreg-Anlage im Klärwerk Kleve-Salmorth werden Abgasventile montiert. Foto: Pyreg

Phosphat recyceln & Kohlenstoff binden

Das Karbonisieren von Klärschlämmen führt zu hochwertigen Phosphor-Rezyklaten. Ein solches Verfahren aus Rheinland-Pfalz bietet Kommunen eine sichere und profitable Lösung im Sinne der Kreislaufwirtschaft, auch weil Abwärme gezielt wieder eingesetzt wird und der Kohlenstoff im Boden verbleibt.

Helmut Gerber

Eine bewährte Lösung für das Bewirtschaften und Recycling von Klärschlämmen ist die Karbonisierungstechnologie des Pyreg GmbH, eines Maschinenbauers mit Sitz in Dörth in Rheinland-Pfalz. Das patentierte pyrolytische Verfahren des Technologie- und Marktführers für Pflanzenkohle-Produktionsanlagen verwertet Klärschlämme zu phosphorhaltigem Recyclingdünger, der in Dänemark, Tschechien und Schweden bereits als

Dünger eingesetzt wird. Diese Rückgewinnung von Phosphor in der Abwasseraufbereitung schließt regional Nährstoffkreisläufe und sorgt für Unabhängigkeit von umwelt- und klimabelastenden Rohstoffimporten.

Was nach einer weiteren finanziellen Belastung für Kommunen klingt, ist eine echte Chance. Denn das Recyclingverfahren produziert neben Düngemittel auch regenerative Energie und generiert CO₂-Zertifikate, wenn das Karbonisat, also das phosphorhaltige Rezyklat, einer

dauerhaften Kohlenstoffsänke wie einer landwirtschaftlichen Nutzfläche zugeführt werden kann.

Die Anlagen des Maschinenbauers sind global an mehr als 50 Standorten im Einsatz. Und sie dienen auch nationalen Umweltbehörden wie der US-amerikanischen EPA als Studien- und Referenzanlagen, so wie die seit 2017 betriebene Pyreg-Anlage des Abwasserbehandlers Silicon Valley Clean Water (SVCW) in der Nähe von San Francisco, Kalifornien.

Biomassekreisläufe

Das Erhitzen von Biomasse in einer sauerstoffarmen Umgebung wird als pyrolytische Karbonisierung bezeichnet. Dabei werden organische Kohlenstoffverbindungen in ein Prozessgas und festen elementaren Kohlenstoff umgewandelt. Während organische Kohlenstoffverbindungen abbaubar sind und beim natürlichen Abbau Treibhausgase wie CO_2 oder Methan (CH_4) in die Atmosphäre freigesetzt werden, ist elementarer Kohlenstoff für Jahrtausende stabil.

Solange dieser Kohlenstoff nicht verbrannt wird, reagiert er mit keinem Element und bleibt in seiner stabilen Form als C erhalten. Somit kann er als dauerhafte Kohlenstoffsänke betrachtet werden, wenn er stofflich genutzt wird, als Pflanzenkohle (Biochar) und Bodenverbesserer im Ackerbau eingebracht wird. Zu den Besonderheiten des Karbonisierungsprozesses gehören:

- Eine Temperatur und eine Prozessdauer, die hoch beziehungsweise lang genug sind, um wichtige Verunreinigungen des Ausgangsmaterials wie Viren oder Mikroverunreinigungen zu „zersetzen“ oder zu „verflüchtigen“.
- Die Rückhaltung wichtiger Nährstoffe wie Phosphor in der festen Phase.
- Die Fähigkeit, einen Teil des im Ausgangsmaterial enthaltenen Kohlenstoffs in stabilen Kohlenstoff im entstehenden Karbonisat umzuwandeln und so eine stabile Kohlenstoffsänke zu gewährleisten. Dieser Prozess wird als pyrolytische Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (PyCCS) bezeichnet.

Autotherme Karbonisierung

Das Pyreg-Verfahren ermöglicht die Umwandlung organischer Reststoffe zu einem Karbonisat bei gleichzeitiger Gewinnung thermischer Energie. Den Kern bildet der Pyreg-Reaktor im Verbund mit der nachgeschalteten Flox-Brennkammer („Flox“ steht für flammlose Oxidation).

Im Reaktor wird das Rohmaterial unter weitgehendem Luftabschluss bei hohen Temperaturen von etwa 500 bis 700 °C über mehrere Minuten karbonisiert. In der computergesteuerten Ausrichtung und Kontrolle der Prozessparameter – Geschwindigkeit der Beförderung des Eintragsmaterials, Temperaturentwicklungen und Luftzufuhr – liegt der Schlüssel zum Recyclingerfolg. Wird der



Die Pyreg-Klärschlammmanlage PX0750, die im März 2023 als Teil einer neuen Thermokompaktanlage im Klärwerk Kleve-Salmroth in Betrieb genommen wurde. Bei einem Input von stündlich bis zu 300 kg Klärschlamm werden in der Anlage bis zu 100 kg Karbonisat generiert – bei einer zusätzlichen Wärmeleistung von etwa 250 kW_{th}. Foto: Pyreg

Klärschlamm kontrolliert fast vollständig pyrolytisch karbonisiert, bleibt der Phosphor vollständig für Pflanzen verfügbar.

Die flüchtigen Bestandteile werden von mitgeführten Partikeln per Heißgasfiltration befreit und als heißes Prozessgas in der Brennkammer flammlos verbrannt. Die entstehende Verbrennungswärme wird teils zur Beheizung des Reaktors genutzt, sodass der Prozess nach der Startphase thermisch energieautark abläuft.

Durch die Flox-Verbrennung mit Abgasrückführung in Verbindung mit einer Heißgasfiltration sind sehr geringe Abgasemissionen – besonders geringe Mengen Stickoxide und Stäube – möglich, bei gleichzeitiger Gewinnung von Karbonisat und nutzbarer Abwärme.

Die entstehende Überschusswärme wird zur vorbereitenden Trocknung des Rohmaterials eingesetzt oder in Wärmenetze eingespeist. Alternativ dient sie im Rahmen von Kraft-Wärme-Kopplung der Stromerzeugung.

Das Karbonisat lässt sich als hochwertiger Kohlenstoffdünger dem biologischen Kreislauf zuführen. Dies ist unbedenklich möglich, da der Karbonisierungsprozess bei mehr als über 500 °C den getrockneten Klärschlamm hygienisiert und dekontaminiert wird. Und: Die Phosphatrückgewinnungsrate mit diesem Verfahren liegt bei mehr als 98 %.

Hohe Düngewirkung

Das Bekenntnis zum Ressourcenschutz verlangt Phosphor aus Klärschlämmen zu-

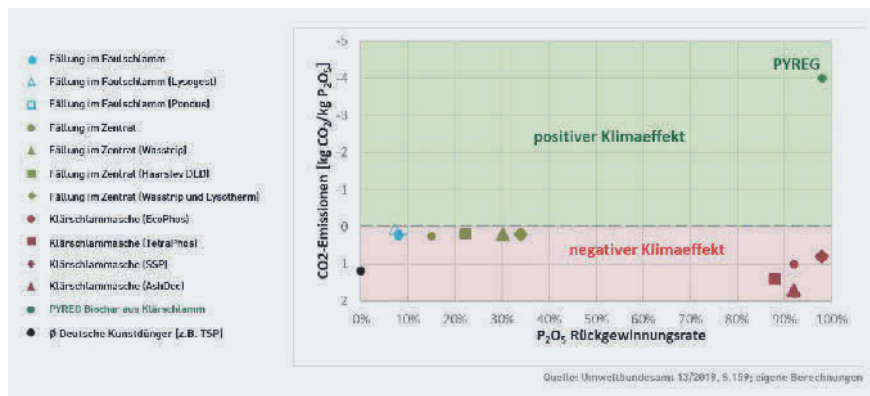
rückzugewinnen, um ihn Landwirten zur Verfügung zu stellen. Von den Methoden zur Phosphorrückgewinnung gehört die Karbonisierung bei Temperaturen von 500 bis 700 °C zu den kohlenstoffeffizientesten und führt zu einem Produkt, das ohne weitere chemische Extraktion direkt als Düngemittel für Bodenanwendungen verwendet werden kann.

Der Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL) in Gießen hat 2021 im Auftrag des Hessischen Umweltministeriums in einem Gefäßversuch die Pflanzenverfügbarkeit von zehn Recyclingphosphaten in einem Leistungsvergleich zu Triple Superphosphat (TSP) sowie im Vergleich zu Klärschlamm durchgeführt. Die Rezyklate unterschieden sich in Hinsicht auf deren Herstellung, Zusammensetzung und Produktform. TSP ist ein calciumdihydrogenphosphathaltiger Dünger, der umgerechnet einen Gehalt von mehr als 46 % Diphosphorpentoxid (P_2O_5) aufweist.

Die Phosphorverfügbarkeit des Pyreg-Karbonisats erreichte dabei fast 90 % der Wirkung des TSP (Aufwuchsleistung). Dieser TSP-Dünger mit 46 % P_2O_5 kostet aktuell zwischen 700 und 800 €/t.

Klärschlamm zu verbrennen kostet in Deutschland zurzeit 120 bis 140 €/t. Diese Ausgaben werden bei einer Zulassung als Dünger entfallen und sobald sich ein Markt für das Karbonisat als Dünger entwickelt hat, werden Kommunen hier Einnahmen verzeichnen können.

Klärschlamm-Karbonisate weisen im Vergleich zu konventionellem Dünger ein negatives Treibhauspotenzial auf. Eine



Grafik: Pyreg – Quelle: [1]

Studie des deutschen Umweltbundesamtes von 2019 kommt zu dem Ergebnis, dass die konventionelle Düngemittelproduktion in Deutschland etwa +1,2 kg CO₂-Äquivalente pro kg P₂O₅ ausstößt CO₂-Emissionen [1].

Klimaschutzvorteile

Auch Phosphatrückgewinnungsverfahren wie Fällung in Faulschlamm oder Zentrat oder Klärschlammmasche verursachen CO₂-Emissionen. Im Vergleich zum Treibhausgaspotenzial dieser Verfahren haben Pyreg-Karbonisate aus Klärschlamm ein negatives Treibhausgaspotenzial von -4,01 kg CO₂-Äquivalente pro kg P₂O₅. Folglich trägt die Rückgewinnung von Phosphat im Rahmen des Pyreg-Prozesses und die abschließende Anwendung des Karbonisats dazu bei, die globale Erwärmung zu bekämpfen und den Netto-Nullpunkt zu erreichen.

Darüber hinaus liegt die Phosphatrückgewinnungsrate der Klärschlamm-Karbonisate bei mehr als 98 %, was im Bereich anderer thermischer Behandlungen liegt und weitaus besser ist als bei Fällungsprozessen mit einer Rückgewinnungsrate von unter 40 %.

Gegen Mikroplastik, ...

Noch immer ist die direkte Ausbringung von Klärschlamm auf den Ackerboden in einigen europäischen Ländern eine bevorzugte Methode. Forschende zeigen jedoch, dass Klärschlamm eine Senke für Mikroplastik ist. Die Eliminierung von Mikroplastikverunreinigungen kann nur durch hohe Temperaturen während der Behandlung und die Verweilzeit gewährleistet werden. Ni et al. 2020 [2] stellten fest, dass „Polyethylen und Polypropylen, die beiden am häufigsten

vorkommenden Mikroplastikstoffe im Klärschlamm, bei einer Karbonisierungstemperatur von 450 °C vollständig abgebaut wurden“.

Krankheitserreger ...

Klärschlamm besteht hauptsächlich aus menschlichen Ausscheidungen und enthält naturgemäß Krankheitserreger und Pathogene, ein Risiko für die öffentliche Gesundheit. Die Prozessbedingungen der Pyreg-Karbonisierung von mehr als 500 °C für mehr als zehn Minuten sind schärfer als die der „Zentren für Krankheitskontrolle und -prävention“ CDC (Centers for Disease Control and Prevention) des US-amerikanischen Gesundheitsministeriums. Nach den Dampfsterilisations-Desinfektions- und Sterilisationsrichtlinien-Richtlinien der CDC lauten die Mindeststerilisationsbedingungen 132 °C für vier Minuten oder 250 °C zur Entfernung von Pathogenen wie bakterielle Endotoxinen unter trockenen Bedingungen (Trockenhitzeesterilisation).

und Schadstoffe

In einer vom Umweltbundesamt 2019 veröffentlichten Studie wurden pharmazeutische Rückstände verschiedener Biofeststoffe nach pyrolytischen Behandlungen bei über 500 °C untersucht [3]. Nach der Karbonisierung lagen alle Werte der untersuchten Arzneimittel unter der Nachweisgrenze. Die Autoren schlossen daraus, dass mit thermochemischen Behandlungen wie der Karbonisierung eine vollständige Zerstörung der Arzneimittelrückstände erreicht wird.

Anderes Beispiel: Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind sehr langlebig und reichern sich in der Umwelt und in unserem Körper an. Aus diesem

Grund werden sie oft als „Forever Chemicals“ bezeichnet. Hierzu zeigt eine Studie des US Environmental Protection Agency (EPA) aus dem Jahr 2021, dass der integrierte Karbonisierungs- und Verbrennungsprozess der in der Nähe von San Francisco betriebenen PYREG-Anlage PFAS erfolgreich eliminiert [4].

Fazit

Klärschlamm CO₂-emittierend zu verbrennen oder unbehandelt auszubringen, ist unter klima- und umweltschützenden Gesichtspunkten nicht mehr vertretbar. Stattdessen gibt es mit der Karbonisierung ein profitables Verfahren, den wertvollen Rohstoff aus Klärschlämmen zu recyceln und als veredeltes Karbonisat der Landwirtschaft zuzuführen. Für die Kommunen hat das gleich mehrfach positive Effekte: sie schließen Stoffkreisläufe, erfüllen ihre Dekarbonisierungsziele, gewinnen regenerative Energie und ein hochwertiges, sicheres und umweltfreundliches Endprodukt, das sie im EU-Ausland als alternativen Phosphordünger veräußern können.

<https://pyreg.com/de>

Literatur

- [1] Umweltbundesamt, „Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung“, UBA Texte 13/2019 ISSN 1862-480
- [2] Ni et al., 2020, „Microplastics Mitigation in Sewage Sludge through Pyrolysis: The Role of Pyrolysis Temperature“, Environ. Sci. Technol. Lett. 2020, 7, 12, 961–967, <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00740>
- [3] Umweltbundesamt, „Arzneimittelrückstände in Rezyklaten der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen“, UBA Texte 31/2019
- [4] Environmental Protection Agency, „PFAS innovative treatment team (PITT) findings on PFAS destruction technologies“, February 17, 2021, <https://www.epa.gov/chemical-research/pfas-innovative-treatment-team-pitt>



Helmut Gerber

Gründer & technischer Direktor
Pyreg GmbH

info@pyreg.de

Foto: Pyreg



In dieser Klärschlammverwertungsanlage der Stadt Koblenz wird Synthesegas in einem Gasmotor eines Blockheizkraftwerks verstromt und sorgt für eine 95 %ige Energieautarkie des Klärwerks. Für die Synthesegas-Produktion wird ein Brenngas-Modul der Firma Kopf SynGas eingesetzt, das künftig in der energieintensiven Industrie eingesetzt werden soll. Foto: Kopf SynGas

Synthesegas aus Klärschlamm

Aus Klärschlamm lässt sich neben Phosphor gleichzeitig auch Synthesegas gewinnen. Dies zeigt ein neues Verfahren einer baden-württembergischen Firma. Chemieunternehmen können das Synthesegas als Rohstoff für chemische Substanzen nutzen oder etwa Zementwerke als Ersatzbrennstoff.

Alexander Neagos

Die Gasifizierung von Klärschlamm ist ein interessanter Ansatz, der die künftige Verwendung von Klärschlamm als Brennstoff in energieintensiven Industrieprozessen ermöglicht. Weil dabei ein brennbares Gas erzeugt wird, können Temperaturen von bis zu 1 500 °C erreicht werden. Der Klärschlamm kann dadurch als CO₂-neutraler Energieträger Kosten- und CO₂-intensive Primärenergieträger wie Erdgas oder Braunkohle er-

setzen. Das ist vor allem in der Zementproduktion und beispielsweise auch in der Kalkherstellung interessant.

Ein solches Verfahren, das SynGas-Verfahren, hat das Unternehmen Kopf SynGas GmbH & Co. KG aus Tübingen entwickelt. Es ist Joint Venture der Avat Automation GmbH, einer Regel- und Steuerungsexpertin aus Tübingen, und der Sülzle-Gruppe, einer Stahl- und Energieexpertin aus Rosenfeld.

Um Synthesegas aus Klärschlamm zu erzeugen, wird dieser in getrockneter

Form mit einem maximalen Restwassergehalt von 15 % benötigt. Werden dabei externe, regenerative Wärmequellen wie Ab- oder Sonnenwärme genutzt, steht am Ende CO₂-neutrales Synthesegas zur Verfügung.

Die Gasifizierung des getrockneten Schlammes erfolgt bei unterstöchiometrischen Bedingungen. Das heißt, dass verglichen mit einer vollständigen Verbrennung derselben Menge an Schlamm rund 75 % weniger Luft und damit 75 % weniger Sauerstoff eingesetzt werden. Durch

die unvollständige Verbrennung wird daher kein inertes Abgas, sondern ein immer noch brennbares Synthesegas erzeugt, eine Gasmischung, die vor allem aus Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H₂), Methan (CH₄) und Stickstoff (N₂) besteht.

Das SynGas-Verfahren überführt dabei den Energieinhalt des in fester Form eingebrachten Klärschlammgranulats mit einem Heizwert von 10 bis 12 MJ/kg mit einer Effizienz von etwa 85 % in das brennfähige Synthesegas. Neben Strahlungsverlusten geht hierbei vor allem die Wärme der zum Zwecke der Phosphorrückgewinnung abgetrennten Asche teilweise verloren.

Wirbelschichtverfeuerung

Kern des SynGas-Verfahrens ist die thermische Konversion des Klärschlammes in einer stationären Wirbelschicht bei Temperaturen zwischen 850 und 900 °C. Über pneumatische Fördereinrichtungen und Schnecken wird getrocknetes Klärschlammgranulat aus entsprechenden Vorlagesilos in den Reaktor gefördert.

Im Wirbelschichtreaktor wird in einem autothermen Prozess aus getrocknetem Klärschlamm das brennfähige Synthesegas erzeugt. Je nach Anwendung kann das Synthesegas in einem Zyklon grob entstaubt, in einem Luftvorwärmer auf 400 °C gekühlt und mithilfe eines keramischen Feinfilters restentstaubt werden.

Sowohl im Reaktor selbst als auch in Zyklon und Filter werden Asche und Stäube vollautomatisch entnommen und abgekühlt. Asche und Stäube enthalten wertvollen Phosphor und können zu Düngemitteln weiterverarbeitet werden.

Sehr interessant ist der Einsatz der SynGas-Technik bei der Herstellung von Zement. Als kompakte Vorschaltanlage eingesetzt, kann hier ein sogenanntes Brenngas-Modul CO₂-neutralen Ersatzbrennstoff für den Drehrohrofen oder Kalzinator bereitstellen. Solch ein Modul besteht aus einem Wirbelschichtreaktor, einem Zyklon und gegebenenfalls einem Luftvorwärmer.

Derzeit wird getrockneter Klärschlamm mit einem Wassergehalt von etwa 10 % in Zementwerken entweder über den Hauptbrenner in den Drehrohrofen oder als Zusatzbrennstoff in den Kalzinator zugeben. Er ist, weil er in der EU als CO₂-neutraler Brennstoff gilt, heute schon in Zementwerken ein beliebter Ersatzbrennstoff.



Die Klärschlammverwertungsanlage der Stadtwerke Koblenz von außen. Foto: Kopf SynGas

Fehlt Klärschlamm ab 2029?

Klärschlamm ist ein begehrter Rohstoff, weil er Phosphor enthält. So hat die Bundesregierung 2017 mit der Abfallklärschlammverordnung beschlossen, dass kommunale Klärwerksbetreiber von 2029 an schrittweise Phosphor aus Klärschlamm zurückgewinnen müssen. Damit droht, dass Klärschlamm als Brennstoff für die Zementindustrie in einigen Jahren ganz oder zu einem großen Teil wegfällt.

Andererseits wäre es für Zementwerke gut, wenn der im Klärschlamm enthaltene Phosphor nicht in den Zement eingebracht wird. Denn der über die Asche in den Zement gehende Phosphor schadet der Produktqualität, indem er die Festigkeit des Zements herabsetzt.

Mithilfe des SynGas-Verfahrens aus Tübingen kann Klärschlamm aber auch künftig als Brennstoff in der Zementherstellung eingesetzt werden. Es ermöglicht, die im Klärschlamm enthaltene chemisch gebundene Energie zu nutzen und gleichzeitig die wertvolle phosphorhaltige Asche abzutrennen. Die in der novellierten Abfallklärschlammverordnung ab 2029 vorgeschriebene Pflicht zur Phosphorrückgewinnung kann damit erfüllt werden.

Der aufgrund der großen spezifischen Oberfläche tendenziell mit Schwermetallen höher belastete Staub wird nicht im Zyklon abgeschieden und durch dem Zementofen zugeführt. Dort kann das Synthesegas über ein zu installierendes Satellitenrohr in den Drehrohrofen eingebracht werden, wobei die Qualität des Zementherstellungsprozesses sicherzustellen ist. Die einfachere Variante ist der Einsatz in einem Kalzinator, da hier die mechanischen Anforderungen an die Brenntechnologie und die Verbrennungstemperatur geringer sind.

Zudem ist die Einbringung in den Drehrohrofen zu beachten, da alleine durch die Verbrennung von Synthesegas die benötigten Temperaturen von rund 2 000 °C nicht erreicht werden können. Dies führt dazu, dass die Substitutionsrate von Primärenergie oder hochkalorischen Ersatzbrennstoffen durch Synthesegas auf etwa 15 % begrenzt ist.

Um höhere Heizwerte und damit Substitutionsraten zu erzielen, kann das Verfahren mit sauerstoffangereicherter Luft oder Wasserdampf als Gasifizierungsmedium betrieben werden. Die im Vergleich zu gewöhnlicher Luft geringere Konzentration an Stickstoff erhöht dabei den Anteil an brennbaren Bestandteilen im Synthesegas und infolgedessen die erzielbaren Verbrennungstemperaturen. Unabhängig vom zu wählenden Einbringungsort kann die bereits vorhandene Infrastruktur am Zementwerk genutzt werden, was einen signifikanten Vorteil gegenüber neu zu errichtenden Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen darstellt.

Weitere Anwendungen

Neben der Anwendung in Zementwerken stellt die Herstellung von kalzinierten Tonen für Komposit-Zemente eine weitere Option für die Kopplung mit einem Brenngas-Modul dar. Kalzinierte Tone können in Komposit-Zementen bis zu 30 % des klassischen Klinkers ersetzen, da sie ähnliche Eigenschaften besitzen. Bei der Kalzinierung der Tone wird im Vergleich zum klassischen Klinkerbrenner jedoch weitaus weniger CO₂ ausgestoßen. Besonders vorteilhaft für die Kopplung mit einem Brenngasmodul ist allerdings die Temperatur von 750 bis 850 °C, bei der die Kalzinierung stattfindet.

Dies ermöglicht eine sehr hohe Substitutionsrate von bis zu 100 % durch Synthesegas aus Klärschlamm. Der Einsatz des Gases ist darüber hinaus auch in Müllkraftwerken, Kalkbrennereien und Ziegelwerken denkbar (Tabelle).

Für ein ganzheitliches Konzept der Klärschlammverwertung in industriellen Feuerungsanlagen ist auch die Ascheverwertung zu betrachten. Das Unternehmen arbeitet bereits mit mehreren Partnern an einer Lösung, die Asche wirtschaftlich weiter zu verwerten. Angedacht ist hierbei, durch das Einbringen von Zusatzstoffen in den Synthesegas-Reaktor die Konzentration an Schwermetallen in der Asche zu verringern und gleichzeitig die

Industriebereich	Spezifische Prozessanforderungen	Konstruktive Anforderungen	Gesetzliche Bestimmungen	Maximale Ersatzquote Primärenergie durch Synthesegas
Zement	hohe Verbrennungstemperaturen (Klinkertemperatur 1450 °C) am Drehrohr	– zusätzlicher Satellitenbrenner am Drehrohr, – neuer Heißgasbrenner für den Kalzinator	– Klärschlammzuführung über den Hauptbrenner ist gängige Praxis – Genehmigung nach 17. BImSchV oft vorhanden, eventuell zu erweitern	~ 15 bis 20 %
Kalziniertes Ton	Verbrennungstemperatur <900 °C, Einsatz veralteter Zementanlagen möglich	analog Zement	analog Zement	bis zu 100 %
Müllkraftwerke	Anhebung der Brennkammertemperatur >850 °C im Teillastbetrieb	zusätzlicher Heißgasbrenner	Klärschlammmitverbrennung ist gängige Praxis	bis zu 100 % der Stützfeuerung
Kalkbrennereien	Ofentemperaturen ~1200 °C, Direktentswefelung durch den Kalk im Prozess, hoher Primärenergieersatz möglich	Anpassung aktuelle Brenner und Luftzufuhr, zusätzliche Abgasreinigung	Genehmigung als Mitverbrennungsanlage notwendig, 17. BImSchV	bis zu 80 %
Ziegeleien	keine Verunreinigungen im Synthesegas, instationäre Prozessführung	Anpassung aktuelle Brenner und Luftzufuhr, zusätzliche Abgasreinigung	Genehmigung als Mitverbrennungsanlage notwendig, 17. BImSchV	bis zu 60 %

Tabelle Mögliche Industriebereiche für die Nutzung von Synthesegas aus Klärschlamm.

Verfügbarkeit der vorliegenden Phosphorverbindungen in der Asche zu erhöhen.

Phosphor aus der Asche

Bei der Verwertung von Synthesegas aus Klärschlamm als Ersatzbrennstoff ist ein entsprechender Ascheverwerter als weitere Partei hinzuzuziehen. Bereits heute kann eine solche Anlage zur Synthesegaserzeugung ohne großen Aufwand etwa auf einem Zementwerksgelände installiert werden, ohne die Asche deponieren zu

müssen. Die Erzeugung von Synthesegas erlaubt zudem einen flexiblen Einsatz von Klärschlamm als Energiequelle.

Der Reststoff aus der Abwasseraufbereitung wird so Teil zur Lösung einer der zentralen Herausforderungen unserer Zeit: Dem ressourcenschonenden und nachhaltigen Einsatz von Energiequellen. Durch die Kombination aus energieintensivem Prozess und Gaserzeugung aus Klärschlamm kann existierende Infrastruktur genutzt werden, um Klärschlamm weiter als Ersatzbrennstoff ein-

zusetzen und die wertvolle Ressource Phosphor in den Nährstoffkreislauf zurückzuführen.

<https://kopf-syngas.de>



Dr.
**Alexander
Neagos**

Geschäftsführer
Kopf SynGas
GmbH & Co. KG

A.Neagos@kopf-syngas.de

Foto: Kopf SynGas

Der neue Maßstab in Sachen Effizienz und Flexibilität

Schraubengebläse

Volumenstrom 18 bis 105 m³/min, Druckdifferenz bis 1,1 bar

- **Synchron-Reluktanzmotor**
Vereinigt die Vorteile hocheffizienter Permanentmagnet- und robuster Asynchron-Motoren
- **Innovatives Anlagendesign**
Ermöglicht bei der Serie FBS Side-by-Side-Aufstellung
- **Anschlussfertig**
Mit kompletter Steuerung und Frequenzrichter bzw. Stern-Dreieck-Starter
- **Geräuscharmer Betrieb**
Durch effektive Schall- und Pulsationsdämpfung
- **CE- und EMV- Kennzeichnung**
Für minimalen Planungs- und Inbetriebnahmeaufwand



17. – 21. 4. 2023
**HALLE 4
STAND D12**

www.kaeser.com



Eine hohe Weizenерnte bedarf einer ausreichenden Düngung.
Foto: PantherMedia/thierrydu47

Fakten zu Phosphor und Klärschlamm

2017 hat die Bundesregierung beschlossen, die Abhängigkeit von Phosphoreinfuhren zu senken, indem Phosphor künftig aus Klärschlamm zurückgewonnen wird. Dieses Jahr müssen nun kommunale Klärwerksbetreiber entscheiden, wie sie von 2029 beziehungsweise 2032 an Phosphor aus Klärschlamm zurückgewinnen wollen. Sie können aus verschiedenen Möglichkeiten der Phosphorrückgewinnung auswählen.

Tabea Knickel

Phosphor ist ein Pflanzennährstoff und Baustein der Nukleinsäuren in DNA und RNA, somit ist Phosphor fester Bestandteil der Erbsubstanz und spielt als Komponente des Adenosintriphosphats (ATP) eine entscheidende Rolle im Energiestoffwechsel der Zellen.

Phosphor ist ein limitierender Faktor beim Pflanzenwachstum. Er fördert die Blüten-, Frucht- und Samenbildung. Phosphormangel führt bei Pflanzen zu kümmerlichem Wachstum, Rotfärbung der Blätter. Nach dem Bericht „Recyclingphosphate in der Düngung – Nutzen und Grenzen“ des Wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen des Bundesministeriums für Er-

nährung und Landwirtschaft (BMEL) von 2020 liegt der Phosphorbedarf der deutschen Lebensmittelproduktion bei jährlich rund 533 000 t Phosphor aus Wirtschafts- und Mineraldüngern.

Den größten Anteil dieses Bedarfs deckt die Landwirtschaft über organische Dünger wie Wirtschaftsdünger, Gärreste, Komposte, tierische Nebenprodukte und

Erntereste sowie immer noch Klärschlamm. Der Phosphor-Anteil in diesen organischen Düngern beträgt 380 000 t.

Im Schnitt der vergangenen drei Wirtschaftsjahre wurden 81 000 t Phosphor in Deutschland als mineralische Düngemittel abgesetzt. Doch Phosphor gilt als ein kritischer Rohstoff. Er wurde 2017 von der Europäischen Kommission in die Liste der versorgungskritischen Rohstoffe aufgenommen, nachdem 2014 zunächst Phosphatgestein in diese Liste aufgenommen wurde.

Rund 90 % der bekannten globalen geogenen Phosphorreserven liegen im Besitz weniger Länder. Die Ressource Phosphor steht also nicht überall gleichermaßen zur Verfügung. Deutschland selbst besitzt keine Phosphor-Lagerstätten und ist komplett auf Importe angewiesen.

Um das zu ändern, hat die Bundesregierung 2017 die Klärschlammverordnung, kurz AbfKlärV, novelliert. Von 2029 an soll ein Teil des lebenswichtigen Elements aus Klärschlamm oder Klärschlammasche zurückgewonnen werden. Um dieses Ziel zu erreichen wurden in den vergangenen Jahren und werden noch aktuell verschiedene Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm in Deutschland entwickelt und erprobt. Die ersten großtechnischen Anlagen wurden bereits gebaut und in den kommenden Jahren werden weitere folgen.

Der Klärschlammrend

Die jährlich anfallende Klärschlammmenge ist in den letzten Jahrzehnten aufgrund verbesserter Klärtechnik leicht zurückgegangen. Doch die Nutzung des Schlamms hat sich stark verändert. Früher wurde Klärschlamm vor allem stofflich in der Landwirtschaft verwertet. Datenerfassungen zeigen, dass 2010 mehr als 565 000 t der Klärschlamm-Trockenmasse in der Landwirtschaft eingesetzt wurden, 2021 waren es nach Angaben des Statistischen Bundesamtes in Wiesbaden noch 226 747 t. Davon ausgehend, dass diese Trockenmasse zu rund 3 % aus

Phosphor besteht, wurden 2021 auf diese Weise 6 800 t Phosphor auf Äcker ausgebracht.

Der Absatz an Phosphatmineraldünger dagegen lag im Schnitt den letzten drei Jahre bei 185 000 t Phosphat (P_2O_5) jährlich, das entspricht 81 000 t Phosphor



Auf einem Feld wird Mineraldünger ausgebracht. Foto: K+S

pro Jahr. Beachtet werden muss hier, dass im Wirtschaftsjahr 2021/2022 der Absatz an Mineraldünger aufgrund der stark gestiegenen Preise niedriger als gewöhnlich ausgefallen ist.

Schadstoffsenke

Klärschlamm stellt eine Schadstoffsenke dar, die Böden und Grundwässer belasten kann. Er enthält Schadstoffe wie Dioxine, polychlorierte Biphenyle, per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, Arzneimittelrückstände und auch Schwermetalle wie Blei, Cadmium, Kupfer und Quecksilber sowie Mikroplastik und Krankheitserreger.

Dieser Belastung hat die Bundesregierung 2017 mit der Novellierung der Düngeverordnung und der Novellierung der Klärschlammverordnung Rechnung getragen.

Die Düngeverordnung regelt die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln und auch den Einsatz von Klärschlamm als Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen. Seit 2017 muss nach der Verordnung jeder Flächenbewirtschafter eine schriftliche Düngebedarfsermittlung aufzeichnen. Außerdem wurden Ausbringzeiten für organische Dünger, die zulässigen Ausbringorte und die Art der Ausbringung eingeschränkt.

Da Klärschlamm auch Stickstoff enthält, müssen auch Einschränkungen, die für Stickstoffdünger gelten, beachtet werden. So wurde 2017 der Einsatz von Stickstoffdüngern „aus tierischer Herkunft“ auf „organisch“ geändert und auf maximal 170 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr begrenzt. Somit ist diese Regelung also auch für das Ausbringen von Klärschlamm relevant. Im Jahr 2020 wurden einige dieser Regeln weiter verschärft.

Die Folge ist, dass Klärschlämme immer seltener in der Landwirtschaft genutzt und stattdessen vermehrt in Verbrennungsanlagen verwertet werden.

Zeitliche Fristen

Mit der neuen Klärschlammverordnung wird die landwirtschaftliche Verwertung weiter eingeschränkt. Von 2029 an dürfen große Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 100 000 Einwohnerwerten (EW) ihren Klärschlamm nicht mehr auf landwirtschaftliche Flächen ausbringen; von 2032 an gilt dies auch für alle Kläranlagen einer Größe von mehr als 50 000 EW.

Von dann an dürfen nur kleinere Kläranlagen ihren Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen ausbringen. Dies betrifft vor allem die Kläranlagen im ländlichen Raum, die gering durch Industrien und Verkehr von Schadstoffen belastet werden.

Die Zwei-Prozent-Grenze

Alle Klärschlämme, die dann nicht mehr in die Landwirtschaft gehen dürfen und mindestens 2 % Phosphor in der Trockenmasse enthalten, müssen in ein Phosphorrecycling gehen. Hier gibt es zwei Vorgaben: Wird Phosphor aus Klärschlamm zurückgewonnen, muss mindestens 50 % des Phosphors aus Klärschlamm recycelt werden. Wird Phosphor aus Klärschlammasche recycelt, muss mindestens 80 % des Phosphors aus der Asche zurückgewonnen werden.

Klärschlamm kann auch mit anderen Verfahren, die mit Wärme arbeiten, behandelt werden – wie die hydrothermale Karbonisierung (HTC) und die Pyrolyse. Wird dabei Phosphor aus dem Klärschlamm abgetrennt und zurückgewonnen, gilt die 50 %-Quote bezogen auf den Phosphorgehalt im Klärschlamm. Befindet sich der Phosphor danach in der Kohle oder im Pyrolysat, sieht es anders aus: Da diese kohlenstoffhaltigen Reststoffe weder nach der deutschen Düngemittelverordnung noch nach der Düngeprodukteverordnung der EU als Phosphordüngemittel zugelassen sind, müssen sie weiter behandelt werden. Geschieht dies, gelten diese Verfahren als thermische Vorbehandlungen und dann muss 80 % des Phosphors aus dieser Kohle oder dem Pyrolysat recycelt werden.

Unter zwei Prozent

Klärschlämme, die weniger als 2 % Phosphor in der Trockenmasse enthalten, dürfen auch mit anderen Abfällen mitverbrannt und entsorgt oder in Zement- sowie Kohlekraftwerken eingesetzt werden. Die meisten Klärschlämme werden bald voraussichtlich thermisch verwertet. Wer allerdings aktuell seinen Klärschlamm anderweitig entsorgt und dies künftig auch tun will, muss die 2 %-Grenze in der Klärschlamm-trockenmasse einhalten. Hierfür können Struvit-Verfahren direkt auf Kläranlagen eingesetzt werden.

Theorie

Würde die gesamte Menge des in Deutschland anfallenden Klärschlammes aus der öffentlichen Abwasserbehandlung von 1,71 Mio. t Trockenmasse, also rund 50 000 t Phosphor, für den Düngeinsatz in der Landwirtschaft verwendet werden, könnte sie knapp 10 % des gesamten Phosphorbedarfs decken. Im Schnitt der vergangenen drei Wirtschaftsjahre wurden in Deutschland 81 000 t Phosphor als mineralische Düngemittel abgesetzt. Die 50 000 t Phosphor im Klärschlamm entsprechen 61 % davon. Soweit die Theorie.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) hat 2021 mit dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen im Vorhaben „Abschätzung zusätzlich aus Abwasser und Klärschlämmen kommunaler und gewerblicher Herkunft extrahierbarer Wertstoffe“, kurz „extraWert“, festgestellt, dass

sich realistischere durch Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm 41 bis 46 % des Mineraldüngerabsatzes decken ließen.

Qual der Wahl

Die kommunalen Kläranlagenbetreiber bereiten sich auf die Aufgabe des Phosphorrecyclings vor. Einige schließen sich zu Kooperationen zusammen, um gemeinsam eine Verbrennung und ein Phosphorrecycling zu planen, andere planen selbst auf ihrer Anlage eine Recyclingtechnologie und gründen hierfür Organisationen, wieder andere schreiben die Klärschlammverwertung aus. Ein großer Anteil der Kommunen hat allerdings noch nicht mit der Planung begonnen.

Das Angebot an technischen Möglichkeiten ist groß – **einige werden im Heft vorgestellt.**

Viele Kommunen sind zunächst um die Entsorgung besorgt. Sie planen vorerst eine Verbrennungsanlage und wollen danach eine P-Recycling-Anlage planen. Dies ist ein möglicher Weg; Klärschlämme gesammelt in einer Monoverbrennungsanlage zu verbrennen. Aus der Asche kön-

nen dann über verschiedene P-Recyclingtechnologien Dünger oder Phosphorsäure hergestellt werden.

Alternativ hierzu gibt es Verbrennungsverfahren, bei denen in den Verbrennungsprozess gezielt Zusatzstoffe zugegeben werden, um Schadstoffe abzureichern. Diese modifizierte Asche kann gegebenenfalls direkt als Düngemittel eingesetzt werden (nach einer Konfektionierung) oder wie andere Aschen in einer Phosphorrecyclinganlage verarbeitet werden. Darüber hinaus gibt es noch andere Verfahren, die mit hydrothormaler Karbonisierung oder Pyrolyse arbeiten.

Alternativ kann Phosphor auch auf der Kläranlage direkt durch eine Fällungsreaktion zurückgewonnen werden. Bei diesem Verfahren wird Struvit (Magnesium-Ammonium-Phosphat MAP) ausgefällt und abgetrennt. Dieses kann nach Konfektionierung als Düngemittel eingesetzt werden, seit einigen Wochen ist es sogar nach EU-Verordnung im Ökolandbau einsetzbar.

Ausblick 2029/2032

Nach aktuellen Daten und Umsetzungen werden viele Kommunen das Ziel Phosphorrückgewinnung von 2029 oder 2032 nur schwer einhalten können.

Die DPP empfiehlt allen Kommunen, sich dringlich mit der Umsetzung der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm zu befassen, um die gesetzlichen Vorgaben erfüllen zu können. Hierzu zählt auch, die gesamte Bandbreite der Technologien zur Phosphorrückgewinnung zu Beginn eines Vorhabens zu betrachten und die Auswahl des Verfahrens in Abhängigkeit der Gegebenheiten vor Ort zu treffen. Die DPP macht durch Infoveranstaltungen und Fachbeiträge auf das Thema aufmerksam und ist bereit, den Kommunen alle notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen. ■

www.deutsche-phosphor-plattform.de

PHOSPHOR-RATGEBER

Die Deutsche Phosphor-Plattform DPP e. V. mit Sitz in Frankfurt am Main bietet all jenen, die sich mit Phosphorrückgewinnung beschäftigen, ihre Hilfe als Informationsgeber und Vermittler an. Die Plattform ist im Austausch mit Behörden, Politiker*innen, Unternehmen und Kommunen, um Klarheit in der Gesetzgebung zu schaffen und mögliche Hürden in den Verordnungen gezielt anzusprechen, damit diese einfacher umzusetzen sind und dem Kreislaufgedanken sowie Ressourcenschutz nicht im Wege stehen. Die DPP führt Wissen und Erfahrungen der Akteure aus den einschlägigen Industrien, öffentlichen und privaten Organisationen sowie aus Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen mit dem Ziel einer nachhaltigen Nutzung des wertvollen Lebensstoffs Phosphor zusammen. Der gemeinnützige Verein wird von seinen Mitgliedern finanziert.



Tabea Knickel

Geschäftsführerin
 Deutsche Phosphor-
 Plattform (DPP)

info@deutsche-phosphor-plattform.de

Foto: DPP

Per Elektrodialyse zur Phosphorsäure

Phosphate können mithilfe von Säuren sauber aus Phosphatgestein, Struvit oder Klärschlammmaschen extrahiert werden. Dies zeigt eine in Sachsen entwickelte Technik. In der nachgeschalteten Elektrodialyse werden alle Störstoffe entfernt.

Jürgen Eschment, Reinhard Lohmeier, Gunther Martin, Jürgen Waller & Peter Fröhlich

In der EU zählen Phosphor beziehungsweise Phosphate aufgrund der Importabhängigkeit zu den kritischen Rohstoffen, deren Kritikalität Anfang 2022 deutlich zugenommen hat. Etwa die Hälfte der Phosphat-einfuhren nach Deutschland kam bislang in Form von Düngemitteln oder Grundstoffen von der russischen Halbinsel Kola, deren Lagerstätten überwiegend magmatischen Ursprungs sind und eine relativ geringe Schwermetallbelastung aufwiesen.

Um die Versorgung mit Phosphaten zu sichern, müssen alternative Lieferländer gefunden und die Wertschöpfungsketten der Phosphatversorgung neugestaltet werden. Durch bislang wenig genutzte Ansätze können heimische Sekundärrohstoffe erschlossen oder Phosphate aus Lagerstätten mit hohen Verunreinigungen umweltverträglicher und klimaschonender gewonnen werden.



Auf der Kläranlage Bottrop wird die Demonstrationsanlage für die Phosphorrückgewinnung nach dem Parforce-Verfahren gebaut. Dies ist ein Teilprojekt des Verbundprojekts „Amphore“, das der Ruhrverband koordiniert und an dem die Emschergenossenschaft, der die Kläranlage gehört, beteiligt ist. Foto: Hans Blosssey/EGLV

Ansatz Wertstoffchemie

Am Institut für Technische Chemie der TU Bergakademie Freiberg, Sachsen, wird der Ansatz der Wertstoffchemie verfolgt. Er beinhaltet eine herkunftsunabhängige Aufarbeitung primärer und sekundärer Rohstoffe zu einem Grundstoff in Primärproduktqualität. Ein Beispiel hierfür ist die patentierte „Parforce“-Technik¹⁾, ein Verfahren, das aus phosphathaltigen sekundären Stoffströmen oder Phosphatgesteinen hochreine Phosphorsäure erzeugt. „Parforce“ steht für „Phosphoric acid recovery from organic residues and chemicals by electrochemistry“. Phosphorsäure

wiederum ist eine Basischemikalie. Sie wird in der Lebensmittelverarbeitung eingesetzt, der Herstellung von Düngemitteln und vielen technischen Anwendungen.

Das nasschemische Parforce-Verfahren besteht aus vier Prozessschritten:

1. Die phosphathaltigen Einsatzstoffe werden mit einer Mineralsäure behandelt. Phosphate gehen dabei in Lösung.
2. Unlösliche Bestandteile wie Sand werden abgetrennt. Es entsteht ein klares Filtrat, die Roh-Phosphorsäure.
3. Aus der Roh-Phosphorsäure werden ein- und zweiwertige Ionen per Elektrodialyse entfernt. Das Diluat ist eine salzfreie verdünnte Phosphorsäure.

4. Aus dieser Säure wird Wasser so lange verdampft, bis sie sich auf die handelsübliche Konzentration zwischen 75 bis 80 % angereichert hat.

Da Chemieunternehmen Phosphorsäure bereits nach der Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien von 2006, der Reach-Verordnung, klassifiziert und bewertet haben, läuft das Prüfverfahren

F U ß N O T E

¹⁾ Europäisches Patent EP 3266742, Verfahren zur Herstellung von Phosphorsäure aus phosphorhaltigen Primär- und Sekundärrohstoffen, 2017.

für die aus Aschen, Struvit oder Phosphatgestein recycelte Phosphorsäure deutlich einfacher, als wenn man einen bisher völlig unbekannten Recyclingstoff zulassen und in Verkehr bringen möchte.

Mehrere Rohstoffe

Die vier Verfahrensschritte lassen sich auf mehrere Rohstoffe anwenden. Hierzu zählen Apatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) als phosphathaltige Gesteine und Calciumphosphate ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) aus der industriellen Wasseraufbereitung.

Auf Kläranlagen können so Phosphatsalze wie Magnesiumammoniumphosphat (MgNH_4PO_4), auch Struvit genannt, sowie Klärschlammaschen oder Klärschlammpyrolysate zu Phosphorsäure verarbeitet werden.

Mit verdünnter Salzsäure (HCl) oder verdünnte Salpetersäure (HNO_3) werden die Phosphate aus diesen Rohstoffen gelöst. Wird Salzsäure verwendet, entsteht Calciumchlorid (CaCl_2), das als Taumittel, also als Streusalzersatz, eingesetzt werden kann, als Nebenprodukt. Wird Salpetersäure verwendet, bildet sich Calciumnitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), ein Grundstoff etwa für die Düngemittelherstellung.

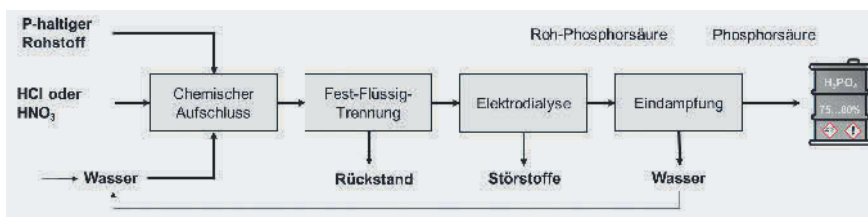
Die Elektrodialyse

Kernelement des Verfahrens ist ein elektrochemischer Membranprozess: die Elektrodialyse. In einem elektrischen Feld wandern dabei ein- und zweiwertige Ionen wie die des Natriums, Calciums, Magnesiums sowie von Schwermetallionen wie die des Nickels, Kupfers, Bleis, Cadmiums und Zinks durch Kationen- und Anionenaustauschermembranen und reichern sich im Konzentrat-Kreislauf an. Ebenso wandern die Säureionen Chlorid und Nitrat durch die Membranen.

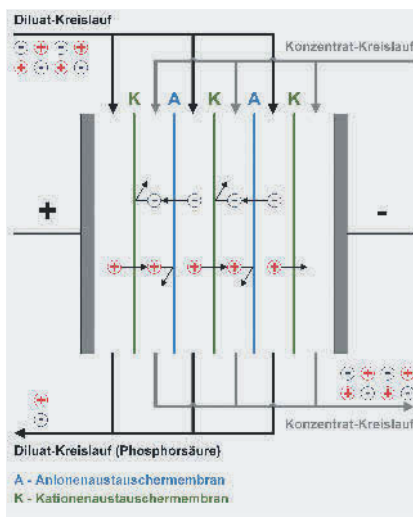
Das dreifach geladene Phosphat-Ion (PO_4^{3-}) der Rohphosphorsäure kann die Membranen jedoch nicht passieren und verbleibt im Diluat-Kreislauf.

Aus der Klärschlammasche werden mit diesem Verfahren mehr als 80 % des enthaltenen Phosphors zu Phosphorsäure umgesetzt.

Klärschlämme weisen unterschiedliche Phosphorgehalte auf, sodass nach Verbrennung die resultierenden Aschen eine Spannweite an Phosphorgehalten besitzen. Bei niedrigem Phosphorgehalt der Aschen von etwa 4 % werden 144 kg Phosphorsäure (75 %) je Tonne Asche



Funktionsschema der Parforce-Elektrodialyse. Grafik: Parforce Engineering & Consulting



Funktionsschema der Elektrodialyse zur Reinigung der Phosphorsäure. An- und Kationen werden herausgefiltert. Eine fast salzfreie Roh-Phosphorsäure bleibt zurück.

Grafik: Parforce Engineering & Consulting

zurückgewonnen, liegt der Phosphorgehalt bei 11 %, sind es 395 kg je Tonne Asche.

Phosphorsäure aus Erzen

Die weltweit größten, bekannten Phosphatlagerstätten befinden sich im nordafrikanischen Phosphatgürtel vor allem in Marokko. Diese Lagerstätten sind sedimentären Ursprungs und häufig stark mit Schwermetallen belastet.

Klassische Aufbereitungsverfahren zur Phosphorsäuregewinnung verwenden Schwefelsäure aus der Rohölverarbeitung, um Phosphate zu mobilisieren und Calcium abzutrennen.

Im Verarbeitungsprozess wird dabei viel Frischwasser verbraucht und es werden große Mengen an mit Schwermetallen verunreinigtem Calciumsulfat (CaSO_4) erzeugt. Dieses Sulfat wird meist direkt an der nordafrikanischen Atlantikküste im Meer verklappt.

Eine gezielte Abtrennung von Schwermetallen in der industriellen Phosphorgewinnung, deren Produkte größtenteils zur

Herstellung von Düngemitteln verwendet werden, erfolgt grundsätzlich nicht durch die Produzenten. Es sind nachgelagerte Spezialunternehmen, die die Phosphorsäure für spezielle Anwendungen im Lebensmittel-, Pharma- oder Elektronikbereich reinigen.

Bei der elektrochemischen Aufreinigung nach dem Parforce-Verfahren werden jedoch keine zusätzlichen problematischen Reststoffe erzeugt. Das bei der Eindampfung von Phosphorsäure anfallende Destillat-Wasser wird im Kreislauf geführt und als Waschwasser in der Filtration und für den Aufschluss der verdünnten Säure verwendet. Zusätzlich kann Meerwasser im Prozess eingesetzt werden, was Frischwasserressourcen schützt.

Die abgetrennten Schwermetalle werden ausgefällt, abgetrennt und entsorgt, sodass keine Verteilung in der Umwelt über Düngemittel erfolgen kann. Die erzeugte Phosphorsäure ist schadstoffarm und für die Düngemittelproduktion als Haupteinsatzbereich geeignet. Da der Parforce-Prozess Wärme und elektrische Energie benötigt, besteht vor allem im nordafrikanischen Phosphatgürtel ein großes Potenzial zur Nutzung von Solarthermie und Photovoltaik zur positiven Beeinflussung der Klimabilanz der Phosphatgewinnung.

Industrieller Reifegrad

Das damalige Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat von 2016 bis 2019 die Skalierung der Parforce-Technik in den industriellen Maßstab gefördert. Das Start-up Parforce Engineering & Consulting GmbH, Freiberg, vermarktet die Technik seit 2019. Für den Chemieanlagenbau haben das Freiburger Start-up und die CFH-Gruppe, ein erfahrener Spezialanlagenbauer aus Marl, Nordrhein-Westfalen, die Firma PTC – Parforce-Technology Cooperation GmbH mit Sitz in Marl, Nordrhein-Westfalen, als Joint Venture gegründet.



Zwei Mitarbeitende der Parforce Engineering & Consulting GmbH an der Demonstrationsanlage auf dem Campus der TU Bergakademie Freiberg. Foto: Parforce Engineering & Consulting/Detlef Müller

Die Firma PTC – Parforce-Technology Cooperation errichtet zurzeit im Rahmen des Verbundprojekts „Regionales Klärschlamm- und Aschen-Management zum Phosphorrecycling für einen Ballungsraum“, kurz „Amphore“ eine voll automatisierte Phosphorrecycling-Anlage auf der Kläranlage Bottrop der Emschergenossenschaft.

Die Anlage hat eine Kapazität von 1 000 Jahrestonnen und soll im Großmaßstab zeigen, dass das Verfahren auch bei unterschiedlichen Aschen mit geringem bis hohem Phosphorgehalt und unterschiedlichsten Zusammensetzungen sicher hochwertige Phosphorsäure und Nebenprodukte erzeugen kann. Die Anlage soll Ende 2023 in Betrieb gehen.

Das Amphore-Projekt ist ein Förderprojekt im Rahmen der Fördermaßnahme

„Regionales Phosphor-Recycling“ zur Entwicklung und zum Aufbau eines Klärschlamm- und Aschenmanagements, kurz „RePhoR“, dass das Bundesministerium für Bildung und Forschung unterstützt.

Phosphorsäure aus Struvit

Bei einem weiteren Projekt wird auf der Kläranlage Wolfsburg die vorgeschaltete Prozessstufe zur Gewinnung von Struvit aus Rohschlamm im Vollstrom installiert. Dies soll vor allem die Betriebssicherheit erhöhen. Denn dies vermeidet unerwünschte Verkrustungen durch Ablagerungen von Struvit in Rohrleitungen und Aggregaten.

Darüber hinaus soll mit dieser Phosphorabtrennung im Klärschlamm der Schwellenwert von 2 % Phosphor unter-

schritten werden, sodass dieser keiner Phosphorrückgewinnungsverpflichtung nach Abfallrecht mehr unterliegt.

Wird dann nach dem Parforce-Verfahren Phosphorsäure (H_3PO_4) aus Struvit gewonnen, entsteht als Nebenprodukt Magnesiumchlorid ($MgCl_2$). Dieses Salz kann als Magnesiumquelle für die erneute gezielte Struvit-Kristallisation auf der Kläranlage selber genutzt werden. Dies ist ein Beispiel einer praxistauglichen reststofffreien Kreislaufführung.

Fazit

Für die sichere Versorgung mit qualitativ hochwertigen Phosphaten aus der Erschließung sekundärer, heimischer Phosphatquellen und der Verarbeitung von Phosphaterzen aus stark mit schwermetallbelasteten Lagerstätten stehen bereits heute Technologien im industriellen Maßstab zur Verfügung.

Durch diese Technologien werden Importabhängigkeiten erheblich reduziert und die umwelt- und klimaverträgliche Erzeugung von Phosphaten gefördert. ■

<https://ptc-parforce.de>

Jürgen Eschment



Unternehmensentwickler
PTC – Parforce-Technology
Cooperation GmbH

info@ptc-parforce.de

Foto: TU Bergakademie
Freiberg/Detlef Müller

Reinhard Lohmeier

Geschäftsführer
PTC – Parforce-Technology
Cooperation GmbH

info@ptc-parforce.de

Gunther Martin

Verfahrensentwickler
PTC – Parforce-Technology
Cooperation GmbH

info@ptc-parforce.de

Jürgen Waller

Geschäftsführer
PTC – Parforce-Technology
Cooperation GmbH

info@ptc-parforce.de

Peter Fröhlich

Unternehmensentwickler
PTC – Parforce-Technology
Cooperation GmbH

info@ptc-parforce.de

CHEMISCHE REAKTIONEN

Nach dem Parforce-Verfahren kann Phosphorsäure aus verschiedenen Rohstoffquellen gewonnen werden. Dabei entstehen unterschiedliche Nebenprodukte:

(1) Calciumchlorid ($CaCl_2$) bildet sich, wird Apatit oder Klärschlammmasche mit verdünnter Salzsäure (HCl) behandelt:

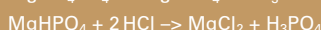


Der Düngerrohstoff Calciumnitrat ($Ca(NO_3)_2$) entsteht, wird Apatit oder Klärschlammmasche mit verdünnter Salpetersäure (HNO_3) versetzt:



(2) Ammoniak (NH_3) wird frei, wird Struvit (Magnesiumammoniumphosphat, $MgNH_4PO_4$) kalzinieren. Dabei entsteht auch Magnesiumhydrogenphosphat ($MgHPO_4$).

Wird danach Salzsäure zugegeben, bildet sich Magnesiumchlorid ($MgCl_2$):



Phosphorsäure aus Klärschlamm

Ein Rückgewinnungsverfahren, das sich in der Inbetriebnahme befindet, stammt aus Lünen in Nordrhein-Westfalen. Im Mittelpunkt steht Phosphorsäure.

Klärschlammmasche wird behandelt, Phosphorverbindungen gelöst, eine Rohphosphorsäure entsteht, die zu einer reinen Phosphorsäure aufbereitet wird.

Gregor Timmerhaus & Andreas Rak

In diesem Jahr haben kommunale Kläranlagenbetreiber nachzuweisen, wie sie die Phosphorrecyclingverpflichtung umsetzen wollen. Da seit der Novellierung der Klärschlammverordnung von 2017 bereits rund die Hälfte des Übergangszeitraums bis 2029 vergangen ist, bleibt den Verpflichteten angesichts der Planungs- und Realisierungszeiträume für geeignete Verfahrenstechniken oder Großanlagen nun nicht mehr viel Zeit, um die gesetzlichen Vorgaben erfüllen zu können.

Der Abfall- und Recyclingspezialist Remondis aus Lünen hat bereits, bevor der Gesetzgeber dies 2017 gefordert hat, im

Bereich der Wasserwirtschaft an Recyclingverfahren geforscht, um Rohstoffe möglichst effizient aus Klärschlamm zurückzugewinnen. Klärschlamm bietet ein sehr großes Recyclingpotenzial, enthält Klärschlamm doch insbesondere den lebensnotwendigen Rohstoff Phosphor.

Das TetraPhos-Verfahren

Mit dem von Remondis entwickelten und patentierten TetraPhos-Verfahren können Phosphor und weitere Rohstoffe recycelt werden. Der Stoffkreislauf wird durch die Produktion einer hochreinen Phosphorsäure aus Klärschlamm geschlos-

sen. In der Verfahrensführung wird eine feste Rückgewinnungsrate im Bereich von 83 bis 86 % eingestellt.

In diesem Bereich halten sich die Wirtschaftlichkeit und die Effizienz des Verfahrens in der Waage. Rückgewinnungsraten bis zu 95 % und darüber sind technisch möglich, aber wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll. Die Vorgaben der Klärschlammverordnung können sicher eingehalten werden.

Voraussetzung für dieses nass-chemische Verfahren ist eine vorgelagerte thermische Verfahrensstufe, in der bei Temperaturen von rund 850 °C auch Mikroplastik- und Medikamentenrück-

stände aus dem Klärschlamm eliminiert werden. In der Asche des verbrannten Klärschlammes ist Phosphor zu finden, welcher dann nach dem TetraPhos-Verfahren zurückgewonnen wird. Diese Aschen enthalten im Mittel rund 7 % Phosphor, es können aber auch 13 % sein.

Das Endprodukt, die recycelte Phosphorsäure wird „RePacid“ genannt, ist als wertvoller Sekundärrohstoff vielseitig verwendbar – beispielsweise in der Düngemittel- und Futtermittel-Industrie, aber auch als Korrosionsschutzmittel in der Automobilindustrie. Sie stellt so einen vollwertigen Ersatz für umwelt- und klimaschädliche Phosphorimporte dar.

Neben Phosphorsäure werden Sekundärrohstoffe wie Gips sowie Eisen- und Aluminiumsalze zurückgewonnen. Gips kann in der Baustoffindustrie verwendet werden, die Metallsalze als Fällmittel auf Kläranlagen. Der am Ende des Verfahrens überbleibende Ascherest kann als Zuschlagstoff in der Baustoffindustrie genutzt werden.

Fünf-phasiges Vorgehen

Phase 1: Klärschlamm wird nach der Faulung der weiteren energetischen Nutzung zugeführt. In einer Monoverbrennungsanlage mit Wirbelschichtkessel findet beim vorherrschenden deutlichen Sauerstoffüberschuss die entscheidende Umkristallisation der Metall-Phosphate in Calcium-Phosphat Verbindungen statt.

Phase 2: Klärschlamm-Asche wird in einem Reaktor mit verdünnter Phosphorsäure gemischt. Dabei lösen sich die Phosphate innerhalb kurzer Zeit fast vollständig auf. Danach wird der unlösliche Anteil der Asche abfiltriert. Das Filtrat ist die Roh-Phosphorsäure.

Phase 3: Das aus der Asche gelöste Calcium wird durch stöchiometrische Zugabe von Schwefelsäure aus der Roh-Phosphorsäure präzipitiert, kristallisiert als Calciumsulfat, das als Gips aus der Phosphorsäure abfiltriert wird. Dieser gewaschene Gips kann ähnlich wie REA-Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen als Sekundär-Rohstoff verwertet werden.

Phase 4: Mit Hilfe von Ionentauschern werden die restlichen Metalle wie Magnesium, Aluminium und Eisen entfernt. Durch Regeneration der Ionentauscherharze mit Säure entsteht eine Metallsalzlösung, die wieder zur Phosphatfällung in Kläranlagen eingesetzt werden kann. Hierdurch können Einsparungen in einer



Dieser QR-Code erlaubt, sich die TetraPhos-Anlage im Hamburger Hafen anzuschauen.
Grafik: Remondis

Größenordnung von 30 bis 40 % der bisher eingesetzten Fällsalze verwirklicht werden. Insofern wird durch dieses Verfahren nicht nur Phosphat als Phosphorsäure zurückgewonnen, sondern auch Calcium als Gips sowie Aluminium und Eisen als Metallsalz-Lösung.

Phase 5: Zuletzt wird die metallarme Rohphosphorsäure auf RePacid-Qualität gereinigt und auf marktgängige 75 % konzentriert. Diese Phosphorsäure ist in der Qualität mit technischer Phosphorsäure zu vergleichen. Ferner bietet das Verfahren die Möglichkeit verschiedene Reinheitsgrade für die jeweiligen Anwendungszwecke darzustellen.

Das Ergebnis

Die Phosphorsäure RePacid ist ein vollständig marktfähiger und gängiger Se-

kundärrohstoff. Er kann ohne Einschränkung als Grundstoff vielseitig eingesetzt werden. RePacid erfüllt dabei die Anforderungen der Industrie an einen Sekundärrohstoff durch konstante Qualität und Verfügbarkeit, flexible einsetzbare Form zu marktfähigen Kosten.

Erstmals schließt Remondis mit diesem Verfahren so den Stoff- und Wirtschaftskreislauf für Phosphor. Das Verfahren selbst hat den großtechnischen Reifegrad erreicht und nimmt eine Vorreiterrolle im Bereich des Phosphorrecyclings ein. Die weltweit erste großtechnische Anlage zum Phosphorrecycling wird derzeit im Hamburger Hafen im Rahmen einer Öffentlich-Privaten Partnerschaft in Betrieb genommen (s. **Kasten**).

Konsequent recyceln

Ressourcenschutz steht dabei im Vordergrund. Im Vergleich zur Gewinnung von Phosphorsäure aus natürlichen Quellen werden durch eine Phosphorrückgewinnungsanlage wie im Hamburger Hafen einmal rund 60 % CO₂ eingespart. Und es werden Phosphorerz-Lagerstätten wie in Nordafrika geschont.

Mit dem TetraPhos-Verfahren werden Klärschlämme stofflich und energetisch verwertet und neben Phosphorsäure wertvolle Salze zurückgewonnen. Kläranlagen stellen daher Rückgewinnungsanlagen für sauberes Wasser, Energie, Phosphor und Mineralien dar.

Alleinige Verbrennung des Klärschlammes reicht künftig nicht mehr aus, um den gesetzlichen und umweltpolitischen Vorgaben gerecht zu werden. Die Branche ist aufgerufen, den Weg des Recyclings konsequent anzugehen und umzusetzen. ■

www.remondis-aqua.de

HAMBURGER HAFEN

Die Hamburger Phosphorrecyclinggesellschaft mbH betreibt die weltweit erste großtechnische Anlage zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm-Asche auf dem Klärwerk Hamburg. Die Gesellschaft wurde im März 2018 in Hamburg gegründet. Beteiligt sind zu 60 % die Hamburger Stadtentwässerung AöR, ein Unternehmen von Hamburg Wasser, und zu 40 % die Remondis Aqua Industrie GmbH & Co. KG.



Gregor Timmerhaus

Geschäftsführer
TetraPhos GmbH

info@remondis-aqua.de

Foto: Remondis



Andreas Rak

Geschäftsführer
TetraPhos GmbH

info@remondis-aqua.de

Foto: Remondis

Phosphor – direkt aus dem Überschussschlamm

Ein Verfahren, das Eisenphosphate im Überschussschlamm aufschließt, erweitert die dezentralen Verfahrensmöglichkeiten zum kommunalen Phosphorrecycling. Dank geschickter Verfahrensführung werden die Phosphate wieder gelöst und von Mineralien und Eisen abgetrennt.

Christine Oepfert & Joachim Clemens

Von 2029 an müssen größere Kläranlagen Phosphor recyceln, falls dessen Gehalt 2 % im Trockenrückstand des Klärschlammes übersteigt. Momentan gehen die meisten Fachleute davon aus, dass die Monoklärschlammverbrennung der erste verfahrenstechnische Schritt sein muss, um das Phosphat wiederverwerten zu können. Daran angeschlossen sind chemische Prozesse, die Phosphate aus der Asche herauslösen und dann aufkonzentrieren. Endprodukte können Phosphorsäure, Dicalciumphosphat oder Struvit sein. Durch die Monoklärschlammverbrennung gehen aber etablierte Verwertungswege für Klärschlammverwertung, wie die Mitverbrennung in der Zementindustrie verloren.

Die Firma SF-Soepenber aus Hünxe in Nordrhein-Westfalen hat basierend auf ihren Erfahrungen in der Schlammverwertung der Getränkeindustrie und dem Betrieb industrieller Abwasserbehandlungsanlagen das Verfahren „iPhos“ entwickelt. Das Verfahren kann viele Kläranlagen dazu befähigen, vor Ort den Phosphorgehalt im Klärschlamm gezielt unter die 2 %-Grenze in der Trockenmasse zu senken. Das Verfahren arbeitet im Abwasser und kommt deshalb ohne zusätzliche Klärschlammtransporte aus und benötigt einen geringen Energie- sowie einen moderaten Chemikalieneinsatz.



In diesem Nachklärbecken der Kläranlage Gifhorn entsteht der Überschussschlamm. Aus diesem Stoffstrom kann mit dem iPhos-Verfahren der Firma SF-Soepenber Phosphor mit einem Eisenaufschluss herausgelöst und Struvit ausgefällt werden. Foto: Klärwerk Gifhorn

Das Verfahren

Das Verfahren basiert auf einer Kombination chemischer Gleichgewichts- und Fällungsreaktionen, die vom Säuregrad abhängen und dazu führen, dass sich ausgefällte Eisenphosphate zuerst auflösen und anschließend Phosphate als Struvit ausgeschleust werden.

Die Firma betreibt seit November 2021 eine Versuchsanlage in der Kläran-

lage Gifhorn in Niedersachsen mit einem Durchsatz von 400 bis 1 000 l Abwasser stündlich. Dort hat die Firma die einzelnen Reaktionsschritte untersucht und verbessert.

In dieser Kläranlage fällt täglich eine Phosphorfracht von im Schnitt 87 kg an. Eigene Berechnungen haben gezeigt, dass wenn der ganze Klärschlamm mit dem iPhos-Verfahren behandelt wird, täglich etwa 55 kg Phosphor aus dem Über-

schussschlamm entfernt werden würden. Dies würde einer Reduktion der Phosphorfracht von 65 % im Überschussschlamm entsprechen. Der Phosphorgehalt im Klärschlamm könnte damit in Gifhorn auf bis zu 13 kg Phosphor pro Tonne Trockensubstanz gesenkt werden.

Die Planungen für eine größere Versuchsanlage mit einem Durchsatz von stündlich 1 bis 8 m³ sind in Gange. Damit ist der derzeitige Verfahrensstand vergleichbar mit dem vieler anderer Verfahren. Diese Versuchsanlage soll Ende 2023 als voll automatisierte Anlage in Betrieb sein.

Verfahrensdetails

Im Belebungsbecken, aus dem das gereinigte Abwasser in die Nachklärung zur Ableitung in den Vorfluter, also den Fluss, gelangt, wird Phosphat mit Eisensalzlösungen zu Eisenphosphat (FePO₄) ausgefällt. Dieses Salz ist schwer löslich, wird Teil des Überschussschlammes, der im Wesentlichen aus organischer Biomasse besteht. Der Schlamm wird herkömmlich eingedickt, einer anaeroben Behandlungsstufe zugeführt, entwässert und verwertet oder direkt entwässert und verwertet.

Das iPhos-Verfahren setzt am Überschussschlamm an. In einem Reduktionstank werden dem Schlamm schwefelhaltige Reduktionsmittel wie Dinatriumsulfid (Na₂S) hinzugegeben. Diese verändern dort das sogenannte Redoxpotenzial, das beschreibt, wie leicht sich Chemikalien oxidieren oder reduzieren lassen.

Nach Zugabe der Sulfide wird dreiwertiges Eisen (Fe³⁺) im Eisenphosphat



In diesem Container behandelt die Firma SF-Soepenbergs auf der Kläranlage Gifhorn Überschussschlamm (ÜSS) mit einem Durchsatz von 400 l/h. Vorne links ist der Schaltschrank zu sehen. Die grünen Rohre dahinter sind Teil des Rohrreaktors, in dem der ÜSS angesäuert, mit Eisen gefällt und ausgeflockt wird. Über dem Rohrreaktor befinden sich zwei Schränke mit Dosierpumpen. Dahinter im IBC-Container findet die ÜSS-Abtrennung statt. Davor stehen Chemikalienlösungen wie Flockungsmittel und Magnesiumhydroxidlösung. Die Struvitfällung erfolgt im nicht einsehbaren Teil des Containers.

Foto: SF-Soepenberg

zu zweiwertigem Eisen (Fe²⁺) reduziert. Infolgedessen löst sich das Eisenphosphat auf. Die Geschwindigkeit dieser Reaktion hängt von der Menge des Reduktionsmittels und der Temperatur ab. Im Sommer geht es schneller als im Winter.

In einem zweiten Schritt wird beispielsweise mit Schwefelsäure solange angesäuert, bis der Säuregrad knapp unter pH 4 liegt. Damit wird weiteres Phosphat aus Eisenphosphat frei, sodass jetzt bis zu 85 % des Phosphors im Überschussschlamm als Phosphat gelöst sind.

Danach werden die Eisenionen gezielt gefällt, um zu verhindern, dass diese wieder zu Eisenphosphat ausfallen. Dazu werden Sulfide wie Dinatriumsulfid eingesetzt. Es entsteht Eisensulfid (FeS), das mithilfe von Flockungsmitteln gemeinsam mit dem Überschussschlamm ausgefällt und durch eine Bandfiltration abgetrennt wird.

Im nächsten Schritt werden basisch wirkende Magnesiumverbindungen wie Magnesiumhydroxid (Mg(OH)₂) dem Filtrat hinzugegeben. Der Säuregrad steigt auf einen pH-Wert von über 8 und Struvit, also Magnesiumammoniumphosphat (MAP), fällt aus.

Verfahrenstechnisch bedeutet das iPhos-Verfahren für Klärwerke zwei zusätzliche Schritte: den Eisenphosphataufschluss und die Struvitfällung.

Eisenphosphataufschluss

Die verschiedenen Aufschlussreaktionen laufen in zwei zusätzlichen Reaktoren ab. Zuerst verweilt der Schlamm 3 bis 16 Stunden in einem stetig durchflossenen Behälter, dem Reduktionstank, dabei wird der Schlamm chemisch reduziert. Anschließend gelangt der Schlamm in den Rohrreaktor, in dem die meisten Reaktionen stattfinden. Der Schlamm durchläuft diesen innerhalb von 15 Minuten. Zur Prozesskontrolle ist eine pH-Sonde nötig.

Hinter dem Rohrreaktor befindet sich dann die in der Kläranlage bereits vorhandene Schlammeindickung oder -entwässerung, sodass der Belebtschlamm dann wie gewohnt eingedickt oder entwässert werden kann. Das Filtrat enthält



LÖSUNGEN FÜR DIE ZUKUNFT

Wärme recyceln, Energiekosten sparen, CO₂-Ausstoß reduzieren.

Unsere Industriewärmepumpe ThermBooster™ erzeugt Dampf und Heißwasser bis 165 °C. Wir beraten Sie individuell und begleiten Sie durch den gesamten Projektablauf bis zur Inbetriebnahme und darüber hinaus.



**Hot.
Efficient.
Green.**

das freigesetzte Phosphat und der Schlamm ist phosphatarm.

Struvitfällung

Das freigesetzte Phosphat im Filtrat wird in einem Struvitfällungstank durch Zugabe von Magnesiumhydroxid als Struvit ausgefällt. Dabei ist Struvit nicht gleich Struvit: Liegen im Belebtschlamm nur wenig Ammoniumionen (NH_4^+) vor, fallen andere Struvite wie Magnesium-Kalium-Phosphat, Magnesium-Natrium-Phosphat oder Dimagnesium-Kalium-Natrium-Diphosphat aus.

Die so hergestellten Struvite können in einem Düngemittelwerk zu einem quasi schwermetallfreien Düngemittel aufgearbeitet werden. Dieses eignet sich als Langzeitdünger für Phosphor und möglicherweise auch Kalium oder für Stickstoff – je nachdem, welches Struvit ausgefallen ist.

Im Gegensatz zu anderen Struvitquellen aus kommunalen Kläranlagen zeigt sich, dass Verunreinigungen etwa durch Kunststoffe im iPhos-Struvit deutlich seltener sind, wenn das Struvitmineral aus dem Zentrat der Anaerobstufe gewonnen wird. Der Grund hierfür ist, dass die Fremdstoffe, die durch die Rechenanlagen gelangen, vorab mit dem Rohschlamm abgetrennt wurden, in der Anaerobstufe wieder dem Abwasser zugeführt werden und somit zur Verunreinigung beitragen.

Wirtschaftlichkeit

Die Firma SF-Soepenbergt gibt den Kläranlagen die Garantie, das Struvit abzunehmen, sodass die Entsorgung beziehungsweise die Verwertung des Materials langfristig gesichert ist.

Für das iPhos-Verfahren benötigen Klärwerksbetreiber moderate Mengen an reduzierenden Schwefelbedingungen, Schwefelsäure und Magnesiumhydroxid.

Der Wärmeeinsatz zur Erwärmung des Schlamms auf maximal 25 °C begrenzt die einzusetzenden Chemikalienmengen, genauso wie höhere Reaktionszeiten. Die genauen Chemikalienmengen bestimmt die Firma kläranlagenabhängig in einem etablierten Laborverfahren.

Bisherige Erfahrungen zeigen, dass der notwendige Chemikalieneinsatz unter dem des Phosphorrecyclings nach einer Monoklärschlammverbrennung liegt. Bisherige Wege der Klärschlammverwertung außerhalb der Landwirtschaft bleiben ebenfalls bestehen.



Verschiedene Struvite: Oben zu sehen ist im iPhos-Verfahren gewonnenes Struvit. Das Mineral ist feinkörnig (<1,4 mm) und weist kaum Fremdstoffe auf. Zum Vergleich sind in der Mitte drei Siebfractionen (von links nach rechts: >2,35 mm, <2,35 mm < 1,4 mm) eines Struvits zu sehen, das im Zentrat eines Anaerobschlamms ausgefällt wurde. Aus jeder Fraktion wurden die makroskopischen Fremdstoffe herausgesucht und unter die jeweilige Fraktion gelegt. Foto: SF-Soepenbergt

Grenzen & Ausblick

Im iPhos-Verfahren werden Eisenphosphatverbindungen chemisch reduziert. Zudem scheinen zum Teil auch andere Phosphorfraktionen mit dem Verfahren aufgeschlossen zu werden, sodass es sich wohl auch in Anlagen mit kombinierter Bio-P/Eisenfällung eingesetzt werden kann. Bio-P ist eine biologische Phosphorelimination durch Bakterien, die unter bestimmten Umweltbedingungen, einem Wechselspiel zwischen anaeroben und aeroben Verhältnissen, Phosphate in ihren Zellen anreichern und somit aus dem Abwasser entfernen.

Aluminiumphosphate werden jedoch nicht aufgeschlossen, sodass die Aluminiumfällung ein Ausschlusskriterium für das Verfahren darstellt.

Zurzeit erfolgen Versuche zum Wiedereinsatz des Eisensulfids als Fällmittel. Dadurch könnten sich für Klärwerksbetreiber die Kosten für den Einsatz von Eisen um bis zu 60 % verringern. Zu diesem Zweck ist die Abtrennung des Eisensulfids vom Belebtschlamm notwendig, was momentan erprobt wird.

Das Verfahren ist dezentral auf Kläranlagen einsetzbar. Es verringert aufwen-

dige Transportwege des Schlamms zu Klärschlamm Trocknungs- und Monoverbrennungsanlagen.

Das Endprodukt Struvit ist ein Dünger, der mineralischen Düngern nicht nachsteht. In Form von Magnesium-Ammonium-Phosphat handelt es sich sogar um ein Düngemittel, das bei gleichbleibender Düngung die Nitratauswaschung und Lachgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden verringert.

Struvit für die Wurzeln

Denn das im Struvit enthaltene Ammonium wird nur dann freigesetzt, wenn sich der Dünger in einer leicht sauren Umgebung befindet. Pflanzenwurzeln scheiden organische Säuren aus, sodass diese das Struvit auflösen und die freigesetzten Phosphat- und Ammoniumionen direkt mit Wasser aufnehmen können.

Dadurch kommt das freigesetzte Ammonium kaum mit im Boden lebenden Bakterien, die Ammonium zu Nitrat oxidieren und gegebenenfalls auch zu Stickstoff oder Stickstoffoxiden reduzieren können, in Kontakt. Dies sind die beiden relevanten bodenbürtigen Prozesse, durch die Lachgasemissionen entstehen. Das gebildete Nitrat kann zudem bei Starkregen ins Grundwasser ausgetragen werden.

Es wäre vermessen anzunehmen, dass die zusätzlich für iPhos notwendigen Arbeitsschritte ohne zusätzlichen Arbeitsaufwand zu bewältigen sind. Dabei ist aber zu bedenken, dass im Vergleich zu zentralen Anlagen zur Monoverbrennung und zum Phosphorrecycling jeweils vor Ort Investitionen getätigt und Arbeitsplätze gesichert werden. ■

www.soepenbergt.com



Christine Oepfert

Forschung & Entwicklung
SF-Soepenbergt GmbH

c.oepfert@soepenbergt.com

Foto: privat



Dr. Joachim Clemens

Forschung & Entwicklung
SF-Soepenbergt GmbH

j.clemens@soepenbergt.com

Foto: SF-Soepenbergt



Die erste Ash2Phos Anlage soll im Jahr 2025 im Chemiepark Schkopau in Sachsen-Anhalt in Betrieb gehen. Grafik: EasyMining Sweden AB

Sauberes Phosphat aus Klärschlammmasche

Nasschemisch gelingt es einem schwedischen Unternehmen, aus Klärschlammmasche ein schwermetallarmes Calciumphosphat, das sich als Dünger eignet herzustellen. Dazu wird die Asche mit Salzsäure aufgeschlossen und der wertvolle Phosphor mit einigen Verfahrensschritten abgetrennt.

Philipp Theuring & Christian Kabbe

Die sichere Rückführung von Phosphor aus Klärschlamm in den landwirtschaftlichen Kreislauf ist ein Meilenstein für eine nachhaltige Nutzung dieser kritischen Ressource.

Die EasyMining Sweden AB mit Sitz in Uppsala, Göteborg und Berlin hat einen Prozess zur sauberen und effizienten Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammmaschen mit dem Namen Ash2Phos entwickelt und patentiert. Dieser Prozess basiert auf der nasschemi-

schen Behandlung von Klärschlammaschen oder anderen phosphoreichen mineralischen Materialien.

Der zurückgewonnene Phosphor wird als sauberes, schwermetallarmes Calciumphosphat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), RevoCaP genannt, zurückgewonnen. Dieses kann auf vielfältigen Wegen in der Landwirtschaft verwendet werden. Daneben werden bei dem Verfahren neben Phosphor weitere wertvolle Bestandteile der Asche als separate Co-Produkte zurückgewonnen.

Grundsätzlich gibt es verschiedene Verfahren zur Phosphorrückgewinnung.

Abzusehen ist, dass die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammmasche mengenmäßig die Hauptrolle spielen wird.

Explizite Klärschlammverbrennung, die sogenannte Monoverbrennung ermöglicht es, den Energiegehalt von Klärschlamm effizient zu nutzen und gleichzeitig organische Schadstoffe wie per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sowie Mikroplastik und Krankheitserreger zu zerstören.

Vor dem Hintergrund der Pflicht, Phosphor zurückzugewinnen, sollten sich die Monoverbrennungskapazitäten in



Die Ash2Phos-Pilotanlage in Uppsala, Schweden. Foto: EasyMining Sweden AB

Deutschland bis etwa 2030 von zirka 700 000 auf etwa 1,2 bis 1,4 Mio. t Trockenmasse pro Jahr verdoppeln.

Aufgrund der Schadstoffbelastung und der geringen Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in der Asche ist eine direkte Ausbringung dieser zu Düngezwecken weder sinnvoll noch empfehlenswert. Die Monoverbrennung von Klärschlamm ist als thermische Vorbehandlung mit dreifacher Funktion zu sehen: Sie macht eine effiziente Phosphorrückgewinnung erst möglich, neben der energetischen Verwertung werden gleichzeitig organische Schadstoffe zerstört und es findet eine Volumenreduktion statt.

Fünfte Reinigungsstufe

Die Verbrennung fungiert damit als fünfte Reinigungsstufe im Gesamtkontext der Abwasserbehandlung und stellt ein mineralisches Konzentrat, die Asche, zur Weiterverarbeitung bereit. Die Aschen sind leichter als Klärschlamm zu lagern, zu transportieren und sie lassen sich auch zentralisiert und kumuliert mit erhöhter Mengenrelevanz verarbeiten.

Die Asche ist Ausgangsstoff für verschiedene Phosphorrückgewinnungsverfahren. Prinzipiell lassen sich diese grob in zwei Verfahrenstypen unterscheiden. Entweder wird Phosphor in der Abfallmatrix belassen, oder aus dieser extrahiert.

Das Ash2Phos-Verfahren

Der Prozess besteht aus mehreren aufeinanderfolgenden chemischen Reaktio-

nen, die bei Raumtemperatur stattfinden. Es werden keine Druckbehälter oder außergewöhnliche Materialien für die Ausrüstung benötigt. Die wesentlichen Inputmaterialien sind Salzsäure und Kalk neben der Klärschlamm-Asche selber.

Wird die Asche mit Salzsäure (HCl) aufgeschlossen, gehen sowohl Phosphor als auch Calcium zu 90 bis 95 % in Lösung, Aluminium zu 50 bis 60 % und Eisen zu 10 bis 20 %.

Danach erfolgt der erste Separationsschritt, bei dem die ungelösten Reststoffe in der so genannten Sandfraktion abgetrennt werden. Dieser Rückstand wird abfiltriert und kann in die Baustoffindustrie als Rohstoff eingesetzt werden: als partieller Zementersatz in Beton eingesetzt, auch um CO₂ zu sparen.

Nach dieser Abtrennung wird die saure Lösung durch eine Anhebung des Säuregrades, also des pH-Wertes, neutralisiert. Dabei werden nacheinander Phosphate, Eisen und Aluminium aus der Lösung ausgefällt und jeweils abfiltriert.

Dabei wird zuerst der pH-Wert durch Zugabe von Kalkmilch, einer Suspension von Calciumhydroxid (Ca(OH)₂) in Wasser, so weit angehoben, bis Phosphor als Calciumphosphat (Ca₃(PO₄)₂) ausfällt und abfiltriert wird. In weiteren Schritten werden auch Eisenchlorid (FeCl₃) sowie Natriumaluminat (NaAl(OH)₄) abgeschieden.

Nach der Abtrennung von Phosphat, Eisen und Aluminium verbleiben im Filtrat Calcium, Schwermetalle sowie Fluor. Diese Stoffe werden separat ausgefällt und als Schwermetallfiltrat abgetrennt.

Diese Phosphatextraktion ermöglicht es durch das effiziente Abtrennen des Eisens, des Aluminiums und der Schwermetalle, als Phosphatrezyklat ein sehr sauberes Calciumphosphat, das RevoCaP, herzustellen.

Durch diese schrittweise Vorgehen ist dieses Verfahren unabhängig von der Zusammensetzung der Aschen und somit auch der Qualität des Klärschlammes. Es liefert daher ein definiertes, universell einsetzbares Produkt.

Düngerrohstoff RevoCaP

Das Rezyklat RevoCaP ist vielfach einsetzbar. Er eignet sich beispielsweise, um hochwertige Apatitphosphate zur Herstellung sauberer Düngemittel oder Phosphorchemikalien zu ersetzen.

Darüber hinaus ist das Rezyklat durch seine Wasserunlöslichkeit bei gleichzeitiger, sehr hoher Citratlöslichkeit hervorragend als Langzeitdünger geeignet. Die hohe Citratlöslichkeit zeigt an, dass Pflanzen den Phosphor in RevoCaP langsam aufnehmen können und somit gut verwerten können. Da RevoCaP kaum wasserlöslich ist, wird es zudem kaum aus dem Boden ausgewaschen.

Da das Rezyklat durch die vorherige Detoxifikation im Ash2Phos-Prozess nur sehr geringe Mengen an Fluor und Schwermetallen enthält, ist es sogar potenziell als Futterphosphat in der Nutztierhaltung einsetzbar.

Homogenes Produkt

Für das Vermarkten ist entscheidend, dass Phosphorrezyklate in homogenen marktüblichen Zusammensetzungen vorliegen, die von etablierten Wertschöpfungsketten verarbeitet werden können, ohne dass bestehende Prozessschritte angepasst werden müssen. Auch Mengen und deren zuverlässige Lieferung sind sehr wichtig. Heterogene Rezyklate oder „exotische“ Zusammensetzungen werden es schwer haben Abnehmer zu finden oder marktübliche Preise zu erzielen.

Da Klärschlamm-Asche durchschnittlich nur rund 9 % Phosphor enthält, ist auch die mögliche Nutzbarmachung der übrigen Aschebestandteile für eine umfassende Abfallreduktion und die Schließung weiterer Stoffkreisläufe wichtig.

Klärschlamm-Asche besteht hauptsächlich aus den fünf chemischen Elementen Phosphor, Calcium, Eisen, Aluminium

und Silizium in Form von Oxiden und anderen anorganischen Verbindungen. Im Ash2Phos-Prozess werden daher neben dem Phosphor weitere Wertstoffe in marktfähiger Form zurückgewonnen.

Recycelte Fällmittel

Auch das in der Asche enthaltene Eisen und Aluminium werden durch den Salzsäureaufschluss gelöst. In weiteren Schritten wird dann zuerst Eisen als Eisenchlorid (FeCl_3) und danach Aluminium als Natriumaluminat ($\text{NaAl}(\text{OH})_4$) abgetrennt. Um jeweils marktübliche Konzentrationen an dem Chlorid oder dem Aluminium zu generieren, können diese durch Evaporation aufkonzentriert werden.

Eisenchlorid wird hauptsächlich zur Phosphateliminierung auf Kläranlagen genutzt und ist, insbesondere bei der jüngeren Fällmittelnknappheit, ein begehrtes und für die Abwasserreinigung essenzielles Gut. Im Ash2Phos-Prozess zurückgewonnen, wird das Eisen somit direkt in den Kreislauf, dem es entstammt zurückgeführt. Auch Natriumaluminat kann als Fällmittel eingesetzt werden, ist aber darüber hinaus auch in der chemischen In-

dustrie zur Herstellung von Zeolithen oder Pigmenten, sowie in der Papierindustrie als wichtiger Rohstoff im Einsatz.

Durch den Ash2Phos Prozess werden somit mindestens 95 % der Klärschlamm-masche in verschiedenen Stoffkreisläufen separat und funktional verwertet.

Schwermetalle entsorgt

Die in Lösung gebrachten und von den Wertstoffen separierten Schwermetalle werden aus der Wasserphase gefällt und abfiltriert. Als Schadstoffsenske im Ash2Phos-Prozess entsteht ein separates Schwermetallkonzentrat, welches fachgerecht entsorgt oder je nach Region einer metallurgischen Verwertung zugeführt wird.

Ausblick

Die Phosphorrückgewinnungspflicht tritt Anfang 2029 in Kraft. Es ist somit nur noch sechs Jahre Zeit, die dafür benötigten Kapazitäten zu schaffen. Angesichts der bekannten Zeitschienen für Projekte in Deutschland ist diese Zeit bereits sehr knapp.

Zusammen mit dem Infrastruktur- und Versorgungsunternehmen Gelsenwasser aus Gelsenkirchen hat EasyMining 2021 die Phosphorgewinnung Schkopau GmbH gegründet, um die erste Ash2Phos-Anlage Deutschlands im Chemiapark Schkopau zu errichten.

www.easymining.se



Dr.
**Philipp
Theuring**

Market Developer
EasyMining Sweden AB

philipp.theuring@easymining.se

Foto: EasyMining Sweden AB



Dr.
Christian Kabbe

Managing Director
EasyMining Sweden AB

christian.kabbe@easymining.se

Foto: EasyMining Sweden AB

SEI LIVE DABEI: METHOR MULTITOOL.

Herausforderung in der Livedemo: Bauschutt und Hartkunststoff



RecyclingAKTIV

27. - 29. April 2023, Messe Karlsruhe

Besuchen Sie uns.
Stand F440

Mehr Informationen zum METHOR
finden Sie über den QR-Code oder auf:
doppstadt.com





Die Kohlepresse der Demonstrationsanlage von TerraNova Energy im Klärwerk Duisburg. Die Presse wurde gerade geöffnet und die HTC-Kohle fiel nach unten hinunter. Zu sehen sind die schwarzen Filtertücher und weißen Filterplatten. Diese Kohlepresse hat etwa eine Kapazität für eine Kläranlage mit 60 000 Einwohnern. Foto: TerraNova Energy

Gut gepresst, hoher Phosphorertrag

Ein Verfahren aus Düsseldorf erlaubt es, bis zu 70 % des Phosphors direkt aus Klärschlamm zurückzugewinnen. Der Schlamm wird dazu erst thermisch in Gegenwart von Wasser aufgeschlossen, dann angesäuert, bevor Feststoffe abgepresst werden und Phosphor aus dem Filtrat ausfällt. Das Endprodukt ist als Dünger zugelassen.

Marc Buttman

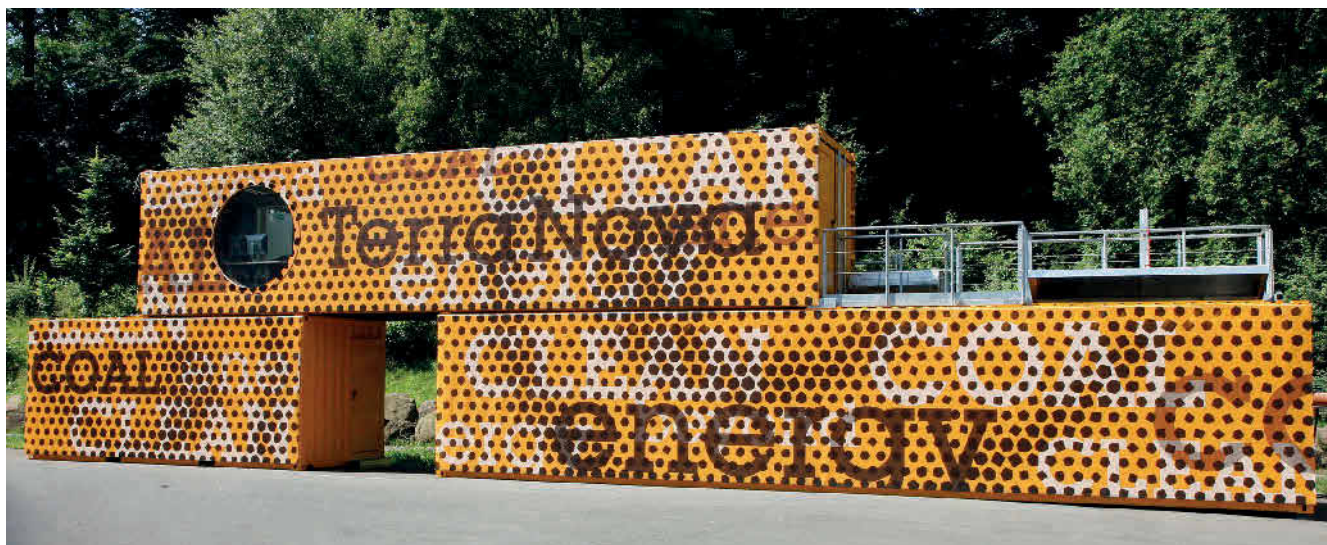
Das Düsseldorfer Unternehmen TerraNova Energy macht sich die Verkohlung von Klärschlamm durch die hydrothermale Karbonisierung, „HTC“, zunutze, um durch effektives Entwässern den Großteil des enthaltenen Phosphors zurückzugewinnen – ohne vorher den

Klärschlamm zu Asche zu verbrennen. Dieses „TerraNova ultra“-Verfahren lässt sich vereinfacht folgendermaßen beschreiben: Biomasse plus Wasser plus Wärme ergibt HTC-Kohle und ein phosphorreiches Filtrat.

Dieses Verfahren kann in eine TerraNova-Anlage zum Entwässern von Klärschlamm integriert werden.

Der geschlossene Reaktor

Eine Besonderheit ist ein geschlossener Reaktor, in dem Klärschlamm bei 170 bis 180 °C hydrolysiert wird. Aus dem organischen Material entstehen dabei Reaktionsgase wie CO₂. Sie erhöhen den Druck im Reaktor auf bis zu 28 bar. Dieser Druck liegt über dem theoretischen Sätti-



Die Demonstrationsanlage im Jahr 2010, damals installiert auf der Kläranlage Kaiserslautern. In den beiden unteren Containern befindet sich die Prozesstechnik, in den oberen die Leitzentrale sowie ein Materiallager. Foto: TerraNova Energy

gungsdampfdruck von reinem Wasser. Das heißt, Wasserdampf kondensiert, Wasser liegt auch in flüssiger Form vor.

Unter diesen Bedingungen hat Wasser andere chemisch-physikalische Eigenschaften und verhält sich vergleichbar zu Methanol als Lösungsmittel für organische Stoffe, wodurch komplexe organische Strukturen zu kurzkettigeren Molekülen wie organischen Säuren desintegriert werden.

Gleichzeitig wird die Autoprotolyse, also die Eigendissoziation, von Wasser gefördert, sodass mehr Protonen (H^+) vorliegen und damit säurekatalysierte Reaktionen gefördert werden. Nicht nur das: Neben den genannten Funktionen als Katalysator und Lösungsmittel stellt flüssiges Wasser einen Wärmeträger dar, um lokale Überhitzungen zu vermeiden.

Klärschlammchemie

Biomasse und damit auch Klärschlamm besteht zu großen Anteilen aus den Polymeren Zellulose, Hemicellulose und Lignin. Weitere Komponenten sind Fette, Harze, Proteine sowie anorganische Bestandteile.

Insbesondere Klärschlamm besitzt einen hohen Ascheanteil, welcher den Prozess der HTC nahezu unverändert durchläuft. Die drei Biopolymere unterscheiden sich im Aufbau und ihrer Stabilität grundlegend voneinander, so dass sich vielfältige Reaktionsprodukte bilden.

Die hydrothermalen Bedingungen fördern zunächst die Hydrolyse und damit den Aufschluss der Biomasse. Dieses ist



Schrittweise Anreicherung von Phosphor: Im linken Glasbehälter befindet sich Klärschlamm, in dem daneben das Hydrolysat, in dem sich fast aller Phosphor in löslicher Form befindet. Im dritten Reagenzglas von links ist das abgetrennte Prozesswasser zu sehen, in dem sich je nach Prozesseinstellung 60 bis 70 % des Phosphors befinden. Im rechten Reagenzglas ist die phosphorarme HTC-Kohle mit dem verbleibenden Phosphor. Foto: TerraNova Energy

im Hinblick auf die Rückgewinnung von Phosphor notwendig: Denn dabei werden die zellulären Strukturen zerstört. Dies erleichtert es, den Klärschlamm mechanisch zu entwässern.

Ab 140 °C sind erste hydrolytische Reaktionen der Hemicellulose bekannt, während die Hydrolyse von Zellulose bei Temperaturen von mehr als 180 °C merklich einsetzt.

Phosphor in Lösung

Geschieht dies in dem geschlossenen Reaktor, entsteht eine kohlehaltige Suspension und der Säuregrad dieses Hydrolysats liegt bei etwa pH 5. Hier setzt das Phosphorrückgewinnungsverfahren an.

Da die Suspension nach der Hydrolyse vergleichsweise wenig viskos ist, kann ihr ohne großen Aufwand eine Säure zugegeben werden, um möglichst viel Phosphor in Lösung zu bringen.

Abhängig von dem auf der Kläranlage verwendeten Fällmittel liegt der Phosphor meist als Eisen- oder Aluminiumverbindung vor. Entsprechend dem jeweiligen Löslichkeitsprodukts des Phosphorsalzes muss der Säuregrad des Hydrolysats auf pH 1 bis 3 eingestellt werden, damit diese Substanzen in die flüssige Phase übergehen. Dies geschieht in einem separaten Tank. Die Firma TerraNova setzt, um den pH-Wert abzusenken, eine von zwei Säuren ein: entweder Schwefelsäure (H_2SO_4) oder eine organische Säure.



Das Endprodukt „TerraNova P“ mit dem Landwirte entsprechend der deutschen Düngerverordnung und der Düngemittelverordnung der EU düngen dürfen. Foto: TerraNova Energy



Die phosphorarme HTC-Kohle darf als erneuerbarer Brennstoff weiterhin in Zementwerken, Kraftwerken oder Müllverbrennungsanlagen fossile Brennstoffe ersetzen. Foto: TerraNova Energy

Kammerfilterpresse

Das nach der Säurezugabe saure Hydrolysat wird zur Schlammentwässerung in eine Kammerfilterpresse geleitet. Dort wird die HTC-Kohle vom Filtrat getrennt. Im Gegensatz zum normalen TerraNova-Verfahren ohne Säurezugabe ist die Kohle nun phosphorarm und das Filtrat phosphorreich.

Das Filtrat mit hohen Mengen an Phosphor wird anschließend in einem Fixierungstank unter kontrollierten Bedingungen mit Calciumsilikathydrat (CSH) versetzt. Der gelöste Phosphor bindet dabei an die hochporöse Oberfläche des Silikathydrats. Die CSH-Filtrat-Suspensi-

on wird in einer weiteren Fest-Flüssig-Trennung in ein phosphorarmes Filtrat und das Endprodukt, ein Calcium-Phosphor-Rezyklat, separiert, „TerraNova P“ genannt.

Für eine hohe Konzentration an Phosphor im Endprodukt bei einer gleichzeitig möglichst vollständigen Bindung des gelösten Phosphors im angesäuerten Filtrat muss die Zugabemenge an CSH optimiert werden. Die beste Variante muss vor Ort in jeder Kläranlage gefunden werden.

Pflanzenverfügbarkeit

Das „TerraNova P“-Produkt ist gut pflanzenverfügbar und kann als Dünger

genutzt werden. Dessen Pflanzenverfügbarkeit hat ein großer Düngemittelhersteller getestet. Im Gewächshaus wurden dazu Topfversuche mit Weidelgras auch mit dem TerraNova P durchgeführt.

Die Einsaat erfolgte im Mai 2019, alle vier Wochen wurde die Gesamttrockenmasse eines Topfes bestimmt. Es erfolgten fünf aufeinanderfolgende Ernten bis September 2019. Als Kontrolle diente die identische Anzahl an Topfversuchen mit Tripelsuperphosphat mit vergleichbaren P-Konzentrationen.

Das Ergebnis ist, dass in allen Ansätzen die Zugabe von TerraNova P-Produkt Phosphor den Ertrag erhöhte – und zwar um 64 bis 92 % des Ertrags, der mit herkömmlichem Phosphatdünger (TSP) erzielt wurde.

Bei einer Untersuchung des hessischen Umweltministeriums im Jahr 2022, bei der die Düngerwirkung von zehn Phosphorrezyklaten aus unterschiedlicher Verfahren verglichen wurde, hat TerraNova P als bestes Rezyklat abgeschlossen.

Vorteile

Der Vorteil des TerraNova ultra-Verfahrens zur Phosphorrückgewinnung liegt im hohen Rückgewinnungsgrad von 60 bis 80 % des Phosphors. Der Grund hierfür ist die sehr gute Entwässerungsleistung der Filterpresse. Durch die effiziente Abtrennung der phosphorreichen Flüssigphase verbleibt nur wenig Phosphor im Filterkuchen, der der nachfolgenden Rückgewinnung entzogen bleibt.

Für diese mechanische Abtrennung eines Großteils des ursprünglich im organischen Material enthaltenen Wassers wird weniger Energie benötigt als bei konventionellen meist thermischen Trocknungsverfahren. Im Gesamtprozess der Klärschlamm Entsorgung gelangt man somit zu einer deutlichen Steigerung der Energieeffizienz und Reduktion der Treibhausgasemissionen gegenüber dem Stand der Technik. ■

www.terranova-energy.com

BEISPIEL KLÄRANLAGE MAILAND

Wie viel Phosphor sich zurückgewinnen lässt, zeigte 2021 ein Pilotprojekt in der Kläranlage Mailand. Ausgangspunkt war ein Hydrolysat aus eisengefälltem Klärschlamm mit einem Trockensubstanzgehalt von 15,5 %, die Trockensubstanz enthielt 2,5 % Phosphor. Für die Phosphorrückgewinnung wurde das Hydrolysat in drei Ansätzen mit Säuren versetzt:

- 26 kg 96 %ige Schwefelsäure (H_2SO_4) zu 1 t Hydrolysat,
- 20 kg organische Säure zu je 1 t Hydrolysat,
- 40 kg organische Säure zu je 1 t Hydrolysat.

Die Hydrolysate wurden zur Filterkammerpresse geleitet, die phosphorreichen Filtrate abgetrennt und mit dem Fällmittel Calciumsilikathydrat (CSH) in einem Verhältnis von 5:1 versetzt. Ergebnisse:

- (1) Mit der organischen Säure wurde mehr Phosphor in die flüssige Phase überführt als mit Schwefelsäure. Bei höherer Zugabe an organischer Säure war fast der gesamte Phosphor in die flüssige Phase übergegangen.
- (2) Nach CSH-Zugabe fand sich bei Zugabe von Schwefelsäure oder „organische Säure-20 kg“ praktisch kein Phosphor mehr im Filtrat. Im Ansatz „organische Säure-40 kg“ lag die Phosphorkonzentration im Filtrat nach Zugabe von CSH bei 1,5 mg/l. Die zugegebene CSH-Menge hat also nicht ausgereicht, alles Phosphor zu binden. Wurde hier die CSH-Zugabemenge erhöht, konnte mehr gelöster Phosphor aus dem Filtrat gebunden werden.
- (3) Rückgewinnungsquote: Mit der Schwefelsäure wurden 53 %, bei dem Ansatz „organische Säure-20 kg“ 58 % und bei dem Ansatz „organische Säure-40 kg“ 65 % des Phosphors im Klärschlamm zurückgewonnen. Bezogen auf das Endprodukt TerraNova P betrug die Phosphorkonzentration beim Schwefelsäure 9,6 %, bei „organischer Säure-20 kg“ 8,8 % und bei „organischer Säure-40 kg“ 17,2 %.



Marc Buttman

Geschäftsführer
TerraNova Energy GmbH

marc.buttman@terranova-energy.com

Foto: TerraNova Energy

Düngergranulate aus Asche

Ein Forschungsprojekt entwickelt für die Modellregion Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen einen Weg, aus Klärschlammaschen Düngergranulate mit pflanzenverfügbarem Phosphat herzustellen. Dabei sind die Verfahrensparameter an die jeweilige Asche so anzupassen, dass sich möglichst viel des Phosphors und möglichst wenig Schwermetalle in den Granulaten wiederfinden.

Matthias Hoger, Lars Leidolph & Claudyn Kidszun

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert innerhalb der Fördermaßnahme „Regionales Phosphor-Recycling“, kurz RePhoR, sieben Verbundprojekte, um ein regionales Phosphorrecycling im Sinne der Kreislaufwirtschaft aufbauen zu können.

Das Projekt „Technologiedemonstration zur Kombination von Staubfeuerung und Säureaufschlussgranulierung mit integrierter Schwermetallabscheidung für das regionale Phosphorrecycling aus Klärschlämmen im Mitteldeutschen Dreiländereck“ Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen“ (DreiSATS) ist eines davon.

Das Projektziel ist, eine wirtschaftlich und technisch tragfähige Prozesskette zur thermischen Klärschlammverwertung mit Phosphorrecycling und Produktverwertung für die Modellregion Mitteldeutsches Dreiländereck praxisnah zu erproben und zu demonstrieren. Die Ansprüche sind, kommunale Klärschlämme regional zu verwerten, Schadstoffe dabei abzutrennen sowie regionale Nährstoffkreisläufe mit einem möglichst geringen Transportaufwand zu schließen.

Im Projekt wird Phosphor nach dem Pontes Pabuli-Verfahren nutzbar gemacht. Dabei werden die mittels Staubfeuerung erzeugten Aschen in gebrauchsfertige Düngemittel überführt und können so konventionelle Düngemittel in der Landwirtschaft ersetzen. Im Projekt soll im technisch relevanten Maßstab nachgewiesen werden, dass marktfähige Düngerpro-



Projektingenieurin Rui Yue und Projektingenieur Oskar Stiehler, beide aus der Abteilung Forschung und Entwicklung der Veolia Klärschlammverwertung Deutschland, bei der Versuchsplanung. Foto: VKD

dukte aus kommunalen Klärschlämmen in gleichbleibend guter Qualität und Menge erzeugt und sowohl regional als auch gegebenenfalls überregional verwertet werden können.

Das Pontes Pabuli-Verfahren

Im Verfahren wird das Phosphat in diesen Aschen pflanzenverfügbar gemacht. Hierzu erfolgt ein Säureaufschluss, in dem Phosphate, ähnlich wie es in der Düngemittelindustrie mit Rohphosphat praktiziert wird, aufgeschlossen werden.

Im ersten Schritt wird dazu aus Asche, Wasser und einer Mineralsäure eine Sus-

pension hergestellt, wodurch die Phosphate gelöst werden. Nach einer entsprechenden Reaktionszeit wird eine mechanische Fest-Flüssigtrennung durchgeführt.

Die abgetrennte flüssige Phase wird im Kreislauf geführt, wird also wieder einer Asche zugegeben, um mit neuer Mineralsäure Phosphate zu lösen. Der resultierende feuchte Feststoff wird weiter zu Düngergranulaten verarbeitet. In dem resultierenden Kreislauf der flüssigen Phase steigt in einer kurzen Anfahrphase des Prozesses die Konzentration darin gelöster Stoffe an und erreicht nach wenigen Zyklen ein konstantes Niveau. Nach Erreichen dieses stabilen Gleichgewichts

entspricht die chemische Zusammensetzung des feuchten Feststoffes dem der Mischung aus zugeführter Asche und Mineralsäure.

Die Zusammensetzung der zu erzeugenden Dünger wird dabei durch eine exakte Zugabe weiterer Nährstoffkomponenten wie Kaliumsalze und Nitrate zum feuchten Feststoff zielgenau eingestellt. Dabei richtet sich die Art und Menge der zusätzlichen Nährstoffe nach der Rezeptur des gewünschten Düngertyps. Das dabei erzeugte, optimal für den Nährstoffbedarf der Pflanzen eingestellte Gemisch wird anschließend granuliert und im letzten Schritt getrocknet. Als Produkt resultiert ein gebrauchsfertiger Dünger, der in der Qualität den heute in der Landwirtschaft eingesetzten Mineraldüngern entspricht.

Eine Besonderheit des Verfahrens ist eine außergewöhnlich energiesparende Prozessführung. Häufig wird bei anderen Verfahren des Phosphorreyclings Wasser thermisch abgetrennt. Die thermische Wasserabtrennung ist dabei extrem teuer, weil energieintensiv.

Die mechanische Fest-Flüssigtrennung hingegen bedarf Größenordnungen weniger an Energie. Lediglich bei den erzeugten Granulaten muss noch die Restfeuchte thermisch getrocknet werden. Auch setzt das Verfahren elektrische Energie sparsam ein, da etwa die Materialförderung nicht mit Druckluft, sondern mechanisch erfolgt, wodurch elektrische Energie zum Erzeugen der großen Druckluftmengen und die energieintensive Reinigung des großen Volumenstroms entfallen.

Schwermetalle entfernen

Im Pontes Pabuli-Verfahren können Schwermetalle selektiv aus der flüssigen Phase durch Fällung abgetrennt werden. Dadurch werden diese Schwermetalle aus dem System ausgeschleust und es resul-



Rui Yue und Oskar Stiehler aus der Abteilung Forschung und Entwicklung bei der Versuchsdurchführung. Foto: VKD



Projektingenieurin Rui Yue kontrolliert die Korngrößen nach der Granulation mittels Granulierteller in der Pontes Pabuli-Versuchsanlage. Foto: VKD



Ein Granulat, erzeugt nach dem Pontes Pabuli-Verfahren. Foto: VKD

tiert ein schwermetallarmer Dünger. Die Schwermetallabreicherung ist dabei optional. Sie ist als Art Modul in den Prozess einbaubar. Sie sichert zum einen das Einhalten heutiger als auch künftiger gesetzlicher Vorgaben, zum anderen deckt sie die Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Phosphorreyclingverfahren ab.

Der Umfang der Abreicherung kann nach den Erfordernissen der Schadstoffkonzentration und wirtschaftlicher Abwägung erfolgen. Das schafft die Sicherheit, gegebenenfalls auf zukünftige rechtliche Veränderungen oder steigende Anforderungen an die Reinheit der Produkte reagieren zu können. Außer den abgetrennten Schwermetallen fallen keine weiteren Abfallstoffe an.

V Versuchsergebnisse

Im Projekt sollte das Verfahren aus dem Labormaßstab in den technischen Maßstab überführt werden. Im Ergebnis wurde im März 2022 die Versuchsanlage am Standort der Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH in Markranstädt in Betrieb genommen.

Dabei wurde das Löse- und Reaktionsverhalten von ausgewählten Verbrennungsaschen im technischen Maßstab untersucht und ein Versuchsprogramm zur Untersuchung der Fest-Flüssigtrennung durchgeführt.

Die Versuchsmatrix umfasste variable Parameter bei der Suspensionsherstellung, wobei Versuchsaschen aus der Staubfeuerung sowie Aschen aus konventionellen Wirbelschichtverbrennungsanlagen zum Einsatz kamen. Als Mineralsäuren wurden Schwefelsäure und Salpetersäure eingesetzt, wobei die zusätzlich zugegebene Wassermenge zur Verdünnung variiert wurde, ebenso die eingestellte Reaktionstemperatur beim Löseprozess und damit die Temperatur der Suspension bei der Fest-Flüssigtrennung.

Variiert wurden auch technische Parameter bei der Fest-Flüssigtrennung wie Durchflussgeschwindigkeit, Pumpendruck, Membrandruck oder Art des Filtermaterials. Die Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA) hat die Untersuchungen und notwendigen Analysen durchgeführt.

Parametermatrix

Damit sind Erkenntnisse zur rezeptur- und produktspezifischen Prozessführung

DIE PROJEKTPARTNER

Die Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH (Veolia) mit Sitz in Markranstädt, Sachsen, koordiniert das Projekt. Es gibt drei Partner aus der Wirtschaft und zwei aus der Forschung: Es sind die Carbotechnik Energiesysteme GmbH aus Geretsried, Bayern, die LTC Lufttechnik Crimmitschau GmbH aus Crimmitschau, Sachsen, die Pontes Pabuli GmbH in Leipzig, das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS in Hermsdorf, Thüringen, sowie die Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA).

verfügbar, die zu belastbaren Aussagen zur Filterpresseneinstellung in den einzelnen Säuresystemen zulassen. Zum anderen resultieren Informationen zur Abtrennwirkung bei unterschiedlichen Prozessparametern. Restfeuchten zwischen 25 bis 40 % je nach gewählten Einstellungen wurden dabei erreicht.

Da im DreiSATS-Konzept die Staubfeuerungs-technologie ein zentrales Kernelement darstellt, wurden erste Versuchsaschen aus der Staubfeuerung in die Untersuchungen einbezogen. Die Versuchsaschen aus der Staubfeuerung wiesen zum Teil abweichende Reaktionseigenschaften zu Aschen aus der konventionellen Wirbelschichtmonoverbrennung auf.

Diese resultieren aus den unterschiedlichen Eigenschaften wie Korngröße, Kristallinität, Phasenzusammensetzung und chemische Zusammensetzung und wirken sich beispielsweise auf das Löseverhalten von Phosphat und den relevanten Schwermetallen aus.

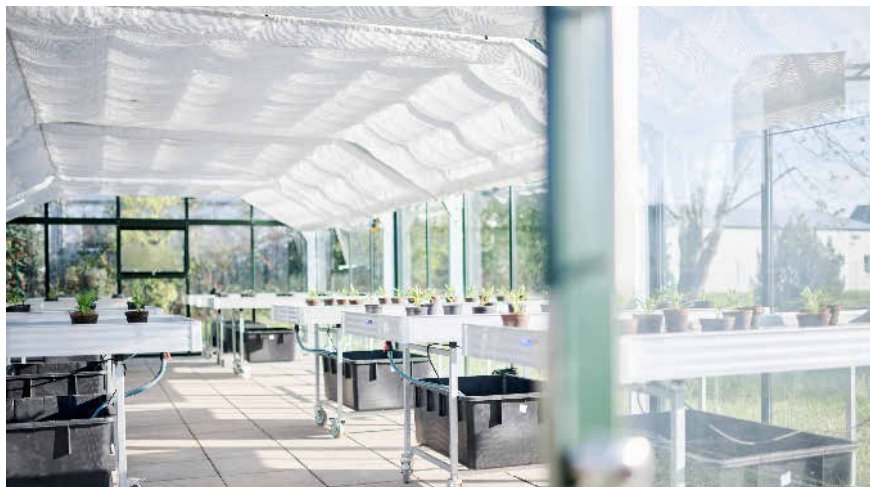
Durch die Löseversuche konnte eine Parametrix zu den Reaktionsverhalten für unterschiedliche Säuren erstellt und die Unterschiede zu konventionellen Wirbelschichtaschen ermittelt werden. Im Ergebnis dieser bisher durchgeführten Versuche liegen nun fundierte Kenntnisse zum Löseverhalten der Modellasche aus der Staubfeuerung vor.

Gezielt Prozess verbessern

Dadurch ist es möglich, gezielt die Löseparameter so auszuwählen, dass das Phosphat weitgehend vollständig und die relevanten Schwermetalle im erforderlichen Maße in Lösung übergehen. Dies stellt die Voraussetzung für die nachfolgende Schwermetallanreicherung dar.

Ebenso erfolgten systematische Untersuchungen zum Granulationsverhalten. Untersucht wurden dabei unterschiedlicher Filterkuchen aus der Fest-Flüssig-trennung bei variierten Granulationsparametern wie Neigungswinkel, Drehgeschwindigkeit und Granulierzeit.

Nachgewiesen werden konnte, dass am Granulierteller ausreichend runde und stabile Granulatkugeln erzeugt werden können. Die Korngröße der eingesetzten Gemische wirkt sich dabei signifikant auf die Kornform und das Bindeverhalten aus. Aus den Versuchen resultieren Erkenntnisse zur rezeptur- und produktspezifischen Prozessführung.



Das Gewächshaus der Veolia Klärschlammverwertung Deutschland in Markranstädt, in dem das Unternehmen derzeit Pflanzversuche mit dem Granulat vornimmt. Foto: VKD



In Beeten unter freiem Himmel fanden in Markranstädt auch Pflanzversuche mit Pontes Pabuli-Granulat statt. Foto: VKD

Löslichkeit des Phosphats

Durch den Säureaufschluss wird das weitgehend unlösliche, nicht-pflanzenverfügbare Phosphat in der Klärschlamm-asche aufgeschlossen. Die Löslichkeit des Phosphates gilt dabei als Indikator für die Düngewirkung. Dabei scheint vorzugsweise die Bestimmung der Neutralammoniumcitrat-Löslichkeit geeignet.

Insbesondere bei hohen Gehalten von ammoniumcitratlöslichem Phosphat ist gewährleistet, dass ein großer Teil des Düngersphosphats tatsächlich der Pflanze zur Verfügung steht. Während die eingesetzten Aschen eine Neutral-Ammoniumcitratlöslichkeit von 40 bis 45 % aufwiesen, kann bei den erzeugten Filterkuchen mit ermittelten mehr als 90 % Neutral-Ammoniumcitratlöslichkeit von einer sehr guten Nährstoffverfügbarkeit als erste Indikation ausgegangen werden.

Neben der Ermittlung der Phosphatlöslichkeit wurden Pflanzversuche beim Projektpartner Fraunhofer-IKTS durchgeführt. Für die Pflanzversuche wurde ein kommerziell erhältliches, phosphatarmes

Bodensubstrat eingesetzt. In den bereits abgeschlossenen Versuchen wurde die Luzerne als Referenz-Nutzpflanze bestimmt. Das Wachstum in standardisierten Versuchstöpfen wurde unter identischen Versuchsbedingungen in einem Klimaschrank unter Tageslichtsimulation beobachtet. Es konnte eine deutliche Düngewirkung gegenüber der unbehandelten Asche, bei der das Phosphat nicht aufgeschlossen wurde, festgestellt werden.

Weitere Pflanzversuche sind am Fraunhofer-IKTS sowie im Gewächshaus und auf den Freilandversuchsflächen von Veolia geplant.

www.veolia.de/vkd-klärschlamm



Matthias Hoger

Geschäftsführer Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH (VKD)

matthias.hoger@veolia.com

Foto: Veolia

Dr. Lars Leidolph

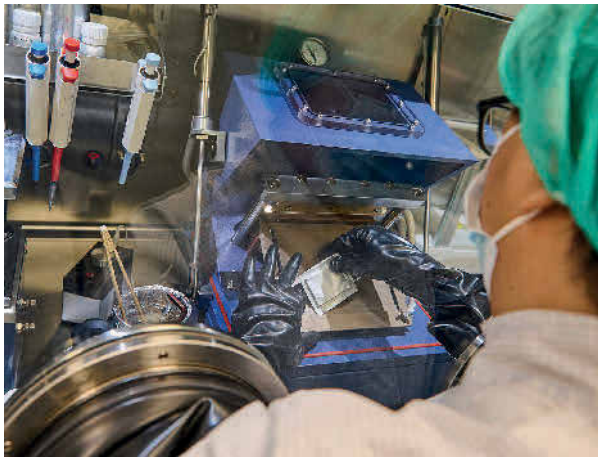
Zentraler Forschungskordinator Materialforschungs- und -prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar

lars.leidolph@mfa.de

Claudyn Kidszun

Leiterin Forschung und Entwicklung VKD

claudyn.kidszun@veolia.com



Ein Forscher der tschechischen Tomáš-Baťa-Universität (UTB) versiegelt eine Batterie-Zellen im Vakuum. Foto: UTB

Vernetzte Akku-Forschung

Um die Ziele des Green Deals der EU zu erreichen, braucht es erschwingliche und über den Lebenszyklus nachhaltigere, wieder aufladbare Batterien, also Akkus. Im EU-Forschungsprojekt „TwinVector“ sollen sich dazu internationale Projektteams multidisziplinär vernetzen und gemeinsam Akku-Energiespeichertechnologien weiterentwickeln. Die Akkus sollen eine höhere Energiedichte als heutige Batterien haben sowie sich preiswerter und nachhaltiger herstellen lassen. Ein Fokus wird beispielsweise auf der Entwicklung erneuerbarer oder biobasierter Materialien für Lithium-Ionen-Batterien liegen. Das Projekt wird am Exzellenzzentrum der Tomáš-Baťa-Universität (UTB) im tschechischen Zlín östlich von Brünn koordiniert. Das Exzellenzzentrum soll dazu auch ausgebaut werden. Um die Forschungsaktivität der UTB zu stärken, bringen die Projektpartner ihre Expertisen ein: Das finnische Technische Forschungszentrum Finnland (VTT) in Espoo unterstützt mit einem Fachwissen in der Materialentwicklung, das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit seiner Kompetenz im Bereich Lebenszyklusanalyse und das „Austrian Institute of Technology“ aus Wien mit seiner Expertise in Energiespeichersystemen. Desweiteren steht die Bayerische Forschungsallianz GmbH dem Exzellenzzentrum der UTB mit ihrer Expertise zur Forschungsförderung zur Seite. Die EU fördert das Projekt von November 2022 bis Oktober 2025 mit 1,3 Mio. €.

www.utb.cz/en & www.bayfor.org

Syn-Sprit effizienter herstellen

Den Fußabdruck des Verkehrssektors senken, das wollen vier Forschungsinstitute und drei Unternehmen im Projekt „Synergien durch Integration von Biomassennutzung und Power-to-X in der Produktion erneuerbarer Kraftstoffe“, kurz „SynergyFuels“. Ein Problem ist die Kohlenstoffeffizienz fortschrittlicher Biokraftstoffe aus Biomasse-Reststoffen: Bis zur Hälfte des zum Beispiel in Klärschlamm oder Gärresten verfügbaren Kohlenstoffs geht bei der Umwandlung in Kraftstoffe als CO_2 verloren. Um dies zu vermeiden, sollen Anlagen für die Herstellung von Biomasse- und CO_2 -basierten Kraftstoffen zusammengeschaltet werden. Das bringt Vorteile: Das CO_2 , das bei der Biokraftstoffherstellung frei wird, kann als Rohstoff für CO_2 -basierte Kraftstoffe dienen. Die Abwärme aus diesen Anlagen wird für die Aufbereitung der Produkte genutzt. Und der Wasserstoff, der ebenfalls bei der Herstellung von Biokraftstoffen anfällt, kann für die Synthese von Methanol (CH_3OH) eingesetzt werden. Um dieses Raffineriekonzept zu testen, sollen in den nächsten Jahren mehrere bestehende Syntheseanlagen in Bayern in einem Forschungsverbund gekoppelt werden. Die Hoffnung: mit diesem Ansatz synthetische Kraftstoffe nachhaltiger und in größerem Maßstab herstellen zu können als bisher. Die Technische Universität München koordiniert das Projekt, das Bundesministerium für Digitales und Verkehr fördert das Vorhaben mit 13,6 Mio. €.

www.cs.tum.de/biokraftstoffe-mit-strom-boostern



Blick von oben in die Demonstrationsanlage zur Herstellung von Oxymethylenether (OME) als Dieselsatz am Campus Straubing der Technischen Universität München (TUM). Foto: Jan Winter/TUM

Hochweiß aus Altgrau

Die Steinbeis Papier GmbH in Glückstadt, Schleswig-Holstein will schwer auflösbares Altpapier für hochweiße Büropapiere herstellen. Dafür eignen sich grafische Papiere aus der Haushaltssammelware sowie Büropapiere oder Zeitungen, Illustrierte und Multidruck aus Druckereiabfällen. Durch die digitalen Medien fällt von diesen Altpapierfraktionen jedoch immer weniger an, dafür immer mehr beschichtete nassfeste Papierverpackungen mit zum Teil hochwertigen weißen Zellstofffasern. Diese Altpapiersorten sind jedoch mit dem Stand der Technik bisher nicht recycelbar. Das will das Unternehmen mit einem neuen Sondersortenaufbereitungsstrang ändern. Dieser soll es ermöglichen, zahlreiche unterschiedliche Altpapiersorten wieder für die Produktion hochweißer Papiere einzusetzen. Mit der erstmaligen Verwirklichung will Steinbeis rund 30 000 t Altpapier jährlich wieder dem eigentlichen Stoffkreislauf zuführen und dadurch die Altpapiereinsatzquote für grafische Papiere weiter verbessern. Das Bundesumweltministerium fördert das Projekt aus dem Umweltinnovationsprogramm.

www.stp.de & www.umweltinnovationsprogramm.de



Der Scheinwerfer-Prototyp von 2019, der nur einen Kunststoff enthält: Polycarbonat. Foto: Covestro

Kreislauffähige Scheinwerfer

Wie sich Autoscheinwerfer lange nutzen und am Lebensende sinnvoll verwerten lassen, wird im Projekt „Nachhaltigkeitsoptimiertes Life Cycle Assessment technologisch hochkomplexer Produkte am Beispiel Automobilbeleuchtung“, kurz „Nalyses“, unter Führung des Autozulieferers Hella aus Lippstadt überlegt. Das Ziel ist, Scheinwerfer mit niedrigem CO₂-Fußabdruck zu entwickeln. Eine Idee ist, nur einen Kunststoff zu verwenden, um den Arbeitsaufwand für das Trennen, Sortieren und Lagern der Recyclingströme zu verringern. Mit dabei ist das Leverkusener Unternehmen Covestro. Der Spezialchemikalienhersteller hatte 2019 einen Scheinwerfer vorgestellt, der nur aus Polycarbonaten besteht und sich im Vergleich zu typischen Scheinwerfern mit weniger Montageschritten sowie geringeren Kosten und CO₂-Emissionen herstellen lässt. Und er bietet seit 2021 Polycarbonate, die von der Wiege bis zum Werkstor klimaneutral sind, unter der Marke „Makrolon RE“ an. Klimaneutral heißt, sie werden mit erneuerbarem Strom aus Rohstoffen, die aus massenbilanzierten Bioabfällen und Rückständen stammen, hergestellt. Der CO₂-Fußabdruck der Scheinwerfer wird sich zudem zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung durch einen digitalen Produktzwillung, den das Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn und das Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn entwickeln, bestimmen lassen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert das Projekt, das im Oktober 2022 begann, für drei Jahre mit rund 3,5 Mio. €.

www.hella.com & www.covestro.com

Kreislauffähigere Autos

Ein Konsortium aus 13 Industrieunternehmen und fünf Forschungseinrichtungen will in dem Projekt „Future Sustainable Car Materials“ (FSCM) neue Verfahren und Materialien für eine zirkuläre Automobilproduktion entwickeln. Der bayrische Pkw-Hersteller BMW hat das Projekt initiiert, um neue Prozessrouten und Materialkonzepte für mehr Kreislaufwirtschaft in der Fahrzeugproduktion zu ermöglichen. Ein Ziel ist, den CO₂-Fußabdruck bei der Gewinnung von Materialien, deren Verarbeitung und Wiederverwertung durch eine nachhaltige Entwicklung von Werkstoffen zu senken. Dabei soll ein möglichst hoher Anteil an Sekundärmaterialien, die weniger CO₂-intensiv als Primärmaterialien sind, genutzt werden. Ein Schwerpunkt hierbei wird auf Stahl und Aluminium liegen, die in der Produktion einen Großteil der CO₂-Emissionen verursachen. Daneben stehen das Recycling von Kunststoffen und Metallen sowie die Verwendung biobasierter Wertstoffe im Fokus. So setzt BMW schon länger auf nachwachsende Rohstoffe wie Naturfasern, da diese nicht nur leichter als Kunststoffe und Metalle sind, sondern auch mit einem negativen Wert in die CO₂-Berechnung eingehen, da sie in der Wachstumsphase CO₂ aufnehmen und Sauerstoff emittieren. Das bis 2025 laufende Projekt beinhaltet ein Gesamtvolumen von 31 Mio. €, das das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des Konjunkturpakets 35c bezuschusst wird.

www.bmwgroup.com



BMW-Mitarbeiter prüfen im Werk Landshut die Qualität eines Stoßfängers. Ein Ziel des FSCM-Projektes ist, hier den Anteil an Sekundärrohstoffen deutlich zu steigern. Foto: BMW

Mangan & Nickel für Wasserstoff

Ein Forscherteam aus Deutschland und Neuseeland sucht im Projekt „Development of highly active anodes for anion exchange membrane electrolyzers to enable low-cost green hydrogen“, kurz „HighHy“, einen Weg, grünen Wasserstoff günstiger elektrolytisch herzustellen. Es setzt dabei auf eine Elektrolyse mit Anionenaustauschmembranen. Diese vereint Vorteile der alkalischen Elektrolyse mit einer hohen Langzeitstabilität beim Einsatz verfügbarer kostengünstiger Metalle mit der hohen Leistung, der Anpassbarkeit an unterschiedliche Lasten und der Gasreinheit der Protonen-Austausch-Membran. Die Anionenaustauschmembran-Elektrolyse konnte sich in der Industrie noch nicht durchsetzen, da die in ihr stattfindende Sauerstoff-Entwicklungs-Reaktion zu langsam abläuft, werden keine Edelmetalle eingesetzt. Das sollen die Projektpartner mit den gut verfügbaren Metallen Mangan und Nickel ändern, die zudem mit vielversprechender chemischer Aktivität punkten können. Sie erproben mehrere Synthesemethoden, Zusammensetzungen, Oberflächenstrukturen und Materialgrößen für die Beschichtung der Katalysatoren. Am Ende soll die beste anhand eines Demonstrators, der an der University of Canterbury in Neuseeland entsteht, getestet werden. Das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM in Dresden bringt seine Expertise in der Katalysator- und Elektrodenentwicklung mit, die Universität Bayreuth ihr Wissen um chemische Synthesen und Methoden zur Charakterisierung sowie die Universitäten in Auckland, Canterbury und Wellington unter anderem ihr Wissen über Nanokatalysatoren für die Wasserstoffproduktion und Protonenaustauschmembran-Brennstoffzellen. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert das Projekt im Rahmen der „Forschungskoooperation Grüner Wasserstoff mit Neuseeland“ mit 440 000 €.

www.fraunhofer-dd.ifam.de



Ein „Lexium Cobot“ positioniert Objekte wie hier Plastikbälle sicher und zuverlässig. Foto: Schneider Electric

Behutsamer Roboter

Für gefahrloses Zusammenarbeiten von Mensch und Maschine hat Schneider Electric mit Sitz in Rueil-Malmaison bei Paris einen „Cobot“, also einen Industrieroboter, der ohne weitere Schutzvorrichtungen mit Menschen zusammen arbeiten kann, entwickelt. Das Motto des „Lexium Cobot“, der in fast jeder Industrieanlage nachgerüstet werden kann, lautet vorsichtig, behutsam, effizient statt schneller, höher, weiter. Dank steter Überwachung von Drehmoment und Drehzahl lässt sich der erste Cobot des Konzerns vorsichtig und behutsam bewegen. Der Roboterarm wird grafisch programmiert und lässt sich per handgeführtem Teaching auf neue Bewegungen einstellen. Anders als herkömmliche Industrieroboter, die mit hoher Beschleunigung und immensen Kräften aufwarten, können diese Cobots in direkter Nachbarschaft mit Mitarbeitenden tätig sein. Die Leichtbauroboter sind mit Sicherheitsprotokollen ausgestattet und verfügen über eine sensible Kraftüberwachung, um einen Zusammenstoß zu erkennen. Bei unerwartetem Kontakt sorgt ein Sicherheitsprotokoll dafür, dass der aus Aluminium gefertigte Greifarm seine Bewegung unterbricht. Abgerundete Kanten und das geringe Gewicht mindern die Verletzungsgefahr zusätzlich. Das qualifiziert diese Roboter für Anwendungen, die mit herkömmlichen Industrierobotern nicht möglich wären. Der Cobot von Schneider Electric ist in fünf Ausführungen erhältlich. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Größe, ihrer Traglast (3 bis zu 18 kg) sowie ihres Arbeitsradius.

www.se.com

Kartons effizient verdichten

Eine neue Ballenpresse – der „AutoLoadBaler“ – des Unternehmens Strautmann Umwelttechnik GmbH aus Glandorf bei Osnabrück beschleunigt das Recycling von Kartonagen. Diese Presse erlaubt es manuell zu tätige Befüllarbeiten nun maschinell und automatisiert zu erledigen. Mitarbeitende sammeln dafür die Kartonage auf Verkaufsflächen, im Lager oder in der Produktion in einem großvolumigen Sammelwagen. Der gefüllte Sammelwagen wird in sie hineingeschoben, mit einem leeren Sammelwagen kann die Arbeit fortgesetzt werden. Somit nehmen die Kartonagen weder in Geschäftsräumen oder im Lager Platz weg, noch wird für das Befüllen wertvolle Arbeitszeit aufgewendet. Der Befüll- und Pressvorgang der Ballenpresse startet automatisch. Durch sich langsam drehende Zuführwalzen wird die Kartonage in die Presskammer befördert. Ist sie gefüllt, startet der Pressvorgang automatisch. Es braucht bis zu 70 Ladungen dieser Sammelwagen, um einen vermarktungsfähigen Ballen mit mehr als 400 kg zu pressen. Hat die Presse einen Ballen verdichtet, kann er abgebunden und für den Abtransport bereitgestellt werden. Ein Umpressen ist nicht nötig. Es erfolgt ein direkter Transport zum Recycler. Das Befüllen und Verdichten der Presse überwacht ein intelligentes System. Anhand von Praxiserfahrungen und Studien ergibt sich damit eine Arbeitszeiteinsparung von mehr als drei Stunden pro Ballen. Die Produktivität kann nach Firmenangaben somit um mehr als 800 % erhöht werden.

www.revolution-autoloadbaler.de



Die Ballenpresse „AutoLoadBaler“ wartet im Einzelhandel auf ihren Einsatz.

Foto: Strautmann

Vielseitige Absorbermatten für Wärmepumpen

Der Haustechnikspezialist Mefa Befestigungs- und Montagesysteme aus Kupferzell hat das „multiQ-Absorbersystem“ entwickelt. Die Absorber bestehen aus dünnen Kunststoffmatten mit feinen Kanälen, durch die ein Wasser-Glykol-Gemisch gepumpt wird. Sie können oberflächen- nah im Boden eingebracht, in einer Eisspeicher-Zisterne unterirdisch installiert oder unter Photovoltaik-Anlagen, an Fassaden oder als Energiezäune montiert werden – und die gespeicherte Energie an Sole-Wasser-Wärmepumpen weitergeben. Die Wärme von Gewässern und die Abwärme von Maschinen und industriellen Prozessen lässt sich auch nutzen. Verschiedene Wärmequellen lassen sich miteinander kombinieren, um die örtlichen Möglichkeiten einer Immobilie oder einer Industrieanlage möglichst auszuschöpfen. Eine Besonderheit ist die Eisspeicher-Zisterne. Sie kann die Kristallisationsenergie, die frei wird, ändert sich der Aggregatzustand eines Stoffes von flüssig nach fest, nutzen. Die Sole fließt dabei durch die Absorber im Eisspeicher, nimmt die thermische Energie des Wassers auf, erwärmt sich und gibt ihre Energie an die Wärmepumpe ab. Interessant ist auch, Solarmodule mit dem Absorber zu kombinieren: Diese können unter den Modulen montiert werden und benötigen keinen zusätzlichen Dachplatz, um die Sonnenwärme an den Solarpaneelen abzuschöpfen.

www.mefa.de/multiQ



Die neue Schlauchpumpe Qdos 60 PU dosiert effizient, sicher und zuverlässig polymere Flockungsmittel für die Wasser- und Abwasseraufbereitung. Foto: Watson-Marlow

Polymere sicher dosieren

Dass britische Unternehmen Watson-Marlow Fluid Technology Solutions aus Falmouth, Cornwall, hat seine Dosierpumpenbaureihe Qdos erweitert. Das neue Modell Qdos 60 PU dosiert viele schwer zu verarbeitenden Medien einschließlich viskoser Flüssigkeiten und aliphatischer Kohlenwasserstoffe sehr genau. Die Pumpe eignet sich speziell für in der Abwasseraufbereitung verwendete Flockungs- und Fällmittel wie das Polymer Polyacrylamid (PAM). Da das Behandeln von Klärschlämmen weltweit gesetzlichen Vorgaben unterliegt, ist eine zuverlässige Dosierung dieser Mittel im Schlammmentwässerungsprozess für die ordnungsgemäße Behandlung zentral. Die Qdos 60 PU fördert scherkraftarm und schonend und schützt so Polymerketten und die Produktintegrität. Wie bei dem kleineren Modell, der Qdos 20 PU, kommt in der neuen Pumpe ein gegen aliphatische Kohlenwasserstoffe beständiger Schlauchwerkstoff zum Einsatz. Diese Pumpen dosieren PAM nach Firmenangaben genauer und zuverlässiger als Membranpumpen. Es gibt weder Membranen noch Ventile oder Dichtungen, die verstopfen könnten. Das einzige Bauteil, das ab und an ausgetauscht werden muss, ist der sogenannte ReNu-Pumpenkopf, dessen Austausch weniger als eine Minute dauert. www.wmfts.com

Veganes Weiß

Während herkömmliche Farben auf Wertstoffhöfen entsorgt werden sollten, können Farbreste von „Anton Weiss“ im normalen Hausmüll entsorgt werden. Die Farbe ist biologisch abbaubar, wodurch sich Reste mit Wasser aus dem Gebinde heraus in den Abfluss spülen lassen. Diese Farbe, den dazugehörigen Eimer sowie den Nachfüllbehälter haben der Chemiker Robin Lanzer und der Maler Anton Sikuta von der Firma Vegane Farbwelt GmbH in Darmstadt entwickelt. Die Farbe ist die erste von der „European Vegetarian Union“ mit Sitz in Wien zertifizierte vegane Wandfarbe. Die Firma verzichtet von Anfang an bewusst auf Inhaltsstoffe wie Ochsen-galle, Milcheiweiße und Schellack, der Absonderung der Schildlaus, die als Bindemittel vor allem in bunten Farben eingesetzt wird. Die Farbe weist trotz geringem Titandioxidgehalts von weniger als 10 % eine hohe Deckkraft auf. Sie ist kratzfest, atmungsaktiv und bietet einen guten Schutz gegen Schimmel und Bakterien. Der Eimer und der „Refill Bag“ bestehen aus wiederverwertetem Polyethylen, Polypropylen oder Polyethylenterephthalat. Der Nachfüllbehälter spart gegenüber einem Eimer vergleichbarer Größe nochmals 60 % Kunststoff ein und hat den Vorteil, dass er luftdicht verschlossen werden kann und damit die Farbe länger frisch bleibt.

www.vegane-farbwelt.de



Das gelbgrüne Gütesiegel „Vegan EU“ ist hier auf einem Nachfüllbehälter für die Farbe „Anton Weiss“ zu sehen. Foto: Vegane Farbwelt



Die neue Unterwasserpumpe UPA S 250-120 aus Frankenthal. Foto: KSB

Neue Unterwasserpumpen

Die KSB-Gruppe aus Frankenthal, Rheinland-Pfalz, bietet neue Unterwassermotor-Pumpen für die Trinkwasserversorgung, die Landwirtschaft und das Grundwassermanagement. Diese „UPA S 250“-Pumpen erreichen dank neuer Hydraulikgeometrie höhere Wirkungsgrade und halten durch eine verschleißfeste Ausführung mit metallischen Spaltringen und Siliziumkarbid-Lagern den Energiebedarf auch bei erhöhtem Sandgehalt im Wasser über Jahre hinweg gering. Die Pumpen gibt es aktuell in drei Hydraulikgrößen mit Fördermengen zwischen 60 und 400 m³ stündlich. In diesem Bereich ist der gewünschte Volumenstrom durch Laufradab-drehen frei einstellbar. Die maximale Förderhöhe beträgt 360 m. Alle Gusskomponenten bestehen aus hochwertigem Edelstahlfeinguss. Die Pumpen lassen sich mit effizienten Elektromotoren der Reihe UMA-S kombinieren. Diese Synchronmotoren mit Permanentmagneten haben eine höhere Leistung als klassische Motoren. Sie können bedarfsorientiert gesteuert werden, woraus sich eine weitere Energieeinsparmöglichkeit ergibt. Abhängig vom Anlagentyp kann die Einschalthäufigkeit und die damit verbundene Belastung auf die Wicklung der Pumpe gesenkt werden, wodurch die Lebensdauer verlängert wird. Die Pumpen erfüllen Anforderungen des Umweltbundesamtes und sind für den Einsatz im Trinkwasser geeignet. www.ksb.com

Adsorbertechnik für schadstofffreies Wasser

Selbst hochwertiges Trinkwasser ist nicht immer vollständig schadstofffrei, sondern beispielsweise mit Pestizid- und Arzneimittelrückständen kontaminiert. Mit einer neuen Adsorbertechnik aus Schleswig-Holstein, die mit einer Steuerungstechnik aus Baden-Württemberg kombiniert ist, lassen sich solche Verunreinigungen jedoch sicher aus dem Trinkwasser entfernen.

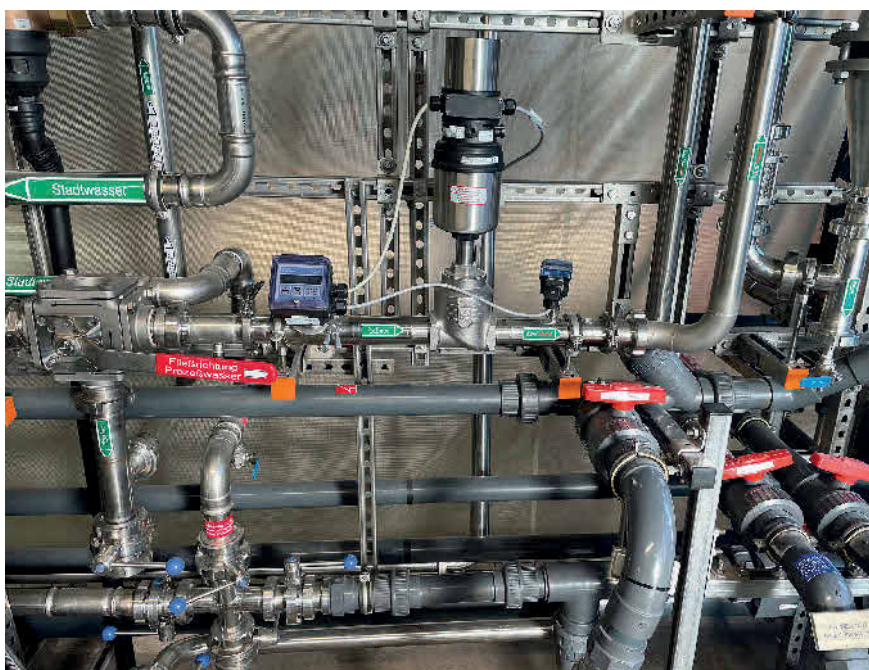
Gerd Milde

Es stimmt durchaus, dass Trinkwasser heute das wohl am besten untersuchte Lebensmittel ist. Doch leider kommt es trotzdem immer wieder zu Kontaminationen.

Selbst Lebensmittelhersteller merken dies immer wieder, wenn sie für die eigene Produktion das gelieferte Leitungswasser analysieren. Darin finden sich oft Stoffe, die in Lebensmitteln oder Getränken nichts zu suchen haben, sich aber wie Pestizid- oder Arzneimittelrückstände oder einige Substanzen aus der industriellen Produktion mit konventioneller Filtertechnik nicht vollständig entfernen lassen.

Nahezu jedes Molekül, das der Mensch nutzt, gelangt schlussendlich ins Grundwasser und findet so seinen Weg in die Trinkwasserversorgung. Zahlreiche dieser Moleküle werden als gefährlich für Mensch und Umwelt eingestuft und immer wieder kommen neue hinzu. Doch gesundes Wasser soll als lebensnotwendige Ressource frei von Schadstoffen sein und viele wertvolle Mineralien wie Calcium und Magnesium enthalten.

Es gibt unterschiedliche Ansätze, diesen Kontaminationen zu begegnen. Membransysteme etwa nutzen einen Siebeffekt, um kleine Wassermoleküle von größeren Giftstoffen zu befreien, Ionenaustauscher binden geladene Moleküle, und Aktivkoh-



Im Maschinenraum eines Unternehmens reinigt ein Adsorber aus Geesthacht mit natürlichen Bestandteilen Rohwasser. Das Wasser kommt aus dem Versorgungsnetz, durchfließt den in der Regelstrecke eingebauten Adsorber und fließt danach in die Produktion. Foto: Biontis

lefilter adsorbieren zwar die meisten Stoffe, besitzen aber eine sehr begrenzte Kapazität und benötigen riesige Oberflächen. Möglich ist auch, diese Ansätze zu kombinieren. All diese Ansätze sind jedoch nicht im Hinblick auf die Schadstoffentfernung optimiert.

Schwamm für Schadstoffe

Um dieses dringend benötigte Wasser zu erhalten, hat die Biontis GmbH mit dem „NaturalSorber“ ein System entwickelt, das Verunreinigungen sofort bei Kontakt entfernt und bindet, wertvolle

Inhaltsstoffe aber passieren lässt. Die Analytikexpertin hat ihren Sitz beim Helmholtz-Forschungszentrum in Geesthacht, Schleswig-Holstein.

Dieser Adsorber ist wie ein Schwamm aufgebaut. Er hat eine riesige Oberfläche, an der sich Schadstoffe wie Pestizid- oder Arzneimittelrückstände anlagern. Aufgrund einer speziellen Kombination aus Material und Schwammstruktur können Mineralien wie Magnesium- oder Calcium-Ionen jedoch passieren. „Wir haben uns an der Natur orientiert, biochemische Prozesse analysiert und diese technisch umgesetzt“, erklärt Biontis-Geschäftsführer Dr. Andreas Zucker.

Eine wichtige Rolle spielen Van-der-Waals-Kräfte. Dies sind relativ schwache, aber nicht unbedeutende Kräfte zwischen Atomen und Molekülen. Hinzu kommen die spezielle Struktur und die große Oberfläche des Adsorbermaterials. Pro Gramm aktiven Materials gibt es mehr als 1 000 m² Fläche. Das Material arbeitet dadurch wesentlich wirkungsvoller als übliche Filtersysteme. Dabei sind die Abmessungen im Vergleich zu Aktivkohlefiltern deutlich kompakter. Eine Adsorberscheibe, etwa 3 cm dick mit einem Durchmesser von 17 cm, kann stündlich etwa 10 000 bis 15 000 l Trinkwasser von Kontaminationen befreien.

Sicher bedienbar

Das Adsorbersystem ist grundsätzlich einfach zu installieren. Es wird in ein Gehäuse eingesetzt, das wiederum mittels Clamp-Verschlüssen in den Wasserstrom der Anwendung eingebunden wird. „Das klingt simpel, ganz so einfach war es schlussendlich dann aber doch nicht“, erinnert sich Dr. Zucker.

Die ersten Anwender*innen hatten zwar eine genaue Einweisung für den Einbau des Adsorbers, dennoch gab es Probleme. So ist es wichtig, den Durchflussbereich einzuhalten und vor allem beim Anlauf hohe Druckbeaufschlagung zu vermeiden, damit die Adsorberscheibe nicht beschädigt wird. Deshalb hat sich das Unternehmen entschieden, den Prozess zwingend in die richtigen Bahnen zu lenken und damit bediensicher zu machen.

Durchfluss sicher regeln

In diesem Zusammenhang hat Biontis das Gespräch mit Bürkert Fluid Control



Die Regelstrecke wird vor der Adsorbereinheit eingebaut. Foto: Bürkert Fluid Control Systems



Die Regelstrecke lässt sich durch die Clamp-Anschlüsse einfach montieren. Foto: Biontis

Systems, einem renommierten Hersteller von Mess-, Steuer- und Regelungssystemen für Flüssigkeiten und Gase aus Ingelfingen in Baden-Württemberg, gesucht. Beide Unternehmen haben dann partnerschaftlich eine passende Durchflussregelung verwirklicht, die auf die Adsorberspezifikation ausgelegt ist und Schäden am Material verhindert.

Dazu wurde die ursprünglich verwendete Kombination aus einfachem On/Off-Ventil und einem Kugelhahn durch ein langsam öffnendes Regelventil, einen davor angeordneten Durchflusssensor sowie einen Drucksensor ersetzt. Damit ist jetzt die definierte und geregelte Zuführung von Trinkwasser durch den Adsorber sichergestellt, sodass die Trinkwasserreinigung kontrolliert angefahren werden kann. Im Inneren des Schwamms herrscht jetzt immer eine laminare Strömung, es kommt also zu keinen unerwünschten Turbulenzen mehr.

Durch die vorgeschaltete Wasserregelstrecke sind Bedienfehler ausgeschlossen. Anwender*innen brauchen sich mit Durchflussmengen oder Anlaufverhalten nicht zu beschäftigen, auch dann nicht, wenn der Adsorber nach etwa drei Monaten ausgetauscht wird. Den richtigen Wiederanlauf übernimmt die Regeleinheit.

Zudem lassen sich ihre Daten, also Durchflussmenge und Druckverlauf, für einen Qualitätsreport nutzen, der zeigt wie der Adsorber gearbeitet hat.

Aufgaben gemeinsam lösen

Das Adsorbersystem mit der Wasserregelstrecke liefert Biontis einbaufertig. Der Anlagenbetreiber setzt es dann per Clamp-Anschluss in die Rohrleitung ein. Denkbar sind auch mobile Lösungen, also eine Regelstrecke mit Absorber, die sich in einem Kasten auf Rädern befindet und so ein- und ausgebaut werden kann.

Bürkert und Biontis arbeiten gemeinsam daran, die jeweils beste Lösung für den Kunden zu finden. Da die Anwendungen individuell sind, gibt es eine Vielzahl an Adsorbern aus Geesthacht, die entsprechend angepasst beziehungsweise optimiert werden. Durch die hohe Leistungsdichte von Adsorbertechnologie von Biontis sind wirtschaftliche Lösungen möglich.

Das System Adsorber plus Regeltechnik kann bei Bedarf mit einem Display ausgestattet werden. Auch größere Durchflussmengen sind realisierbar. Bei der Trinkwasseraufbereitung in einem Wasserwerk könnten entsprechend modifizierte Adsorbersysteme beispielsweise einen Teil der Aktivkohlefilter ersetzen. Dann werden nicht nur mögliche Kontaminationen effektiv entfernt, sondern aufgrund der kompakten Adsorberabmessungen ließe sich auch Platz sparen.

www.biontis.de & www.buerkert.de



Gerd Milde

Applikationsexperte
Wasser- & Umwelttechnik
Bürkert Fluid Control
Systems GmbH

info@buerkert.de

Foto: Bürkert Fluid Control Systems

Wärme aus dem Erdbecken

In Dänemark müssen Kommunen seit mehr als 40 Jahren ihre Wärmeversorgung langfristig planen. Dies hat die Energieversorgung des Landes verändert. Zehn Jahre jung ist der Ansatz, die Wärme von bis zu 95 °C heißem Wasser in teils gedämmten Erdbecken zu speichern. Auch in Deutschland wird nun der erste Erdbeckenspeicher fertiggestellt.

Stefan Wallmann

Die aktuelle Energiekrise ist vor allem eine Wärme-krise. Eine effiziente Wärmeversorgung kann unter anderem durch Fernwärmenetze gesichert werden. Diese können Kommunen bedarfsoptimiert mit perspektivisch allein nachhaltigen Wärmequellen, deren lokale Verfügbarkeit individuell analysiert werden muss, versorgen.

Eine strukturierte Planung der flächendeckenden Wärmeversorgung ist für jede Kommune unumgänglich, um ein optimales Gesamtkonzept für die Versorgung und zur Erreichung der Klimaziele zu entwickeln. In Dänemark ist eine solche kommunale Wärmeplanung im Wärmeversorgungsgesetz bereits seit 1979 gesetzlich vorgeschrieben.

2022 startete das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) auch in Deutschland ein Gesetzesvorhaben, das die kommunale Wärmeplanung verpflichtend für Kommunen ab einer Größe von etwa 10 000 bis 20 000 Einwohnenden einführen soll.

Am 15. September 2022 trat zudem die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) in Kraft. Mit dieser werden neue Wärmenetze mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien sowie die Dekarbonisierung bestehender Wärmenetze gefördert. Dies sind notwendige Schritte, allerdings braucht es eine weiterführende Pflicht zur Wärmeplanung für Kommunen aller Größen, um nachhaltige Energiesysteme zu schaffen.

Mit den Konsequenzen, die Dänemark aus der Energiekrise der 1970er-Jahre



Der Erdbeckenspeicher in Meldorf im Dezember 2022 während der Bauarbeiten im unbefüllten Zustand. Foto: NDR

zog, stieß es eine nachhaltige Umwandlung seiner Wirtschaft an. Kommunale Wärmepläne müssen seitdem mit dem höchsten sozioökonomischen Nutzen umgesetzt werden. Mit massiven Investitionen in die Windenergie wurde das Land zudem Vorreiter auf dem Weltmarkt und konnte tausende Arbeitsplätze schaffen.

Wärmespeicher in der Erde

In einem Erdbeckenspeicher kann zum Beispiel Wärme aus Industrieanlagen, Rechenzentren oder Solarthermieranlagen gespeichert werden. Dafür wird das Wasser im Becken mit der vorhandenen Energie erwärmt und bei Bedarf ins Wärmenetz eingespeist. Das Wasser kann die Wärme mehrere Monate lang speichern. So kann die Überschusswärme aus Mona-

ten mit geringem Wärmebedarf in kälteren Monaten verwendet werden.

Nach zwei bis drei Betriebsjahren haben sich die Temperaturen im Erdreich auf die Speichertemperatur eingestellt. Dann können etwa 80 % der eingespeicherten Energie auch wieder ins Wärmenetz abgegeben werden.

In zwei getrennten Wasserkreisläufen wird die Wärme beim Einspeisen über einen Wärmeübertrager an den Speicher abgegeben. Beim Ausspeisen der Wärme wird diese aus dem Speicher wieder mittels Wärmeübertrager an den Wasserkreislauf des Wärmenetzes abgegeben und gelangt so zu den Verbrauchenden. Nach Wärmenutzung im Wärmenetz wird das abgekühlte Wasser in den Speicher zurückgeführt und kann erneut über lokal verfügbare Wärme erwärmt werden.

Der weltweit größte Erdbeckenspeicher steht im süddänischen Vojens. Er fasst rund 200 Mio. l Wasser und versorgt damit 2 000 Haushalte mit Wärme. In dem vergleichsweise dünn besiedelten Land lässt sich diese einfache Technik gut zur Unterstützung der Wärmenetze einsetzen. Die Firma Ramboll mit Hauptsitz in Kopenhagen, Beraterin in Sachen Technik, Architektur und Management, hat diesen Speicher geplant.

Der erste in Deutschland

Im schleswig-holsteinischen Meldorf entsteht der erste Erdbeckenspeicher Deutschlands, federführend von Fachleuten von Ramboll Deutschland mit Sitz in Hamburg geplant. Die Grube ist bis zu 7,5 m tief, die Dammkrone rund 3,5 m hoch und die Außenkanten 75 m lang. Im Erdbecken können bis zu 45 Mio. l Wasser gespeichert werden.

Der Speicher wird an der Wasseroberfläche über einen schwimmenden Deckel gedämmt. Das Becken wird mit Kunststoffdichtungsbahnen ausgekleidet, diese gibt es in unterschiedlichen Ausführungen und Qualitätsstufen, aus denen der Kunde wählen kann. Das Team von Ramboll kann hier mit der Erfahrung aus Dänemark Empfehlungen geben.

Durch die Abwärme aus der Trocknungsanlage einer anliegenden Industriedruckerei, die etwa 1 MW Abwärme erzeugt, und eines Biogas-Kraftwerks soll das Wasser auf bis zu 85 °C aufgeheizt werden. Perspektivisch soll außerdem eine Solarthermie-Anlage die Wärmeherzeugung mit bis zu rund 4 MW thermisch ergänzen.

Um die Leitungsrohre innerhalb des Erdbeckenspeichers vor Korrosion zu schützen, wird das Wasser in einer Umkehrosmoseanlage aufbereitet. Aktuell wird der Speicher mit Wasser befüllt, anschließend wird die Wärme eingespeist. Zur Heizperiode im Herbst 2023 soll der Speicher ans Netz gehen können.

Mit der Wärme sollen öffentliche Gebäude, wie Schulen, das Schwimmbad und Museen in Meldorf beheizt werden. Auch Privathaushalte haben sich für die Nutzung der klimafreundlichen Wärmeversorgung angemeldet. Seit der aktuellen Energiekrise nehmen die Anmeldungen merklich zu.

Die Restwärme im Rücklauf des Wärmenetzes, die nach der Versorgung der Gebäude bleibt, wird in einer nächsten



Im dänischen Vojens versorgt ein Erdbeckenspeicher gespeist mit Wärme aus einer Solarthermieanlage mit einer Kollektorfläche von 70 000 m² mehr als 2 000 Haushalte. Foto: Ramboll

Ausbaustufe zum Betrieb einer Wärmepumpe genutzt werden, um die Gesamteffizienz des Systems weiter zu erhöhen. Insgesamt können durch das innovative Wärmesystem etwa 1 000 t CO₂/a eingespart werden.

Erdbeckenspeicher wie der in Meldorf zeigen, dass die Transformation der Wärmeversorgung auf Basis einer kommunalen Wärmeplanung möglich ist. Diese Speichertechnologie könnte in Deutschland in weit mehr Kommunen zum Einsatz kommen – insbesondere in den Flächenländern ähnlich wie in Dänemark.

Vorbild Dänemark

Für eine erfolgreiche Energiewende sind die verfügbaren Ressourcen vor Ort so effizient wie möglich zu nutzen. Mit einer Wärmeplanung wie in Dänemark werden nachhaltige Wärmekonzepte unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten schrittweise entwickelt. Nach Analyse und Fortschreibung des Wärmebedarfs wird dieser mit den verfügbaren klimaneutralen Wärmequellen abgeglichen. Die Kommunen werden dann in Eignungsgebiete für Wärmenetze eingeteilt sowie in Gebiete mit individuellen Versorgungslösungen. Letztlich wird im Rahmen der Wärmeplanung mit konkreten Maßnahmen ein Transformationspfad für ein dekarbonisiertes Wärmesystem aufgezeigt.

Damit die Wärme am Ende die Verbrauchenden erreicht, muss meist ein neues Wärmenetz installiert oder ein bestehendes erweitert werden. Die Wärme wird mittels gedämmter Leitungsrohre vom Erzeugungs- oder Speicherstandort zu den Gebäuden transportiert. Innerhalb

der Gebäude wird die Wärme an Hausübergabestationen, die in den meisten Fällen als Wandgeräte nicht größer als ein Gaskessel sind, auf die Heizung und das Warmwassersystem der Gebäude übertragen. Im Anschluss wird das Wasser zurück zum lokalen Speicher geführt, wo es erneut erwärmt werden kann.

Die jahrzehntelange Anwendung der Wärmeplanung hat in Dänemark den Anteil fossiler Energie zur Wärme- und Stromproduktion deutlich gesenkt. Zwei Drittel der Haushalte werden mittlerweile mit Fernwärme versorgt, in Kopenhagen sogar fast alle. 72 % der dafür genutzten Energie kommen aus klimaneutralen Quellen inklusive der Abwärme beispielsweise aus der Müllverbrennung. Zum Vergleich: In Deutschland liegt der Anteil der Fernwärme zur Wärmeversorgung bei aktuell knapp 10 %, ungefähr 18 % hiervon sind klimaneutral.

Eine ganzheitliche Planung prägt die Umwandlung des Energiesystems in Dänemark und auch die Arbeit bei Ramboll. Unsere Fachleute können diese dringend benötigten Lösungen auf den deutschen Markt übertragen und auch neue Lösungen finden, um nachhaltige Wärmeversorgung sicher, flächendeckend und preisgünstig zu gestalten.

<https://de.ramboll.com>



Stefan Wallmann

Geschäftsführer
Ramboll Deutschland

kommunikation@ramboll.de

Foto: Ramboll

Ökodesign für & mit kleineren Betrieben

Unternehmen mit wenig personellen Ressourcen können auf externe Fachleute zurückgreifen, um existierende Produkte und Prozesse umweltverträglich weiterzuentwickeln oder neue zu entwerfen. Es handelt sich dabei um „agile“ Lösungsstrategien, die auch kleinen und mittleren Unternehmen helfen sollen, das Ökodesign mit Leben zu füllen.

Tim Katzwinkel, Manuel Löwer & Dominik Limbach

Die politische und gesellschaftliche Forderung nach umweltverträglichen Produkten setzt Unternehmen zunehmend unter Druck. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) müssen schnell Lösungen finden oder entwickeln.

In diesem Beitrag wird daher ein methodischer Ansatz vorgestellt, der die bewährten Strategien sogenannter „agiler“ Produktentwicklungsmethoden mit den etablierten spezifischen Aktivitäten des Ökodesigns (englisch: „ecodesign“) verbindet. Agile Entwicklungsmethoden sind Methoden, die sich den äußeren Randbedingungen anpassen.

Diese Produktentwicklungsmethoden ermöglichen es Unternehmen, flexibel auf sich ändernde äußere Bedingungen wie neue Vorgaben an die Produktgestaltung durch Auftraggeber oder Gesetzgeber zu reagieren.

Unternehmen sehen sich dabei einem zunehmend hohen Zeit- und Kostendruck im internationalen Wettbewerb ausgesetzt. Im Gegensatz zu großen Konzernen sind für KMU, aufgrund ihrer Größe die Personalkapazitäten, das Budget und die eigene Expertise für die Umsetzung der Nachhaltigkeitsforderungen meist begrenzt.

Während in der Öffentlichkeit die Forderungen nach kreislauffähigen und ökologisch nachhaltigen Produkten immer lauter werden, wollen die Kunden gleichbleibend hohe Qualität zu einem immer günstigeren Preis.



Eine Comfort-Glättekeile mit angenehmem Griff, die das Unternehmen maurerfreund mit weniger CO₂-Emissionen als andere Modelle vollständig aus Sekundärrohstoffen herstellt. Foto: maurerfreund

Wie also können KMU künftig in kurzer Zeit nachhaltige Produkt- und Produktionslösungen entwickeln?

Um nachhaltige Produkte und Prozesse zu entwickeln, sind KMU meist auf externen Input angewiesen. Das betrifft die fachliche Expertise beispielsweise in der

Werkstoff- und der Fertigungstechnik sowie dem richtigen Ansatz, einen größtmöglichen Wirkungsgrad zu erreichen.

Beratend können sowohl Dienstleistungsunternehmen als auch Forschungseinrichtungen tätig werden. Ziel ist dabei, KMU zur ressourceneffizienten Produkt-

und Prozessverbesserung zu befähigen. Dabei besteht eine der größten Herausforderungen darin, dass bereits die Ökobilanzierung selbst ein enormes Expertenwissen erfordert, jedoch aus sich heraus keine direkten Hinweise auf konkrete Verbesserungsmaßnahmen geben kann.

Um Erkenntnisse aus einer Ökobilanz in Produkt- oder Prozessentwicklungen einfließen zu lassen, müssen die Kenngrößen der Bilanz in Bezug zu den Produkt- und Prozessbedingungen im Unternehmen gesetzt werden.

Viele Einflussfaktoren

Die meist wichtigsten Einflussfaktoren aus einer Ökobilanz sind, welche Ressourcen verwendet werden, welcher und wie viel Abfall anfällt, welche Substanzen, Fertigungsprozesse und Zukaufteile eingesetzt werden. Zudem lässt sich zwischen „direkten Einflussparametern“ wie der Werkstoffmenge sowie „zentralen Einflussknotenpunkten“ wie der bezogene Strommix am Standort und weniger wirkungsreichen aber für den Betrieb sehr „sensitiven Einflussknotenpunkten“ wie der Verwendung eines spezifischen Fertigungsverfahren unterscheiden.

Dabei beeinflussen einmal getroffene Entscheidungen darauf aufbauende, nachfolgende Schritte. Das zeigen anschaulich zwei Beispiele:

Eine getroffene Werkstoffauswahl in der Konzeptkonstruktion führt sinnvollerweise zur identischen Werkstoffverwendung in der Gestaltungsphase. Ebenso leuchtet ein, dass eine Festlegung der Fertigungstechnologie in der Gestaltungsphase etwa zur Oberflächenbearbeitung die konkrete Maschinenbelegung bei der Herstellung beeinflusst.

Vielschichtige Faktoren

Bei Produktfamilien und Produktgenerationsentwicklungen kommt es darüber hinaus auch zu einer Einflussnahme späterer Lebenszyklusphasen auf die frühen Phasen des nachfolgenden Produktlebenszyklus. So beeinflusst etwa der tatsächliche Servicebedarf der Kundschaft die Produktplanung der nachfolgenden Produktgeneration im Bereich Service. Gleiches gilt auch für den Zusammenhang zwischen geplanter Lebensdauer und tatsächlicher Nutzungsdauer.

In Bezug auf das Ökodesign bedeutet dies, dass neben den Einflussparametern



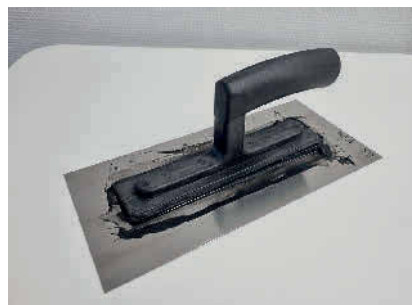
Erster Schritt einer Produktentwicklung: Dieser Prototyp einer Stütze aus weißem Kunststoff diente im Unternehmen maurerfreund als Anregung, neue Griffformen für Kellen zu entwickeln.

Foto: maurerfreund



Ein Prototyp mit der neuen Griffform auf einer Druckmessplatte: Simuliert wird hier, wie sich der zentrische Druck des Griffes auf das Kellenblatt an einer Wand verteilt.

Foto: maurerfreund



Die Stütze wurde auf das Blatt geklebt und nicht, wie bisher üblich, angeschweißt. Zugfestigkeitsprüfungen an der Bergischen Universität Wuppertal zeigten, dass die geklebte Verbindung so gut hält wie eine geschweißte.

Foto: maurerfreund

auch die Zusammenhänge zwischen den Parametern unterschiedlicher Produktlebensphasen und Prozessphasen Einfluss auf umsetzbare Strategien zur Steigerung der Nachhaltigkeit eines Produkts oder Prozesses haben.

So bestimmt die Demontierbarkeit eines Produkts etwa nicht nur die Reparaturbarkeit innerhalb der geplanten Lebens-

dauer, sondern auch die nachhaltige Nutzung darüber hinaus sowie eine partielle Wiederverwendbarkeit von Komponenten oder Werkstoffen im Sinne der Kreislaufwirtschaft.

Der „Ecodesign Owner“

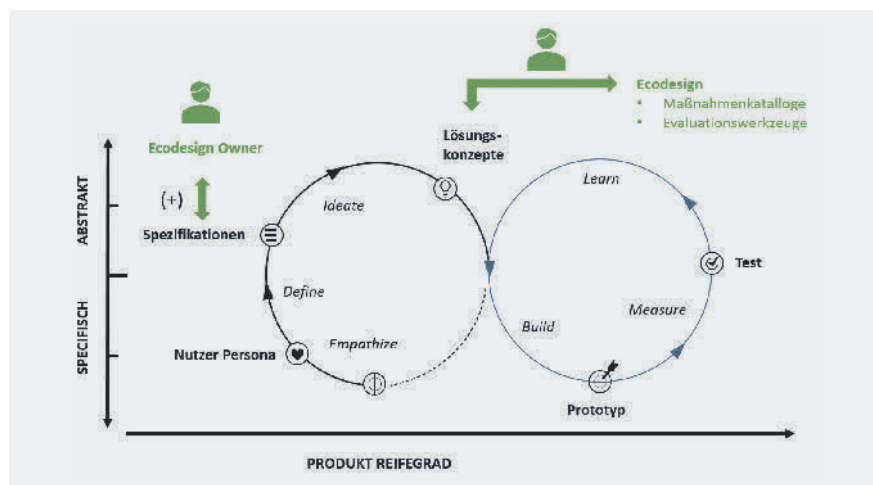
Ein Ansatz für eine schrittweise, ressourcenschonende Lösungserarbeitung mit externem Fachwissen sind sogenannte agile Entwicklungsmethoden. Innerhalb der verschiedenen Methoden gibt es eine Reihe von Rollen und Ereignissen, die der Entwicklungstätigkeit einen strukturellen Rahmen geben.

Für die Integration eines agilen Ökodesigns in der Produktentwicklung schlägt das Institut für Produkt-Innovationen an der Bergischen Universität Wuppertal die neue Rolle des „Ecodesign Owner“ vor.

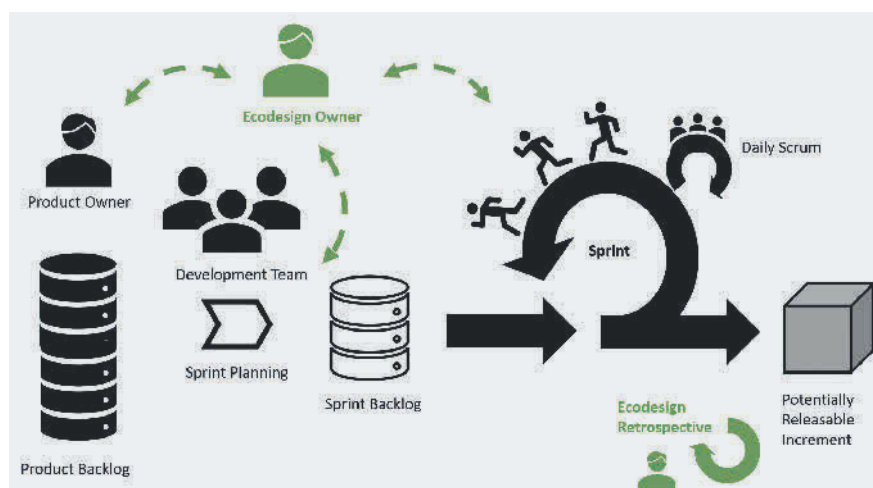
Im dem KMU-Kontext fällt diese Rolle externen Fachleuten zu. Sie sollen ihr Wissen über Ökodesign-Indikatoren stetig in den Produktentwicklungsprozess integrieren. Je nach dem Stand des Prozesses und abhängig von den agilen Methoden werden diesen Fachleuten verschiedene Aufgabenfelder zugeordnet.

Vom Design her denkend

In frühen Phasen des Prozesses wie der Konzeptentwicklung stellt die „Design Thinking“-Methode eine nutzerorientierte agile Arbeitsmethode dar. Hier reicht der „Ecodesign Owner“ die Anforderungen des Unternehmens mit Nachhaltigkeitsforderungen an, die nicht direkt aus



Grafik 1 Der „Ecodesign Owner“ im Design Thinking-Modell bringt Nachhaltigkeitsaspekte bei der Ideenfindung als auch bei der Planungsphase mit ein und kann bei Bedarf die Nachhaltigkeit des geplanten Produktkonzepts vorab bewerten. „Emphasize“ = „Beobachten der Nutzer“, „define“ = „Definition des eigenen Standpunkts“, „ideate“ = „Ideenfindung“. Bei der Entwicklung eines Prototypen ist er nicht mehr direkt beteiligt. Grafik: Katzwinkel



Grafik 2 Der „Ecodesign Owner“ im Scrum-Modell unterstützt Unternehmen bei der Festlegung der Nachhaltigkeitsziele, gibt in der Planungsphase sein Fachwissen etwa in Bezug auf nachhaltige Werkstoffauswahl an und bewertet abschließend das Ergebnis des langen Laufes, des „Sprints“. Rückblickend bewertet er zudem die Nachhaltigkeit des erreichten Entwicklungsziels, indem er etwa den ökologischen Fußabdruck des Produkts errechnet. Grafik: Katzwinkel

KMU - FÖRDERUNG ZUM ÖKODESIGN

Um nachhaltige Produkte zu entwickeln, sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU) oft auf externen Input und finanzielle Unterstützung angewiesen. Förderinstrumente der EU und auf nationaler Ebene zur mitfinanzierten Gestaltung im Kontext Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz sind verfügbar. Beispiele:

- auf EU-Ebene etwa das „Life“-Programm als Finanzierungsinstrument der EU für Umwelt- und Klimapolitik sowie der „Innovation Fund“ der EU;
- auf Bundesebene die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa), das Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums (BMUV) und auch der Bundespreis Ecodesign des Umweltbundesamtes;
- auf Landesebene beispielsweise die Ressourceneffizienzberatung der Effizienz-Agentur Nordrhein-Westfalen oder die Energieeffizienz-Beratung der Landesenergieagentur Hessen.

der nutzerzentrierten sogenannten Empathie-Phase des klassischen Design-Thinking-Prozesses hervorgehen.

Nachhaltigkeitsaspekte werden somit bei der Ideenfindung berücksichtigt. Bei der Ideenoptimierung und anschließenden Bewertung der Lösungskonzepte unterstützen diese „Ökodesign-Fachleute“ das KMU bei der Wahl der Werkstoffe und Fertigungstechniken. Sie berücksichtigen dabei Gestaltungsrichtlinien und kann bei Bedarf beispielsweise den CO₂-Fußabdruck eines geplanten Produktkonzepts vorab bewerten (**Grafik 1**).

Bindet ein KMU auf diese Weise externes Wissen von Fachleuten ein, kann es Ökodesign-Aspekte ohne zusätzliche eigene Kapazitäten und ohne die strukturelle Abänderung der eigenen Prozesse abbilden.

Aus dieser Betrachtung kann der Eindruck, die Rolle des „Ecodesign Owner“ ließe sich wie die anderer Spezialisten etwa für den Werkzeugbau auch durch ein Mitglied des agilen Entwicklerteams umsetzen, entstehen. Dieser Ansatz wird als „Extended Teams“ bezeichnet, bei dem Spezialisten in die Teamarbeit nur zeitweise oder mit geringer Kapazität eingebunden werden können.

„Scrum“ – fit im Gedränge

Bei „Scrum“, der bekanntesten und verbreitetsten agilen Methode, kommt dem „Ecodesign Owner“ mehr als eine Spezialistenrolle zu. Er unterstützt Unternehmer darin, Nachhaltigkeitsziele festzulegen. Diese Ökodesign-Fachleute bieten dabei dem Entwicklungsteam während der Planungsphase und der eigentlichen Entwicklungsphase, bei dieser Methode „Sprintphase“ genannt, ihr Fachwissen etwa zur Wahl nachhaltiger Werkstoffe oder Fertigungsverfahren an, und bewertet am Ende das „Sprintergebnis“, also das erreichte Ziel (das englische Wort „scrum“ bedeutet soviel wie „Gedränge“ beim Rugby und soll die Zusammenarbeit in Teams und das phasenweise konzentrierte Arbeiten verbildlichen).

Die Ökodesign-Fachleute haben während der Entwicklungsphasen die begleitende Rolle eines Spezialisten, beeinflussen mit den Ökodesign-Indikatoren aber die Vorgaben, die ein Produkt oder ein Prozess erfüllen und die das Entwicklungsteam berücksichtigen muss. In der Scrum-Sprache wird von „Artefakten“, also den Funktionalitäten, im „Product

Backlog“, also dem gesamten Aufgabenbereich, gesprochen. Am Ende der Entwicklungsphase bewertet der „Ecodesign Owner“ auch das Ergebnis, den Prototypen – in der Scrum-Sprache den „potentially releasable increment“ – anhand der

Ökodesign-Indikatoren. Hier bekommt er die zusätzliche Aufgabe, rückblickend zu bewerten, ob das erreichte Ziel die Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllt, zum Beispiel mit Hilfe eines ökologischen Fußabdruck des Produkts (**Grafik 2**).



Mit der fertigen Komfortkelle lässt sich gut arbeiten. Foto: mauerfreund

GLÄTTEKELLE: ÖKODESIGN!

Das Institut für Produkt-Innovationen der Bergischen Universität Wuppertal hat im Rahmen einer von der Effizienzagentur NRW mit Sitz in Duisburg geförderten Ressourceneffizienz-Beratung 2018 eine Glättkelle aus dem Produktportfolio des mittelständischen Unternehmens mauerfreund GmbH aus Remscheid analysiert. Das Unternehmen aus der Werkzeugbranche hat rund 25 Mitarbeitende und einen Jahresumsatz von circa 4 Mio. €. Eine betriebsintern initiierte Voruntersuchung in den Jahren 2018 und 2019 zeigte dann, dass sich rund 13 % des eingesetzten Materials durch bessere Füge-technik einsparen lässt sowie ergänzend etwa 50 % durch weniger Bauteile. Weiterhin zeigte die Untersuchung, dass ergonomische Verbesserungen der Griffgeometrie und des Handlings der Glättkelle möglich waren.

Durch die kontinuierliche Einbindung des Instituts für Produkt-Innovationen konnte das Unternehmen über den gesamten Produktentwicklungsprozess auf ein umfassendes Ökodesign-Fachwissen zurückgreifen. So wurden die geeigneten Werkstoffklassen auf Basis einer umfangreichen Werkstoffdatenbank unter Ökodesign-Gesichtspunkten strategisch bewertet und zielgerichtet ausgewählt.

Durch eine Überarbeitung der Baustruktur – etwa durch den Verzicht auf einen Eisenkern im Griff und eine verbesserte Topologie der Griffstruktur sowie eine Ökodesign-Optimierung der Fertigungsverfahren etwa durch den Einsatz von Klebern statt des Bolzenschweißverfahrens konnte nicht nur das Gewicht um 21 % verringert, sondern auch die Endmontage um 26 % beschleunigt werden.

Um die Kreislaufwirtschaft voranzubringen, wurden Kunststoff- und Metallbauteile leicht demontierbar gestaltet, sodass eine Wiederverwendung sowie das sortenreine Recycling leicht möglich sind. Zudem soll die Stütze aus carbonfaserverstärkten Kunststoffen bald vollständig aus Sekundärrohstoffen hergestellt werden. Die Carbonfasern, mit denen der Kunststoff versetzt ist, stammen bereits aus Produktionsresten bei der Herstellung von Rotorblättern für Windkraftanlagen. Der Stahl der Kelle wird bald emissionsfrei durch Wasserstoff hergestellt.

Insgesamt konnten durch alle Ökodesign-Maßnahmen 28 % der produkt- und produktionsbezogenen CO₂-Emissionen gesenkt werden. Seit Anfang 2023 ist die auf diese Weise nach Ökodesign-Gesichtspunkten entwickelte Comfort-Glättkelle des Unternehmens mauerfreund erhältlich.

Ausblick

Die Einbindung externen Expertenwissens im Kontext des Ökodesign ist für KMU der Schlüssel, um das Thema nachhaltige Produktentwicklung zu erschließen. Mit Hilfe der methodischen Integration der Rolle „Ecodesign Owner“ in agile Produktentwicklungsprozesse wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, wie die anhaltende politische und gesellschaftliche Forderung nach umweltverträglichen Produkten auch mit begrenzten Ressourcen umgesetzt werden kann.

Das Institut für Produkt-Innovationen der Bergischen Universität Wuppertal unterstützt Unternehmen deutschlandweit, Produktinnovationen im Bereich Ökodesign umzusetzen und die Nachhaltigkeit von Produkten und Produktionsprozessen zu bewerten und zu verbessern. ■

www.ipi.uni-wuppertal.de
www.mauerfreund.com



Dominik Limbach

Geschäftsführer
maurerfreund GmbH

limbach@maurerfreund.com

Foto: Dominik Limbach



Prof. Dr.-Ing. Manuel Löwer

Fachgebiet Produktsicherheit und Qualität (PSQ)
Bergische Universität
Wuppertal (BUW)

loewer@wuppertal.de

Foto: BUW



Dr.-Ing. Tim Katzwinkel

Geschäftsführer
Institut für Produkt-Innovationen an der
Bergischen Universität
Wuppertal (BUW)

katzwinkel@uni-wuppertal.de

Foto: BUIW

Strom mit Windrädern zu gewinnen, gilt als nachhaltig. Strittig ist, ob dies auch auf Strom aus Kernkraftwerken zutrifft. Foto: PantherMedia/vencav

Sollen Gas- und Kernkraftwerke nachhaltig sein?

Die EU gibt mit der Taxonomie-Verordnung vor, welche Wirtschaftstätigkeiten als nachhaltig gelten. Dass dabei auch der Betrieb von Gaskraftwerken, die fossiles Erdgas verbrennen, und der von Kernkraftwerken zumindest vorübergehend als nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten eingestuft wurden, stößt auf Widerstand. Das Land Österreich hat vor dem Europäischen Gerichtshof dagegen geklagt.

Alice Boldis

Die EU-Taxonomie-Verordnung trat im Juli 2020 in Kraft und ist Bestandteil des von der EU im März 2018 vorgestellten „Aktionsplans zur Finanzierung von nachhaltigem Wachstum“. Mit dieser Verordnung hat die EU ein Klassifikationssystem für ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten geschaffen, das Anlegern bei Investitionen in Projekte und andere Wirtschaftsaktivitäten erleichtern soll zu beurteilen, ob sich diese positiv auf

das Klima und die Umwelt auswirken. Dieses Klassifizierungssystem soll helfen, „Greenwashing“ zu verhindern, sowie transparenter machen, wie nachhaltig Unternehmen sind.

Die Taxonomie-Verordnung deckt zurzeit 13 Branchen ab, die zusammen rund 80 % des Treibhausgasausstoßes in der EU verantworten. Dazu zählen die Bereiche Energie, Verkehr, Forstwirtschaft, Fertigungsindustrie, Gebäude und Versicherungen. Die EU hat mit der Taxonomie-Verordnung für diese Bran-

chen sechs generelle Umweltziele festgelegt, die mit Investitionen unterstützt und gefördert werden sollen.

Diese sechs Ziele sind, Klimaschutz, Anpassung an den Klimawandel, nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen, Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung sowie Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und Ökosysteme.

Als ökologisch nachhaltig gelten nach der Verordnung Tätigkeiten, die wesent-

lich zur Verwirklichung eines oder mehrerer dieser Umweltziele beitragen ohne zugleich andere erheblich zu beeinträchtigen – dies ist der „Do No Significant Harm“-Grundsatz – sowie Mindeststandards vor allem im Hinblick auf Menschen- und Arbeitnehmerrechte einzuhalten – dies ist der „Minimum Safeguards“-Grundsatz. Detaillierte technische Bewertungskriterien definieren zudem, was als „wesentlicher Beitrag“ und was als „erhebliche Beeinträchtigung im Hinblick auf die Umweltziele“ gilt.

Die EU-Kommission hat in einem erste delegierten Rechtsakt zur EU-Taxonomie, der Ende 2021 in Kraft trat, technische Bewertungskriterien für zwei der festgelegten Umweltziele bestimmt: Klimaschutz sowie Anpassung an den Klimawandel, wobei jedoch die Kernenergie und erdgasbasierte Energietechnologien vorerst noch ausgeklammert wurden.

Spätestens seit dieser Ausklammerung war klar, es gibt Streitpotenzial. Mit einem ergänzenden delegierten Rechtsakt hat die EU-Kommission am 15. Juli 2022 fossiles Gas und Kernenergie nachträglich in das Taxonomie-System aufgenommen und somit als nachhaltig eingestuft, wenn auch nur als „Brückentechnologien für den Übergang“ und unter bestimmten Voraussetzungen.

So müssen die betreffenden Gas- und Kernenergieaktivitäten neben spezifischen technischen Kriterien insbesondere zum Übergang zur Klimaneutralität beitragen. Kernkraftwerke müssen strenge Anforderungen an nukleare Sicherheit und Umweltsicherheit erfüllen. Gaskraftwerke müssen zum Umstieg von der Kohle auf erneuerbare Energieträger beitragen. Für sie gelten auch besondere Bedingungen, was Effizienz und die Möglichkeit angeht, diese später auf CO₂-neutrale Technologien wie Wasserstoff umzustellen. Auch ist ihr Treibhausgasausstoß auf ein bestimmtes Höchstmaß begrenzt.

Investitionen in Neubauten von Kernkraftwerken, die bis 2045 genehmigt werden, sollen als nachhaltig gelabelt werden können, ebenso wie Reaktoren mit Laufzeitverlängerungen bis 2040. Die zuständigen Mitgliedsstaaten müssten zudem Pläne für ein Endlager für hoch-radioaktive Abfälle haben, das bis spätestens 2050 eingerichtet werden soll. Da Parlament und Rat der EU nicht dagegen stimmten, ist der ergänzende delegierte Rechtsakt in Kraft getreten und gilt damit seit 1. Januar 2023.



Mit der Taxonomie-Verordnung gibt die EU vor, welche Wirtschaftstätigkeiten als nachhaltig gelten. Foto: PantherMedia/Alex Gavlovsky

Nachhaltigkeit offenlegen

Seit Anfang 2023 müssen vor allem börsennotierte Unternehmen mit mehr als 500 Beschäftigten nach dem CSR-Richtlinie-Umsetzungsgesetz in Deutschland und in Österreich durch per Gesetz veranlassete Änderungen im Unternehmensgesetzbuch im Rahmen einer Erklärung zur EU-Taxonomie über die Nachhaltigkeit ihrer Wirtschaftstätigkeit berichten. Sie müssen etwa angeben, wie und in welchem Umfang ihr Unternehmen in ökologisch nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten gemäß der Taxonomie-Verordnung involviert ist.

Konkret müssen sie über den ökologisch-nachhaltigen Anteil an ihren Umsätzen, Investitions- und Betriebsausgaben berichten. Darüber hinaus sieht die EU-Verordnung über nachhaltigkeitsbezogene Offenlegungspflichten im Finanzdienstleistungssektor von 2019, die sogenannte Offenlegungsverordnung, für Finanzmarktteilnehmende und -beratende ähnliche und darüber hinausgehende Pflichten vor. Diese betreffen insbesondere die Nachhaltigkeit von Finanzprodukten sowie ebenfalls die Technologien fossiles Gas und Kernenergie.

Es geht vor Gericht

Diese Kontroverse ist noch nicht zu Ende ausgetragen. Mehrere Staaten wollten nicht hinnehmen, dass ihre bereits in der Vergangenheit geäußerte Kritik an der EU-Taxonomie bezüglich Gas und Atom von der Kommission ungehört blieb. Und so ließ Österreich seiner Drohung, gegen den ergänzenden delegierten Rechtsakt zu klagen, Taten folgen und reichte am 7. Oktober 2022 Klage gegen die EU-Kommission ein und beantragte, den ergänzenden delegierten Rechtsakt für nichtig zu erklären. Zwar befürwortet Österreich, laut seiner Klimaschutzministerin Leonore Gewessler, die EU-Taxonomie

grundsätzlich als Leitfaden für Investoren, wendet sich jedoch gegen Greenwashing von Atomkraft und fossilem Gas.

Die Klage der österreichischen Regierung umfasst 16 Klagegründe, die ersten acht betreffen die Kernenergie, die weiteren acht fossiles Gas. Neben Österreich haben sich auch andere Staaten, darunter Luxemburg, Dänemark, aber auch Deutschland (jedoch nur bezüglich Atomkraft) kritisch geäußert.

Luxemburg hat bereits angekündigt, in dem Verfahren als Streithelfer die österreichischen Positionen zu unterstützen. Auch mehrere Umweltorganisationen erwägen Klagen. Dagegen haben sich insbesondere Frankreich und Polen besonders deutlich für die von der EU zur Atomkraft eingenommene Position eingesetzt.

Mit der Klage vor dem EuGH hat sich der Schauplatz des Streits um die Aufnahme von fossilem Gas und Kernenergie als „grüne Technologien“ also vom Parkett des Europarats vor die Gerichtsbank in Luxemburg verlagert. Der Ausgang bleibt insoweit offen und damit mit Spannung abzuwarten. Sollte die Nichtigkeitsklage Erfolg haben, würde diese auch rückwirkend wirken.

Weitere Konkretisierungen

Aber auch die Taxonomie-Verordnung selbst ist noch nicht zur Gänze „verabschiedet“. Ein zweiter delegierter Rechtsakt, der sich bereits verzögert hat und aktuell bis Ende des ersten Quartals 2023 erwartet wird, soll genauere Spezifikationen für die übrigen vier Umweltziele festlegen. Es bleibt zu hoffen, dass dieser delegierte Rechtsakt mit mehr Konsens verabschiedet wird und die nötige Schlagkraft entfaltet, die zur Erreichung der ambitionierten Klimaziele der EU dringend nötig sind. Denn die EU-Taxonomie soll ein wichtiges Instrument zur Umsetzung der EU-Klimaziele sein – wenigstens darüber scheint bei den Mitgliedstaaten der EU doch Einigkeit zu herrschen. ■

www.pinsentmasons.com



Dr.
Alice Boldis

Rechtsanwältin
Wirtschaftskanzlei
Pinsent Masons

alice.boldis@pinsentmasons.com

Foto: Pinsent Masons

PMMA, in Geisenheim sortenrein vorsortiert und granuliert. Es wird anschließend zur Wiederverwendung zu Kunststoffherstellern transportiert.
Foto: Pekutherm Kunststoffe

Neuer Schredder für Acrylglas

Acrylglasabfälle aus der Wirtschaft zu sammeln, zu schreddern und hochwertige Rezyklate für die Wiederverwendung herzustellen, ist die Spezialität eines hessischen Unternehmens. Dieser Markt hat Zukunft. Das Unternehmen hat seine Kapazitäten für das Recycling ausgeweitet.

Thomas Gronenthal

Der globale Markt für Acrylglas, also dem Kunststoff Polymethylmethacrylat, kurz PMMA, wächst. Die steigende Popularität von Elektrofahrzeugen und die zunehmende Nachfrage nach leichten Automobilkomponenten treiben langfristig auch den Absatz von Acrylglas voran.

Auch die steigende Nachfrage nach Glasalternativen mit höherer Haltbarkeit ist ein Faktor, der die Nachfrage erhöht. So hat das deutsche Chemieunternehmen

Röhm, Erfinder des Markennamen Plexiglas, für diesen Kunststoff die Erweiterung seiner Produktionskapazitäten in Worms und am chinesischen Standort Shanghai bekannt gegeben. Das Marktforschungsunternehmen Fact.MR mit Hauptsitz in Rockville, Maryland, USA, erwartet in den nächsten zehn Jahren Wachstumsraten von knapp 6 % jährlich, sodass das Marktvolumen für PMMA bis 2030 auf rund 8 Mrd. € steigen kann.

Recycling sollte dabei eine wesentliche Rolle spielen: Das hochwertige Basismaterial kann bei entsprechender Bearbeitung

in ein qualitativ nahezu identisches Recyclat verwandelt werden.

Bei Kunststoffen zählt Acrylglas zu den Materialien, die nicht nur gut haltbar sind und weitere hochwertige Eigenschaften haben, sondern auch umfassend recycelt werden können. Ein flächendeckendes PMMA-Recycling ist bei vielen Unternehmen aber noch nicht angekommen. Vielfach endet der Rohstoff oft in der Müllverbrennung oder auf Deponien.

Seit Jahren bereits arbeitet das Entsorgungsunternehmen Pekutherm Kunststoffe aus dem hessischen Geisenheim jedoch



schon gegen diesen Trend an und ist auf das Recycling von PMMA wie auch von anderen hochwertigen Kunststoffen spezialisiert.

Die ökologische Box

Mit eigenen „Ecobox“ genannten Sammelcontainern stellt Pekutherm Verarbeitern und Nutzern von Plexiglas einen eigenen Recycling-Kreislauf zur Verfügung. In den vergangenen Monaten verzeichnet das Unternehmen einen steigenden Bedarf an hochwertigen Kunststoff-Recyclaten, die im Zuge der höheren Nachhaltigkeit in zahlreichen Branchen vermehrt eingesetzt werden. Neben dem Umweltvorteil nutzen mehr und mehr Unternehmen auch die Werbewirkung, wenn Lichtschalter, Kaffeemaschinen-Gehäuse und andere Produkte aus einem Recyclat hergestellt sind. Und doch nutzen noch zu wenige Unternehmen die Möglichkeit, den wertvollen Rohstoff – ob als Abfall oder Verschnitt – in den geregelten Recyclingkreislauf zu geben.

Neue Schredderanlage

Dennoch hat Pekutherm die eigene Kapazität deutlich erhöht und im Oktober 2022 aufgrund der wachsenden Nachfrage im Werk Geisenheim eine neue Schredderanlage zum Vorzerkleinern großer und schwerer Plattenmaterialien in Betrieb genommen.

Die Anlage verfügt über eine Durchsatzleistung von 1 t/h und fügt so knapp 2 000 t dem bisher möglichen Jahresergebnis hinzu.

In den kommenden Monaten plant das Unternehmen noch weiter in diesem Bereich zu investieren: Zwischen 8 000 und 10 000 t/a werden dann möglich sein. Dies eröffnet weiteren Kunststoffverarbeitern die Chance, hochqualitative Recyclate zu nutzen, um der massiven Nachfrage zu nachhaltigen Produkten zu begegnen.

Closed-Loop

In der Kunststoffbranche bietet das Closed-Loop-Verfahren die meisten Vorteile beim Recycling sortenreiner Werkstoffe. Dabei wird ein Produkt oder Material sortenrein verarbeitet und durch Recycling in ein gleichwertiges oder nahezu gleichwertiges neues Produkt umgewandelt, ohne dass wesentliche Eigenschaften während des Recyclings verloren



Die Lagerhalle von Pekutherm in Geisenheim: Plattenmaterial aus unterschiedlichen Quellen wartet auf Aufbereitung und Zerkleinerung.

Foto: Pekutherm Kunststoffe



Buntes PMMA-Plattenmaterial eines ehemaligen Messestandes wird händisch der Zerkleinerung zugeführt. Foto: Pekutherm Kunststoffe



Die Kunststoffschneidmühle der neuen Schredderanlage (hier geöffnet) arbeitet mit rotierenden Messern. Foto: Pekutherm Kunststoffe

gehen. Im Fall von PMMA ist das in bis zu sieben Zyklen durch zerkleinern in Granulat möglich, ehe das Produkt durch chemisches Recycling in seine Bestandteile zerlegt wird und komplett neu aufbereitet wird.

Das Recycling im geschlossenen Kreislauf verringert die Umweltbelastung und hilft, das Aufbrauchen der natürlichen Ressourcen zu verlangsamen. Denn im Gegensatz dazu muss im offenen Kreislauf das Recyclat mit neuem Material gemischt werden, um eine anforderungsgerechte Produktqualität erhalten zu können.

Bei Pekutherm in Geisenheim wird bereits seit mehreren Jahren nach dem Closed-Loop-Verfahren gearbeitet – und sogar Großprojekte werden hier nach dieser Methode abgewickelt. Eines davon war das Recycling des ehemaligen Messestands des Leverkusener Chemieunternehmens Covestro komplett aus Acrylglas. Insgesamt mehr als 7 t Material gingen so in den Kreislauf zurück und wurden zu Lampengehäusen, Rücklichtern im Kfz-Bereich, Lichtschaltern und Gehäusen von Kaffeemaschinen.

Nachschub an Altmateriale

Pekutherm hat ein eigenes Konzept erarbeitet, um den Nachschub an Altmateriale zu gewährleisten. Seit 2001 stellt das Unternehmen die Ecobox zur Verfügung. Diese faltbaren Sammelcontainer ermöglichen es, auch größere Mengen von bis zu 1 t an Kunststoffabfällen – allen voran PMMA – zu sammeln und über eine Logistikkette dem Recycling zuzuführen.

Mit diesem Modell gewährleistet das hessische Unternehmen den bundesweiten Nachschub an Rohstoffen, die im Werk Geisenheim sortiert und verarbeitet werden. Das lohnt sich auch für die Lieferanten – denn der Altstoff wird vergütet. Und Verarbeiter von Acrylglas oder anderen hochwertigen Kunststoffen verkennen oft die anfallenden Mengen. Selbst der Verschnitt macht pro Jahr einige Tonnen pro Lieferant aus.

Sinnvoll wäre aus Sicht von Heiko Pfister, Pekutherm-Geschäftsführer, eine verpflichtende Rückführung etwa von PMMA in den Kreislauf. „Während Verbraucherinnen und Verbraucher längst zum Recycling verpflichtet sind, endet noch immer eine zu große Menge an Acrylglas in der Müllverbrennung oder im Export.“ Ähnlich dem „Gelben Sack“ für Verbraucher wäre die Integration von Recycling in den generellen Produktkreislauf hochwertiger Werkstoffe flächendeckend ressourcenschonend. ■

www.pekutherm.de



Thomas Gronenthal

Freier Journalist

thomas.gronenthal@euromarcom.de

Foto: Th. Gronenthal

Schwarze Kunststoffe recyceln

Schwarze Plastiksorten lassen sich inzwischen gut sortieren – dank verbesserter Infrarot-Spektroskopie und chemischen Zusatzstoffen zu den einzelnen Plastiksorten. Ein baden-württembergischer Anlagenbauer hilft Recyclern, die richtigen Komponenten zu besorgen und einzubauen.

Enrico Siewert

Auf schwarzen Kunststoff entfällt ein großer Anteil der Siedlungsabfälle. Wird er nicht wiederverwertet, landet er in Verbrennungsanlagen oder auf Deponien. Dies ist nicht nur umwelttechnisch von Bedeutung, sondern wirkt sich auch in finanzieller Hinsicht aus. Können Recyclingfirmen schwarzen Kunststoff nicht aussortieren, verlieren sie nach den Erfahrungen des Unternehmens Stadler Anlagenbau aus Altshausen, Baden-Württemberg, bis zu 15 % des Wertes des angelieferten Materials.

Gelingt es Unternehmen jedoch, dieses Material aus dem Abfallstrom herauszu ziehen, erhalten sie einen wirtschaftlichen Gegenwert, der sich positiv auf ihr Geschäftsergebnis auswirkt.

Hinzu kommt, dass immer mehr Verpackungen aus schwarzem Kunststoff hergestellt werden, da immer mehr recyceltes Material eingesetzt wird. Wird beim Recyceln von Post-Consumer-Verpackungsabfällen nämlich nicht streng nach Farben sortiert, ist das Ergebnis ein graues Granulat, das Kunststoffhersteller nicht mehr weiß bekommen. Viele Verarbeiter fügen also Ruß hinzu, um eine homogenere und ansprechendere Farbe zu erhalten.

Schwarze Kunststoffe sind mit der von Recyclingfirmen bisher eingesetzten Nahinfrarot-Technologie nicht erkennbar. Denn dem Kunststoff wird, damit er schwarz aussieht, Ruß zugesetzt. Ruß absorbiert jedoch Licht. Damit wird das Infrarotsignal, das die Lichtquelle zum Material schickt, nicht reflektiert und der Sensor erhält keinen Messwert. Demzufolge kann schwarzer Kunststoff mit der



Eine typische bunte Mischung von geschredderten flexiblen Verpackungen. Die schwarzen Teilchen lassen sich heute auch nach der Art des Polymertyps sortieren. Foto: Stadler

Technologie, die in der Recycling-Infrastruktur aktuell weit verbreitet ist, nicht erkannt werden. Dank neuer Entwicklungen ändert sich dies. Schwarze Kunststoffe können inzwischen nach Farbe und nach 15 verschiedenen Polymertypen sortieren werden.

Technologische Fortschritte

Verschiedene an der Kunststoff-Wertschöpfungskette beteiligte Industriezweige forschen nach Lösungen für das Problem der schwarzen Kunststoffe – mit Erfolg:

Heute gibt es mehrere Möglichkeiten diese Materialien zurückzugewinnen:

- Das sensorgestützte Trockensortiersystem arbeitet mit NIR-Sensoren, die Zusatzstoffe, den schwarzem Plastik zugesetzt wird, erkennen. Hiermit können schwarze Kunststoffe aus vier Polymeren erkannt, getrennt und sortiert werden: Es sind Polyethylen, Polypropylen, Polyethylenterephthalat (PET) und Polystyrol.
- Einen anderen Ansatz bietet die nasse Dichtesortierung nach dem Flotationsprinzip. Leichtere Polymere wie Poly-

ethylen und Polypropylen schwimmen auf, während Schwerere wie Polyethylenterphthalat (PET), Polyvinylchlorid (PVC) und Polystyrol eher absinken. Schwarzes Plastik ist aufgrund des zugesetzten Rußes oder der zugesetzten Zusatzstoffe jedoch schwerer als helles Plastik, sodass auch schwarzes Polyethylen oder Polypropylen absinken. Nachteil dieses Systems ist, dass es aufgrund des Filtrationsprozesses, des Wasserbedarfs und der Reinigung kostspielig ist, und dass es nicht nach Polymeren sortieren kann.

- Den größten Fortschritt gab es in der sensorgestützten Trockensortiertechnik, da sich die Sensortechnologie weiter entwickelt hat. Es ist inzwischen möglich, schwarze Kunststoffe dank chemischer Zusatzstoffe nicht nur nach Farbe, sondern auch nach Polymeren sortieren zu können.

Schwarzer Kreislauf

Die Möglichkeit, schwarze Kunststoffe zu erkennen, hat zur Folge, dass künftig mehr davon in die Recyclingkette gelangt. Jetzt muss die Nachfrage nach diesen schwarzen Post-Consumer-Materialien geschaffen werden. Hier gibt es Grenzen:

Daraus lassen sich keine weißen Produkte herstellen, auch lebensmittelechte Verpackungen werden nicht immer machbar sein. Es müssen aber nicht zwangsläufig Produkte für Endverbraucher sein. Möglich ist, diese Kunststoffe einzusetzen, um Erzeugnisse wie Paletten, Eimer oder Eisenbahnschwellen herzustellen.

Schwarze Kunststoffe eignen sich auch für das chemische Recycling. Werden Kunststoffe wie Polyethylen chemisch in kleinere Bestandteile oder gar Synthesegas zerlegt, ist es unwichtig, ob der Rohstoff schwarz ist.

Wichtig ist, mit Verpackungsdesignern und -herstellern zusammenzuarbeiten. Eine wichtige Frage ist, ob Verbraucher*innen schwarze Verpackungen wirklich wollen oder brauchen? Eine andere ist, ob ihnen eine Kreislauflösung der Verpackung, die sie kaufen, oder ihr Aussehen wichtiger ist? Antworten auf diese Fragen werden dazu beitragen, das Problem der schwarzen Kunststoffe zu lösen und eine bessere Wiederaufbereitung des Abfallstroms zu erreichen.

Die neusten technologischen Entwicklungen und die Forderung der Verbraucher*innen nach mehr recycelten Materialien in Verpackungen werden die Nachfrage nach Sortieranlagen, die sämt-

liche schwarzen Kunststoffe aus dem Abfallstrom aussortieren können, weiter steigen lassen.

So erlebt Stadler zurzeit sprunghaft gestiegenes Interesse an seiner Technologie. Das Unternehmen hat zudem mehrere Partner, mit denen die Technologie zur Erkennung schwarzer Kunststoffe entwickelt worden ist. Es ist daher schnell in der Lage, Systeme für die Rückgewinnung dieser Materialien zu konstruieren, die auf die individuellen betrieblichen Anforderungen und das Budget der Kunden abgestimmt sind.

In einigen der modernsten Recyclinganlagen für Leichtverpackungen in Europa wird die neue Technik bereits eingesetzt. Die Nachfrage nach dieser Technologie ist sehr hoch, und das Unternehmen erwartet, dass sich dieser Trend in der Zukunft fortsetzen wird. ■

www.w-stadler.de



Enrico Siewert

Leiter Produkt- und Marktentwicklung
Stadler Anlagenbau GmbH

Enrico.Siewert@w-stadler.de

Foto: Stadler

Vorschau 5-6/2023



Auch beim Bau wird verstärkt auf Energieeffizienz und Kreislaufwirtschaft geachtet.

Foto: PantherMedia/TonyGravante

Special: Biotechnologie & CO₂-freie Verfahren

Oft kann mit weniger CO₂-Emissionen produziert werden. Mikroorganismen können helfen.

Luft, Wasser & Lärm

Werden Anlagen, die die Abluft von flüchtigen organischen Chemikalien reinigen, effizienter, kann dies Energie und Geld einsparen.

Rohstoff, Chemie & Biotechnologie

Auch beim Bau lässt sich CO₂ einsparen. Das gilt etwa für den Spezialtiefbau und das Temperieren von Beton.

Innenwände zu 100 % aus Bauschutt

Das Betonwerk Büscher aus Nordrhein-Westfalen geht voran: Aus Abbruchresten hat das Unternehmen Betonfertigteile hergestellt: Innenwände für den seriellen Wohnungsbau. Damit hat sich die Bauzeit für das Mehrfamilienhaus auf weniger als vier Monate verkürzt.

Kerstin Heemann & Franz-Peter Heidenreich

Die mittelständische Unternehmensgruppe Büscher im nordrhein-westfälischen Heek, die sich aus dem Betonwerk Büscher und dem Büscher Containerdienst- und Toilettenmietservice zusammensetzt, hat ein Verfahren zur Herstellung von Innenwänden aus Beton mit 100 % Natursteinersatz entwickelt – und dies mit Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU).

Bauschutt für den Hochbau

Laut krachend lässt eine Baggerschaukel Bauschutt auf den Anhänger eines Traktors fallen. Hellgrauer Staub wirbelt auf. Wie in einer einzigen Bewegung wendet der Bagger, während gleichzeitig die Baggerschaukel herabsinkt. Dann frisst sie sich erneut in einen riesigen Berg aus Bauresten, vorwiegend Mauerwerkbruch. „Der wird üblicherweise als Abfallstoff bezeichnet“, sagt Wolfgang Büscher. „Aber für uns ist das kein Müll, sondern ein Wertstoff.“

Gemeinsam mit seinem Bruder Hans-Jürgen leitet er das Betonwerk Büscher im nordrhein-westfälischen Heek. Die Abfallmengen sind beachtlich: Allein im Jahr 2018 fielen laut Umweltbundesamt (UBA) aus Bauschutt und Straßenaufbruch 73,9 Mio. t mineralische Abfälle an. Von den recycelten Baustoffen wurden laut UBA jedoch nur 15,8 Mio. t hochwertig in der Asphalt- und Betonherstellung eingesetzt. Technisch ließe sich noch



Alle Innenwandelemente dieses Hauses bestehen vollständig aus recyceltem Bauschutt.

Foto: Betonwerk Büscher

weit mehr Bauschutt aus dem Hochbau wieder für den Hochbau aufbereiten.

Dazu eine Beispiel-Rechnung: Beim Büscher-Pilotprojekt wurden etwa 95 m³ Recycling-Beton verbaut und rund 155 t primäre Rohstoffe gespart. Hochgerechnet ließen sich mit den restlichen 58,1 Mio. t Bauschutt etwa 375 000 Mehrfamilienhäuser im gleichen Stil bauen.

Helfende Recyclingbaustoffe

Recycling-Beton als Wertstoff könnte dazu beitragen, den von der Bundesregierung angestrebten Bau von 400 000 Wohnungen pro Jahr voranzubringen. „Aufgrund von Ressourcen- und Energieverbrauch, Lieferengpässen und Fachkräftemangel stehen wir beim Wohnungsbau

vor großen Herausforderungen“, sagt DBU-Generalsekretär Alexander Bonde und fordert ein Umdenken. Für ihn haben Recycling-Baustoffe ein hohes Potenzial, zur Lösung beizutragen. „In Politik und Praxis finden sie bisher jedoch noch zu wenig Beachtung.“

Ein Beispiel: Unvermeidlich ist das Entstehen von sogenannten Brechsanden beim Aufbereiten von Betonbruch zu Recyclingbeton. Doch ihre Verwertung für die Betonherstellung ist nach den gültigen Vorschriften noch nicht allgemein zulässig.

Dabei würde Recycling-Beton Rohstoffe wie Kies und Sand schonen, deren Abbaufächen und Deponien entlasten sowie energieeffizienter als herkömmliche Verfahren sein. Ein weiterer Vorteil von Recycling-Beton: Er bindet für lange Zeit



das klimaschädliche Kohlenstoffdioxid und trägt in diesem Zeitraum zur Treibhausgasminderung bei. Laut einer Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sind Sand und Kies die bedeutendsten heimischen Rohstoffe, jedoch wird die Versorgung in Deutschland zunehmend schwieriger.

Konkurrierende Nutzungen, immer weniger Abbauflächen, eine vielerorts mangelnde Akzeptanz in der Bevölkerung sowie die aktuelle Energiekrise führen demnach teilweise zu erheblichen Problemen bei der Gewinnung dieser wichtigen Baurohstoffe. Dazu Zahlen des statistischen Bundesamts: Ende 2021 war Deutschland 357 592 m² groß und teilte sich wie folgt auf: 50,5 % landwirtschaftliche Nutzflächen, 31,0 % Wald und Gehölze, 14,1 % Siedlungs- und Verkehrsflächen, 2,3 % Gewässer und 2,1 % sonstige Flächen, darunter 0,4 % Abbauflächen wie Tagebau, Gruben und Steinbruch.

Die Flächennutzungskonkurrenz ist groß; das Interesse, landwirtschaftliche Nutzflächen für den Rohstoffabbau zur Verfügung zu stellen, gering. Zudem



Der Bauschutt abgerissener Häuser wird wie hier auf der Bauschuttrecyclinganlage Büscher in Heek vorsortiert, um dann wieder eingesetzt zu werden. Foto: Betonwerk Büscher

benötigen Kommunen und Länder etwa für Infrastrukturmaßnahmen Ausgleichsflächen und in Zeiten der Energiekrise verschärft sich der Flächendruck durch den notwendigen Ausbau erneuerbarer Energien wie Solar- und Windenergieanlagen zusätzlich.

Baurechtliche Hindernisse

Dass sich Recycling-Baustoffe aus sogenannten Porenbetonrezyklaten als Wän-

de in einem Bauvorhaben eignen, hat das Leibniz-Institut für Werkstofforientierte Technologien (IWT) in Bremen im Jahr 2020 nachgewiesen. Laut der DBU-geförderten Studie „Untersuchung der hochwertigen Wiederverwendung von mineralischem Abbruchmaterial im erstmaligen Einsatz von Baustoffen aus Porenbetonrezyklaten in einem Bauprojekt“ von 2020 sind solche Recyclingbaustoffe allerdings baurechtlich nicht geregelt. Deren Verwendung kann demnach nur über eine Zustimmung im Einzelfall oder eine Zulassung erfolgen.

Genau diese Hürde haben die Büscher-Brüder als Geschäftsführer des gleichnamigen Betonwerks genommen. Als erstes Unternehmen in Deutschland hat das Betonwerk Büscher 2021 die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik für ihr neues Betongemisch bekommen.

Daraus dürfen sie Wandelemente mit bis zu 11 m Länge und 3,7 m Höhe herstellen mit ihrem neuen Baustoff aus gemischtem Bauschutt – also 100 % Natursteinersatz – herstellen. Acht Jahre haben

Recycling **AKTIV**
RATL
Tiefbau **LIVE**

Die Demonstrationsmesse

27. – 29. April 2023
Messe Karlsruhe

**Jetzt
Ticket
sichern!**



ratl-messe.com

messe
— karlsruhe

Wolfgang und Hans-Jürgen Büscher an der Rezeptur geforscht, Genehmigungen eingeholt und Experten überzeugt. Rund 1,5 Mio. € haben sie in die Forschung investiert.

13 % weniger CO₂

Auf dem Betriebshof des Familien-Unternehmens wird der Bauschutt nach einer ersten Anlieferungskontrolle vorsortiert. Er stammt von rückgebauten Gebäuden aus einem Umkreis von bis zu 30 km. Nicht-verwendbare Materialien wie etwa Metall, Kunststoff, Holz und Gips werden aussortiert.

Zudem entfernt ein sogenannter Windsichter leichte Störstoffe wie etwa Plastikteilchen und Folien, ein Magnetabscheider trennt weitere Metalle. Nach dem Sieben erfolgen Sichtkontrollen. Analysiert werden stoffliche Zusammensetzung, Kornaufbau, Rohdichte sowie Kern- und Oberflächenfeuchten der Gesteinskörnungen – alles nach zertifiziertem Qualitätsstandard.

Und: Die Verfahren orientieren sich bereits stark an der neuen Ersatzbaustoffverordnung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, die erst ab August 2023 in Kraft tritt. In einer großen Produktionshalle wird das Betongemisch nach firmeneigener Rezeptur mit 100 % Natursteinersatz inklusive der Sande hergestellt und in anpassbare Holzrahmen gegossen, sodass Innenwände unterschiedlicher Größe individuell vorgefertigt werden können.

Das Unternehmen hat für das Verfahren eine Ökobilanz-Studie der Life Cycle Engineering Experts GmbH aus Darmstadt in Auftrag gegeben. Das Ergebnis: Eine 1 m² große und 14 cm dicke Recycling-Stahlbeton-Innenwand des Betonwerks verursacht 13 % weniger CO₂-Ausstoß als eine Standard-Stahlbeton-Innenwand gleicher Größe.

Innenwände aus Ersatz

Dass Innenwände aus Natursteinersatz im seriellen und kostengünstigen Wohnungsbau eingesetzt werden können, wollten die Büscher-Brüder selbst beweisen. Nur fünf Fahrminuten vom produzierenden Unternehmen entfernt haben sie in Eigenregie ein Drei-Parteien-Miethaus, bei dem alle Innenwände vollständig aus Recycling-Beton bestehen, neu gebaut.



Im Recycling-Beton ist der klassische Bauschutt-Mix mit rotem Klinker sowie Anteilen von Ziegel, Beton- und Mauerwerk zu sehen.

Foto: Betonwerk Büscher

Dieser Neubau ist dabei nach Firmenangaben preiswerter als der Einsatz von Primärbaustoffen. Auch das Produkt selbst ist laut Unternehmen im Vergleich zur herkömmlichen Stahlbetonwand kostengünstiger. „Durch dieses Haus können wir zeigen, dass unsere Wände den herkömmlichen Bauten in den technischen,

RECYCLING-BETON MIT VORTEILEN

Aufgrund der Herausforderungen, den Wohnungsbau deutlich zu beschleunigen, fordert die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) in Osnabrück ein Umdenken hin zu mehr Ressourcenschutz. Sie sieht großes Potenzial bei hochwertigen Recycling-Baustoffen. So zeigt das Betonwerk Büscher, dass ausschließlich mit Abbruchmaterialien tragende sowie nicht-tragende Innenwände gefertigt und für den Bau bis zur Gebäudeklasse 4 eingesetzt werden können.

Die Entwicklung dieser Bausysteme aus gemischtem Mauerwerkabbruch hat die DBU mit mehr als 400 000 € gefördert.

Qualitativ und optisch sind die Innenwände gleichwertig zu Fertigwänden aus gebräuchlichem Primär-Beton. Die Vorteile: Mit den Recycling-Betonwänden braucht kein Kies und Sand abgebaut zu werden, im Vergleich zum herkömmlichen Verfahren werden 13 % CO₂ eingespart und die individuelle Bauteilfertigung eignet sich für den seriellen Wohnungsbau.

statischen und klimatischen Eigenschaften qualitativ ebenbürtig sind“, sagt Wolfgang Büscher. Er weist im Eingangsbereich auf eine bewusst sichtbar gebliebene Wand aus Mauerwerkabbruch. Deutlich zu sehen: roter Klinker, grauer Beton und Keramik. Alle anderen Innenwände sind so unauffällig hellgrau wie man es von Beton kennt.

Hoffen auf große Resonanz

Aufgrund der individuell vorgefertigten Innenwände gibt es einen weiteren Vorteil im Vergleich zu einem Neubau mit gemauerten Wänden: Der Rohbau stand binnen zwei Wochen, und so war nach kaum vier Monaten Bauzeit das Recycling-Haus Anfang Februar bezugsfertig. In zwei der Wohnungen sind die Mieter bereits eingezogen, eine Wohnung steht noch frei und dient als Musterwohnung. Das Interesse an einer Besichtigung ist groß.

„Wir wollen unser Verfahren bundesweit bekannt machen und freuen uns, wenn sich auch andere Betonwerke, Recyclingunternehmen und weitere Interessierte zum Thema nachhaltiges Bauen mit Sekundärbaustoffen bei uns melden“, sagt Unternehmens-Mitarbeiter Thomas Overbeeke. „Die Bauwirtschaft steht vor einer umfassenden Transformation. Neue Ansätze sind notwendig, damit eingesetzte Baumaterialien nicht als Abfall enden – wir können und dürfen dies mit der Büscher-Wand.“

www.zurueckfuerdiezukunft.de

Dipl.-Biol.
Kerstin Heemann

Stellvertretende
Pressesprecherin
Deutsche Bundesstiftung
Umwelt (DBU)

k.heemann@dbu.de

Foto: DBU



Dipl.-Ing.
Franz-Peter Heidenreich

Leiter des Referats Wasser,
Boden, Infrastruktur, DBU

fp.heidenreich@dbu.de

Foto: DBU





Europäische Umweltagentur

Umwelt- und berufsbedingte Krebsrisiken vermeiden

Nach Ansicht von EU-Fachleuten soll rund jede zehnte Krebserkrankung auf äußere Faktoren wie Luftverschmutzung, krebserregende Chemikalien, UV-Licht oder auch Passivrauchen zurückzuführen sein. Schadstoffe in der Umwelt und am Arbeitsplatz haben danach ebenso wie manche natürlichen Risiken einen enormen Einfluss auf unsere Gesundheit und können zu Krebserkrankungen führen. Darauf weist die Europäische Umweltagentur (EUA) mit Sitz in Kopenhagen in ihrem Bericht „Beating cancer – the role of Europe’s environment“ hin, der online herunterladbar ist. Die meisten umwelt- und arbeitsbedingten Krebsrisiken könnten nach dem Ergebnis dieser Studie durch die Vermeidung von Verschmutzung und durch veränderte Verhaltensweisen gesenkt werden.

Die Belastung durch solche Risiken zu verringern, sei eine wirksame und kostengünstige Methode, um einen Rückgang der Krebserkrankungen und der damit verbundenen Todesfälle zu erreichen. Der EU-Aktionsplan „Zero Pollution“ aus dem Jahr 2021 und die EU-Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit von 2020 seien hierfür geeignete Mittel, heißt es in dem Bericht.

Auch mit der Richtlinie über nationale Emissionshöchstmenge (NEC) und den Richtlinien über die Luftqualität der



Sinken Emissionen schädlicher Stoffe beispielsweise aus Industrieanlagen, sinken die Krebsrisiken für Arbeitnehmer*innen und die Bevölkerung. Foto: PantherMedia/mijeshots.gmail.com

Europäischen Union seien bereits strikte Maßnahmen gegen die Luftverschmutzung ergriffen worden. Ziel der Chemikalienstrategie für Nachhaltigkeit sei, die schädlichsten in Produkten enthaltenen Chemikalien zu verbieten, zu denen krebserregende Substanzen gehören, und die Verwendung von inhärent sicheren und nachhaltigen Chemikalien zu fördern. Für die betriebliche Praxis sieht der Betriebsbeauftragtenverband VBU die jeweiligen Anlagenbetreiber in der Pflicht zur Verringerung von Schadstoffbelastungen

beizutragen. Er fordert deshalb die konsequente Umsetzung von Vorgaben sicherzustellen und so nicht nur zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes zu sorgen sondern auch berufsbedingte Krebsrisiken von Kollegen zu verringern. Als Instrument stünden dafür auch die betrieblichen Beauftragten mit ihrer Übersicht und Dokumentation der internen Umweltstandards zur Seite, durch deren Einsatz für weitere Verbesserungen des betrieblichen Umweltschutzes gesorgt werden kann.

Klimafreundliche Produktion Staatliche Förderung nicht für alle

Erklärtes Ziel von Bundeswirtschafts- und Klimaminister Robert Habeck ist, klimafreundliche Produktionen zu fördern. Um Energieeffizienzprojekte in Unternehmen schneller umzusetzen, hat das Ministerium die Richtlinie „Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft“ (EEW) überarbeitet. Neu in dieser Förderrichtlinie ist, dass Unternehmen direkt nach Antragstellung mit der Umsetzung ihrer Vorhaben beginnen können – zuvor mussten sie auf die Antragsbewilligung warten, um eine Förderung zu erhalten. Ein weiteres Förderprogramm soll vor allem Großbetriebe besonders energieintensiver Produktionen anregen, auf klimafreundlichere Produktionen umzustellen. Hierfür stellt das Ministerium Förderungen des Bundes in Form milliardenschwerer Klimaschutzverträge in Aussicht. Die Verträge binden beide Seiten: Einerseits sollen die Förderungen, um die

nötigen Innovationen anzuregen, 15 Jahre lang Investitions- und Betriebskosten decken. Andererseits müssen die Unternehmen, wenn sie mit dem neuen Verfahren günstiger als mit herkömmlichen Verfahren produzieren, die Fördergelder zurückzahlen. Aus Sicht des Betriebsbeauftragtenverbandes VBU ergeben sich mit der EEW-Förderrichtlinie und dem Förderprogramm für energieintensive Großbetriebe für die Betriebsbeauftragten gute Gelegenheiten, deren Umsetzung in der betrieblichen Praxis im Rahmen ihrer gesetzlichen Innovations- und Hinwirkungsaufgaben zu unterstützen. Zu kritisieren ist aus Sicht des VBU jedoch, dass Klimaschutzverträge nur Betreibern ausgewählter großer Produktionsanlagen, die ihre Anlagen künftig mit Strom aus erneuerbaren Energien betreiben werden, zugute kommen soll und nicht auch weiteren innovativen Industrieunternehmen.

Normungsroadmap „Circular Economy“

Eine zirkuläre Ökonomie (englisch: „circular economy“), in der Materialien und natürliche Ressourcen im Kreis geführt werden, hat vor dem Hintergrund von Klimaschutz und Green Deal der EU eine besondere Bedeutung. Hierbei sind Normen und Standards wichtig, um den Übergang der Wirtschaft zu einer zirkulären Ökonomie zu unterstützen.

Das Deutsche Institut für Normung (DIN), die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) und der VDI haben dazu die „Normungsroadmap Circular Economy“ herausgegeben.

Die Roadmap gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Normung in diesem Bereich und beschreibt die Herausforderungen. Darauf basierend wird der Bedarf für zukünftige Normen und Standards identifiziert. 550 Fachleute aus Wirtschaft, Wissenschaft, öffentlicher Hand und Zivilgesellschaft haben diese Roadmap erarbeitet. Sie behandelt die sieben Themenschwerpunkte Digitalisierung, Geschäftsmodelle und Management, Elek-



Standards können helfen, die zirkuläre Ökonomie zu verwirklichen. Foto: PantherMedia/deeangelo

trotechnik und IKT, Batterien, Verpackungen, Kunststoffe, Textilien sowie Bauwerke und Kommunen.

Auch fünf Querschnittsthemen wurden gefunden: Bewertung der Nachhaltigkeit, Verlängerung der Lebensdauer, digitaler Produktpass, Recyclingfähigkeit und weniger Verschwendung. Dies Projekt wurde vom Bundesumweltministerium gefördert.

Die Ergebnisse der Normungsroadmap wurden am 19. Januar 2023 der Öffentlichkeit vorgestellt. Diese Veranstaltung ist online unter

www.youtube.com/watch?v=FT3pAkQhEHY abrufbar, die Roadmap unter dem Link: <https://www.din.de/resource/blob/892606/06b0b608640aadd63e5dae105ca77d8/normungsroadmap-circular-economy-data.pdf>

VDI-Fokusthema Klimaanpassung bei den Berliner Energietagen 2023

Die Hitzewellen der vergangenen Jahre, Trockenheit und Dürre, stellen die Landwirtschaft vor größte Herausforderungen, hinzu kommen Starkregenereignisse und katastrophale Überschwemmungen wie 2021 im Ahrtal – die Auswirkungen der Klimakrise sind unübersehbar und betreffen immer mehr Menschen direkt. Umso wichtiger ist es, dass sich die Gesellschaft an die Folgen des Klimawandels anpasst. Selbst bei Erfüllung des 1,5-Grad-Ziels durch erfolgreiche Klimaschutzmaßnahmen werden wir uns mit einer Reihe von Extremwetterereignissen auseinandersetzen müssen, die ein Umdenken auf politischer und gesellschaftlicher Ebene zwingend erfordern.

Die Klimaanpassung bildet daher neben dem Klimaschutz die zweite wichtige Säule der Klimapolitik. Sie ist eine dringend notwendige Ergänzung, auch wenn der Klimaschutz weiterhin oberste Priorität hat. Die Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sind in vielen Bereichen von hoher Bedeutung: Infolge der steigenden Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen sowie dem Anstieg des Meeresspiegels wird der weltweite Lebens- und Nutzungsraum künftig eingeschränkt sein. Besonders urbane Strukturen sind von den Folgen des Klimawandels betroffen. Schon heute lebt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten. Im Jahr 2050 werden es voraussichtlich mehr als zwei Drittel sein. Mit einem städtischen Bevölkerungsanteil von 74 % ist dieser Trend in Deutschland bereits deutlich spürbar.

Die Themen „Klimaangepasste urbane Strukturen“ sowie „Direkte Auswirkungen des Klimawandels auf den Menschen und wie sie



Die Berliner digitalen Energietage finden dieses Jahr am 3. Mai statt.

Foto: Rolf Schulten

abgemildert werden können“ rücken auf der VDI-Veranstaltung „Anpassung an den Klimawandel“ im Rahmen des digitalen Teils der Berliner Energietage 2023 in den besonderen Fokus. Hier werden die Infrastruktur in Städten, die aufgrund von prognostizierter steigender Intensität und Häufigkeit von Extremwetterereignissen angepasst werden muss, sowie die Entwicklung von beispielsweise Hitzeaktionsplänen, um insbesondere vulnerable Gruppen zu schützen, thematisiert.

Die digitale Veranstaltung im Rahmen der Berliner Energietage findet am 3. Mai 2023 von 16 bis 18 Uhr statt. Die kostenfreie Anmeldung wird ab April möglich sein.

Gründruck VDI 4075 Blatt 1.1

Die VDI-MT 4075 Blatt 1.1 „Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) – Einbindung von Mitarbeitenden bei PIUS-Projekten“ befasst sich mit dem Einbinden und Beteiligen von Mitarbeitenden bei Projekten des betrieblichen Umweltschutzes. Die Richtlinie ergänzt Blatt 1 der Richtlinienreihe VDI 4075 zu den Grundlagen und Anwendungsbereichen des produktionsintegrierten Umweltschutzes (PIUS), in der die generelle Vorgehensweise für einen produktionsintegrierten Umweltschutz (im Gegensatz zu nachgelagerten Umweltschutzmaßnahmen) beschrieben wird. Mitarbeitende spielen an vielen Stellen außerhalb rein technischer Lösungen durch ihre Erfahrungen, ihre Aufmerksamkeit und ihre Verhaltens- und Handlungsweisen eine wichtige Rolle beim Verbrauch von Ressourcen. Es ist daher wichtig, sich systematisch mit deren Einbindung in Optimierungsprojekte zu befassen. Dabei beinhaltet das Einbinden von Mitarbeitenden primär deren aktive Rolle etwa bei Projekten des produktintegrierten Umweltschutzes. Dies umfasst die Erfahrungen und das Know-How der Trägerinnen und Träger, die am Planungsprozess beteiligten Personen, sowie der Ausführenden bei der Umsetzung. Die Information und Motivation der Mitarbeitenden wird ebenso berücksichtigt. Des Weiteren sollte klar sein, welche Formen der Einbindung von Mitarbeitenden bereits gelebt werden und welche Formen seitens des Unternehmens gewünscht sind. Das in dieser Richtlinie vorgestellte Vorgehensmodell zur Einbindung von Mitarbeitenden, um zu einem effizienteren Einsatz von Ressourcen in einem Unternehmen zu kommen, greift unterschiedliche Formen der Einbindung von Mitarbeitenden auf und orientiert sich dabei an der Vorgehensweise der VDI 4075



Foto: PantherMedia/SSilver

Blatt 1. Durch die Einbindung von Mitarbeitenden können PIUS-Projekte deutlich erfolgreicher angegangen und umgesetzt werden. Daneben lässt sich insgesamt die Innovationskraft, die Unternehmenskultur und die Mitarbeitendenmotivation steigern. Die Richtlinie gilt für alle Unternehmen, die ihre Mitarbeitenden dafür gewinnen wollen, sich stärker für einen effizienteren und sparsameren Einsatz von Ressourcen einzusetzen, und die deren Erfahrungen und Know-how bei PIUS-Projekten nutzen möchten. Der Fokus liegt darauf, wie sich dabei die Einbindung von Mitarbeitenden unter den jeweiligen unternehmensspezifischen Ausgangssituationen systematisch organisieren lässt. Die Richtlinie erscheint im April als Entwurf. Bis zum 30. September 2023 können Einsprüche zu der Richtlinie eingereicht werden. Weitere Informationen sowie die Möglichkeit Einsprüche einzureichen befinden sich unter: www.vdi.de/4075-3.3

VDI-Richtlinie 4645 aktualisiert

Wärmepumpen können den Primärenergieverbrauch und die CO₂-Emissionen im Gebäudesektor senken. Sie werden daher bald eine dominierende Technik auf dem Heizungsmarkt werden. Die VDI-Richtlinie 4645 „Heizungsanlagen mit Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern – Planung, Errichtung, Betrieb“ beschreibt alle Aspekte der Planung und des Einbaus von unterschiedlichsten Wärmepumpensystemen im Neubau und im Bestand für Errichtende und Planende. Im April 2023 erscheint die VDI-Richtlinie in einer aktualisierten Fassung. Insbesondere wurden die Bezüge auf gesetzliche Regelungen und die Angaben zu den verwendeten Kältemitteln auf den heutigen Stand gebracht. Darüber hinaus wurde im Zusammenhang mit der immissionsschutzrechtlichen Genehmigung nach der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) das Richtwirkungsmaß eingeführt und beschrieben. Derzeit wird die Richtlinie darüber hinaus gründlich überarbeitet, um sie an den aktuellen technischen Entwicklungsstand anzupassen. Der Entwurf dieser Überarbeitung wird voraussichtlich Anfang 2024 erscheinen. www.vdi.de/4645

Schulungen à la VDI-MT 4645 Blatt 1

Die Bundesregierung will, dass bis 2030 sechs Millionen Wärmepumpen eingebaut werden. Dafür braucht es neben Wärmepumpensystemen qualifizierte Fachkräfte. Hierzu hat der VDI mit der Richtlinie „Heizungsanlagen mit elektrisch angetriebenen Wärmepumpen in Ein- und Mehrfamilienhäusern – Planung, Errichtung, Betrieb – Schulungen, Prüfungen, Qualifizierungsnachweise“ 2018 ein Schulungsmodell entwickelt. Diese VDI-Richtlinie 4645 Blatt 1 bildet die Grundlage für ein erfolgreiches Schulungsmodell. Auf dessen Basis wurden bisher etwa 3 500 Personen geschult und mehr als 1 300 geprüfte Sachkundige in das VDI-Sachkundigenregister beim Bundesverband Wärmepumpe e. V. (BWP) eingetragen. Im April wird die überarbeitete Schulungsrichtlinie VDI-MT 4645 Blatt 1 zur Qualifizierung von Sachkundigen für Wärmepumpensysteme nach VDI 4645 erscheinen („MT“ steht für „Mensch und Technik“). Im Rahmen der Überarbeitung wurde vor allem die Qualifikation der Referierenden so überarbeitet, dass Personen, die ihre Eignung durch Darlegung ihrer mehrjährigen Tätigkeit im Bereich der Wärmepumpentechnik nachweisen können, in Ausnahmen als Referierende zugelassen werden können. Um die hohe Qualität der Schulungen zu sichern und dafür zu sorgen, dass Schulungsteilnehmende deren Inhalte nach Vorgaben der Richtlinie VDI-MT 4645 Blatt 1 vermittelt bekommen, bietet der VDI Schulungspartnerschaften an. Nur Absolvierende dieser Schulungen werden ins offizielle VDI-Register für Sachkundige nach VDI 4645 aufgenommen. In besonderen Fällen ist es möglich die Prüfung für Sachkundige in den jeweiligen Kategorien abzulegen, ohne an einer Schulung gemäß VDI-MT 4645 Blatt 1 teilgenommen zu haben. www.vdi.de/4645

VNU Klima-Club

Das nächste virtuelle Treffen des im Januar 2023 gegründeten VNU Klima-Clubs findet am 19. April 2023 statt. Mit dem Klima-Club möchte der VNU e.V. Mitgliedern und Interessierten die Möglichkeit bieten, sich zu Fragen des betrieblichen Klimaschutzes auszutauschen, Erfahrungen zu teilen und Inspiration für Klimaschutz-Maßnahmen und das Klimamanagement zu erlangen. Den Themenschwerpunkt des nächsten Treffens bilden die CSR-Berichterstattungspflichten und ihre Kernelemente zum Schutz des Klimas. Die neue EU-CSR-Richtlinie sieht vor, dass künftig deutlich mehr Unternehmen (ab 250 Mitarbeitende) Informationen zu Nachhaltigkeitsthemen veröffentlichen müssen.

Über ihre Lieferketten werden die Anforderungen indirekt auch kleinere Unternehmen erreichen. Aktuell werden detaillierte Vorgaben an die Berichterstattung entwickelt. Mit dem European Sustainability Reporting Standard „ESRS E-1 Climate Change“ liegt der Entwurf für einen europäischen Nachhaltigkeitsberichtsstandard für den Bereich Klimaschutz bereits vor. Theresa Steyrer, Arqum GmbH, wird einen Überblick über die geplanten Veröffentlichungsanforderungen im Bereich Klimaschutz geben. Anschließend ist eine gemeinsame Diskussion mit allen Teilnehmenden über die Umsetzung und die Möglichkeiten zur Verzahnung mit bestehenden Ansätzen und Maßnahmen im Unternehmen geplant.



Die Leitung des VNU Klima-Clubs: Stephan Schunkert (o.), KlimAktiv, und Jakob Flechtner (u.), DIHK. Foto: S. Schunkert & J. Flechtner

EMAS Club Regionalgruppe Südost

Am 11. Mai lädt die Regionalgruppe Südost zu einem Treffen in Räumlichkeiten der Firma Schaeffler in Herzogenaurach ein. Das Unternehmen ist seit 1997 EMAS-registriert und unterhält rund 70 Produktionsstandorte in 22 Ländern, die alle nach EMAS validiert sind. Neben einer Vorstellung der Firma und einem Rundgang mit Besichtigung ihrer Produktions- und umweltrelevanten Anlagen, steht ein Beitrag zu aktuellen Entwicklungen aus dem Umwelt- und Energierecht auf dem Sitzungsprogramm. Die Tagesordnung wird wie üblich durch Neuigkeiten aus dem Umweltgutachterausschuss, Kurzmeldungen und dem Erfahrungsaustausch der Anwesenden komplementiert. Details zur Anmeldemöglichkeit finden sie auf der VNU-Homepage.

Neuer Umweltgutachterausschuss

Der jeweils für drei Jahre berufene Umweltgutachterausschuss (UGA) ist im Januar in die 10. Periode gestartet. Zu seinen wesentlichen Aufgaben gehört die Beratung des Bundesumweltministeriums und die Förderung von EMAS. Der VNU ist über die „Bänke“ der Wirtschaft, der Umweltverbände und der Umweltgutachter*innen mit insgesamt 14 Mitgliedern und Stellvertreter*innen in dem Ausschuss vertreten, unter anderem auch im UGA-Vorstand und in mehreren Arbeitsgruppen. Prof. Frank Ebinger von der Technischen Hochschule Nürnberg wurde im Januar 2023 zum neuen UBA-Vorsitzenden gewählt. Er leitet nun bis Dezember 2025 die Geschicke des Ausschusses und ist als Beiratsmitglied des VNU dem Verein sehr verbunden.

Ressort Water Risk

Im Rahmen des Engagements für Nachhaltigkeit und Klimaschutz spielen die Themen Wasserqualität und -verfügbarkeit eine wichtige Rolle. Beim letzten virtuellen Treffen des Ressorts Water Risk am 24. Januar 2023 stellte D. Münstermann, HPC AG, die Bewertungsmethode der Alliance for Water Stewardship (AWS) vor, mit der für Unternehmen eine prüffähige Methode zur Verfügung steht, ihren nachhaltigen Umgang mit Wasserressourcen zu belegen. Im zweiten Beitrag präsentierte Dr. K. Drastig das Thema „Wasserproduktivität in der Landwirtschaft“. Dem Forschungsfeld widmet sich das Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie in seiner Arbeitsgruppe „AgroHyd“. Hierbei geht es beispielsweise um die Anpassung von Anbauphasen an ein verändertes Wasserdargebot in Folge klimatischer Veränderungen.

Das nächste virtuelle Treffen des VNU-Ressorts findet am 15. Mai 2023 statt. Für das darauffolgende Treffen ist bereits eine Präsenzsitzung mit mehreren Beiträgen geplant, da das Ressort im September sein 10-jähriges Bestehen feiern kann. Über die Details zu Termin, Ort und Programm informieren Sie sich bitte auf der VNU-Homepage.

Webinar „EMAS für Einsteiger“

Am 10. Februar 2023 lud der VNU zum kostenlosen Webinar „EMAS für Einsteiger“ ein. Vor 117 Teilnehmenden stellte Mario Lodigiani, Geschäftsführer der Geschäftsstelle des Umweltgutachterausschusses (UGA), die Arbeit des UGA und die Informationen und Angebote der *emas.de*-Seite vor. Lennart Schleicher, Umweltgutachter und VNU-Vorsitzender, erläuterte die Grundlagen zu EMAS sowie den Nutzen und die Herausforderungen, gab Praxistipps für Einsteiger*innen und beantwortete Fragen der Teilnehmenden. Eine der Kernaussagen war: „EMAS bringt einen deutlichen Nutzen für große und kleine Organisationen, sollte aber unbedingt auf die Organisation und ihre Ziele abgestimmt sein!“.



Kläranlagen wie die hier in Weiden, Nordrhein-Westfalen, können sich mit einem neuen Merkblatt der DWA gut auf Stromausfälle vorbereiten.
Foto: DWA/Johannes Lohaus

Vorbereiten auf Stromausfall

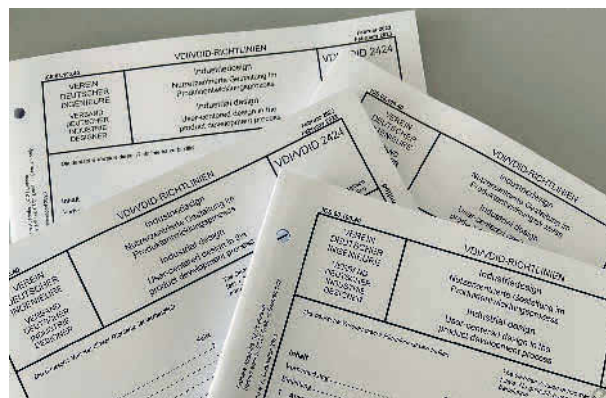
Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) in Hennef hat den Entwurf des Merkblatts „Sicherstellung der Abwasserentsorgung bei Stromausfall“ vorgestellt. Das Merkblatt DWA-M 320 dient Betreibern abwassertechnischer Anlagen als Arbeitshilfe, anhand derer sie sich auf mögliche Stromausfälle vorbereiten können. Die meisten stromversorgten Anlagen der Abwasserablenkung wie Pump-, Schieber-, Regen- und Mischwasserbehandlungsanlagen sowie Messeinrichtungen funktionieren bei Ausfall der Stromversorgung nicht mehr. Auch das Funktionieren von Abwasserbehandlungsanlagen kann betroffen sein. Der vorliegende Merkblattentwurf gibt Verantwortlichen ein Werkzeug an die Hand, mit dem sie die Sicherstellung der Energieversorgung ihres Abwasserentsorgungssystems bewerten und die erforderlichen Maßnahmen zur Erreichung eines angestrebten Sicherheitsniveaus entwickeln können. Er orientiert sich dabei an der Systematik der Leitfäden des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe sowie des Bundesministeriums des Innern und für Heimat. Die DWA-Arbeitsgruppe KEK-7.6 „Sicherstellung der Abwasserentsorgung bei Stromausfall“ hat für den DWA-Hauptausschuss „Kreislaufwirtschaft, Energie und Klärschlamm“ im DWA-Fachausschuss KEK-7 „Energie in der Wasser- und Abfallwirtschaft“ den Entwurf erarbeitet. Das Merkblatt wird bis 30. April öffentlich zur Diskussion gestellt. Hinweise und Anregungen sind erwünscht. Der Entwurf kann bis dahin kostenfrei im DWA-Entwurfportal eingesehen werden:

www.dwa.de/entwurfportal

Industriedesign verbessern

Der VDI veröffentlichte im Februar 2023 mit dem Verband Deutscher Industrie Designer (VDID) die Richtlinie „Industriedesign – Nutzerzentrierte Gestaltung im Produktentwicklungsprozess“, kurz VDI/VDID 2424. Sie zeigt Nutzen und Vorgehensweisen des Industriedesigns bei der Entstehung industrieller Produkte. Ein gelungenes Industriedesign verbessert Produkte und deren Anwendbarkeit. Design und Entwicklung sind dabei eng miteinander verzahnt. In der Richtlinie wird gezeigt, warum und wie Industriedesign rechtzeitig und umfassend als Teil des gesamten Produktentstehungsprozesses wirksam in diesen eingebunden werden kann. Dabei werden folgende Aspekte innovativer marktorientierter Produktgestaltung berücksichtigt: dass der Nutzer im Fokus der Produktgestaltung steht; dass dies Design zur Unternehmens- und Markenstrategie gehört; dass Ziele, Aktivitäten und Methoden dieses Designs integrale Bestandteile des Produktentwicklungsprozesses in Anlehnung an die VDI-Richtlinien „Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung“ (VDI 2221 Blatt 1) und „Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Gestaltung technischer Produktentwicklungsprozesse“ (VDI 2221 Blatt 2) sind. Checklisten und Beispiele zur Umsetzung sind auch aufgeführt. Diese Richtlinie ist an alle in den Produktentstehung beteiligten Personen adressiert – vor allem an Ingenieurinnen und Ingenieure, Industriedesigner*innen und Produktmanager*innen. Die VDI-Abteilung „Produkt- und Prozessgestaltung“ hat die Richtlinie erarbeitet. Sie kostet 216,50 €, VDI-Mitglieder sparen 10 %.

www.vdi.de/2424



Die neue VDI/VDID-Richtlinie 2424. Foto: VDI

Quecksilber genau messen

Der VDI hat eine neue Richtlinie veröffentlicht, die ein manuelles Verfahren zur Bestimmung der Konzentration des gesamten gasförmigen Quecksilbers, des „Total Gaseous Mercury“ (TGM), beschreibt. Es ist die VDI 2267 Blatt 4 zur „Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft – Messen der Konzentration des gesamten gasförmigen Quecksilbers nach manueller Probenahme“. Bei dem Verfahren wird messtechnisch nicht zwischen elementar vorliegendem und anorganisch oder organisch gebundenem Quecksilber unterschieden. Aufgrund der niedrigen TGM-Konzentrationen wird eine anreichernde Probenahme verwendet. Dazu wird die Luft durch Glasröhrchen mit einer Amalgamfalle oder Glasröhrchen mit einem Mischkatalysator als Sorbens gesaugt. Partikelgebundenes Quecksilber wird durch ein vorgeschaltetes Filter zurückgehalten. Die analytische Bestimmung erfolgt durch thermische Desorption des Quecksilbers, Amalgamierung und anschließender Analyse mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) oder Atomfluoreszenzspektrometrie (AFS). Mit dem Verfahren lassen sich Wochen- und Monatsmittelwerte ermitteln. Ergänzend wird im Anhang ein manuelles Verfahren zur Bestimmung des partikelgebundenen Quecksilbers nach Filterprobenahme in der Außenluft beschrieben. Die Richtlinie wendet sich an die öffentliche Hand, Industrie, Wirtschaft, Universitäten. Die VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) hat sie erarbeitet. Sie kostet 116,10 €, für VDI-Mitglieder 10 % weniger.

www.vdi.de/2267

Gesucht: Investoren für den Senegal

Mit bedeutenden Erdgas- und Erdölvorkommen sowie einem großem Potenzial für erneuerbare Energien kann Senegal ein wichtiger Akteur der globalen Energiewende werden und dabei gleichzeitig seine Ziele für die eigene wirtschaftliche Entwicklung durch eine grüne Industrialisierung erreichen. Dafür sucht das Land Investoren, auch aus Deutschland.

NJ Ayuk & Grace Goodrich

Mit einer stabilen Demokratie, einer modernen Infrastruktur, einem anreizbasierten Rechts- und Steuerrahmen sowie kommerziell ausbeutbaren Erdöl- und Erdgasreserven hat sich der Senegal in Westafrika zu einem wichtigen Investitionsziel und einem globalen Explorationszentrum entwickelt. Das Land verfügt über große Erdöl- und Erdgasreserven – schätzungsweise 1,03 Mrd. Barrel (bbl) beziehungsweise 910 Mrd. m³ – sowie über ein großes Potenzial für erneuerbare Energien und reiche Bodenschätze wie Phosphate, Gold, Eisenerz und Schwermetalle.

Erdöl und Erdgas

2016 hat das Land ein Verwaltungs- und Aufsichtsgremium, das die nationale Strategie des Kohlenwasserstoffsektors festlegt, umsetzt und überwacht, ins Leben gerufen. Es heißt „Cos-Petrogaz“. In dem Gremium sind Ministerien des Landes sowie unter anderem Vertreter der Zivilgesellschaft und der Initiative für Transparenz in der Rohstoffwirtschaft (EITI) vertreten. Die Petrosen Holding hingegen ist die nationale Ölgesellschaft, die aktiv an Explorations-, Produktions- und Handelsaktivitäten beteiligt ist.

Am 23. Februar erläuterte Mamadou Fall Kane, stellvertretender Staatssekretär



Auf einer Offshore-Plattform des „Yakaar-Teranga“-Gasfelds vor der Küste Senegals. Foto: Adobe/karlstury

von Cos-Petrogaz, auf einem Empfang in Frankfurt/Main die Partnerschafts- und Investitionsmöglichkeiten für europäische und globale Investoren im Energiesektor und im Bergbau und zeigte den Weg in die Energiezukunft des Landes auf.

Die African Energy Chamber (AEC) aus Johannesburg, Südafrika, hat den Empfang im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Invest in African Energy“ organisiert.

Senegal blickt auf eine lange Explorationsgeschichte von Bodenschätzen zurück. Sie begann 1952. Daraus resultiert eine Fülle an geologischen und seismischen Daten über seine Lagerstätten. Hinzu kommt ein steuerlicher Rahmen, der Investitionen attraktiv macht.

Das westafrikanische Land bereitet derzeit mit drei großen Projekten die ersten Öl- und Gasförderungen vor. Da ist einmal das Gasfeld „Grand Tortue

Ahmeyim“ mit geschätzten Erdgasreserven von 420 Mio. m³. Fachleute des britischen Öl- und Gasunternehmens BP haben es 2015 entdeckt. BP hat dann 2018 beschlossen, das Gasfeld an der Seegrenze zwischen Senegal und Mauretanien zu erschließen. Es verfügt über eine Produktionskapazität von 10 Mio. t/a und wird wohl noch dieses Jahr erstes Gas liefern.

Drei große Projekte

Das zweite Projekt ist das Sangomar-Feld, das Öl und Gas enthält. Es wurde 2014 von dem australischen Gas- und Ölunternehmen FAR vor der Südküste Senegals entdeckt. 2,5 Mrd. bbl förderbare Ölreserven werden vermutet. Nach der Investitionsentscheidung im Januar 2020 soll noch dieses Jahr das erste Öl hier gefördert werden, mit einer Produktionskapazität von 100 000 Barrel pro Tag (bpd).

Das dritte Projekt ist das konventionelle Gasfeld „Yakaar-Teranga“. Es liegt vor der Küste und befindet sich derzeit in der Durchführbarkeitsphase. Die kommerzielle Produktion soll 2024 aufgenommen werden. Es wurde 2016 von BP entdeckt und gehört heute drei Unternehmen: BP, Petrosen und dem US-amerikanischen Unternehmen Kosmos Energy aus Dallas.

Infolge der jüngsten Offshore-Entdeckungen von Erdöl im Senegal und des wachsenden kommerziellen Interesses an seinen Tiefsee- und Ultratiefseegebieten haben sich in der gesamten Wertschöpfungskette von der Ausbeutung bis zur Veredelung eine Fülle von Investitionsmöglichkeiten ergeben.

Bodenschätze abbauen

Neben der Erdöl- und Erdgasförderung verfolgt das Land eine Strategie, Erdgas auch selber zu nutzen. Durch die Umsetzung seines Gas-to-Power-Masterplans von 2014 will Senegal seine Wirtschaft ankurbeln, insbesondere die Unternehmen unterstützen, die derzeit aufgrund hoher Strom- oder Rohstoffkosten nicht wettbewerbsfähig sind.

Um das Ziel, die eigenen Bürgerinnen und Bürger zuverlässig und kostengünstig mit Energie zu versorgen, ist Phase 1 des Yakaar-Teranga-Projekts auf den heimischen Markt für Stromerzeugung ausgerichtet. Infolgedessen konzentrieren sich Investitionsmöglichkeiten hier auf den



Gasspeicheranlage im Senegal. Foto: Adobe/Fly of Swallow

Aufbau einer Gasinfrastruktur, die Umrüstung alter und den Bau neuer Gaskraftwerke.

Dank seines Erdgasreichtums will das Land zu einem Zentrum der Petrochemie in der Region werden, insbesondere für die Herstellung von Düngemitteln aus Erdgas. Die Verfügbarkeit von Erdgas wird es dem Senegal auch ermöglichen, ein Mineral- und Erzvorkommen zu nutzen, von der Gewinnung bis zu den Endprodukten, und gleichzeitig sein Ziel der Kohlenstoffneutralität zu verfolgen.

Senegal verfügt über 500 Mrd. t an Phosphatreserven – das sind 2,6 % der weltweiten Reserven – mit einem geschätzten Wert von 51 Mrd. US-\$. Das Land verfügt über 300 t Gold im Wert von 17 Mrd. US- und 630 Mio. t Eisen im Wert von 76 Mio. t. Schließlich produziert das Land bereits jetzt Senegal 84 000 t Zirkon und verfügt über geschätzte Reserven von 2 Mio. t, dies entspricht 5 % der weltweiten Produktion und 10 % der weltweiten Reserven.

Kohlenstoffarme Wirtschaft

Der Senegal strebt langfristig eine kohlenstoffarme Wirtschaft an. So kann die Sonne viel erneuerbare Energie liefern: mehr als 240 MW/km². Und Wasserkraft kann landesweit mit mehr als 1 400 MW dazu beitragen. Cos-Petrogaz hat daher drei „Quick-Win“-Szenarien in den Bereichen Wasserstoff, Landwirtschaft und Fertigung ermittelt:

Stichwort Wasserstoff: Das Land will ein wichtiges Wasserstoffproduktions- und -exportland werden. Mit den Erdgas-

reserven kann „blauer“ und „grauer“ Wasserstoff und mithilfe erneuerbarer Energien auch „grüner“ Wasserstoff hergestellt werden. Und: Der Markt für grünen Wasserstoff wird 2050 weltweit schätzungsweise 300 Mrd. US-\$ betragen.

Stichwort Ammoniak: Mithilfe des grünen Wasserstoffs will das Land auch „grünes“ Ammoniak für kohlenstoffarme Mineraldünger herstellen. Der Markt für grünes Ammoniak kann 2030 weltweit ein Volumen von 5,4 Mrd. US-\$ erreichen.

Stichwort Stahl: Das Land will auch nachhaltigen Stahl herstellen. Zuerst soll eine Anlage für die Direktreduktion von Eisenerz mit Erdgas errichtet werden, um dann später zur Stahlproduktion über eine Direktreduktion von Eisen aus Wasserstoff überzugehen.

www.cospetrogaz.sn
<https://energychamber.org>



N J Ayuk

Vorstandsvorsitzender
African Energy Chamber

nj.ayuk@energychamber.com

Foto: Djays-Photography



Grace Goodrich

Leitende Redakteurin
Energy, Capital & Power

Grace@energycapitalpower.com

Foto: Djays-Photography



Foto: Haufe.

Praxishandbuch Abfallmanagement

Nadine Speidel, Anne Kathrin Antic: *Praxishandbuch Abfallmanagement*. 256 Seiten, broschiert, 69,99 €. Freiburg: Haufe, 2023. ISBN: 978-3-648-16697-0.

Alles Wissenswerte zum Thema Entsorgung. Verantwortliche für Aufbau, Gestaltung und Leitung von Entsorgungsprozessen erhalten hier einen leicht verständlichen Praxisleitfaden zur Erstellung eines Entsorgungskonzepts. Die Autorinnen zeigen, wie Recyclingstrategien aufgebaut, effiziente und automatisierte Prozesse sichergestellt und hochwertige Abfallqualitäten für eine echte Kreislaufwirtschaft gebildet werden. Zudem erläutern sie, wie Logistikaufwände reduziert und eine kontinuierliche Verbesserung gestellt werden. Das Buch verhilft somit zu einem Bewusstsein und zu Wissen über die Herausforderungen und Chancen im betrieblichen Abfallmanagement. Es unterstützt dabei, Effizienzpotenziale zu heben und die Entsorgung nachhaltig zu gestalten.



Foto: UVK Verlag

Grundwissen Circular Economy

Michael von Hauff: *Grundwissen Circular Economy*. 156 Seiten, Softcover, 24,90 €. Tübingen: UVK Verlag, 2023. ISBN: 978-3-8252-5988-4.

Die Circular Economy geht sehr viel weiter als die Kreislaufwirtschaft. In diesem Buch geht es darum auf der Grundlage der planetaren Grenzen ein regeneratives System anzustreben. In diesem werden der Ressourceneinsatz und die Abfallproduktion, Emissionen und der Energieverbrauch durch Verlangsamung, Verringerung und Schließung von Energie- und Materialkreisläufen minimiert. Das wird durch eine langlebige Konstruktion, Instandhaltung beziehungsweise Reparaturfähigkeit von Produkten und durch eine Förderung der Wiederaufbereitung und des Recycling angestrebt. Neben den theoretischen und konzeptionellen Grundlagen der Circular Economy analysiert der Autor den Stand der Entwicklung in Deutschland und der Europäischen Union. Gleichzeitig beleuchtet er die drei Konzepte der Umsetzung der Circular Economy: Cradle to Cradle, Blue Economy und Performance Economy.



Foto: Thomé-Kozmiensky Verlag

Verwertung von Klärschlamm

Olaf Holm, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Peter Quicker, Stefan Kopp-Assemmacher (Hrsg.): *Verwertung von Klärschlamm 5*. 424 Seiten, Hardcover, 75,00 €. Neuruppin: Thomé-Kozmiensky Verlag, 2022. ISBN: 978-3-944310-66-4.

Ein Schwerpunkt des fünften Buches dieser Reihe liegt in der Gesamtbilanzierung verschiedener thermischer Verfahren. Energetische Aspekte und Fragestellungen zur weitestgehenden Verwertung unterschiedlicher Massenströme sowie deren Schadstoffbelastung werden in den Fokus genommen. Auch Betriebserfahrungen neuer Anlagen und Anlagenbestandteile werden vorgestellt. Schwerpunkte sind die Rahmenbedingungen, die Trocknung, die thermische Verwertung, die Abgasreinigung, die per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS), die Phosphorrückgewinnung und die Düngung, also das Nährstoffrecycling. Das Buch wendet sich an Entscheidungsträger*innen und Fachleute in der Politik, in Behörden, in der Entsorgungswirtschaft, in der Wissenschaft, an Ingenieur- und Beratungsbüros sowie Anlagenbauer und -betreiber.



Foto: Verlag Dr. Kovač

9. Sammelband Nachhaltigkeitsmanagement

Frank Witte (Hrsg.): *9. Sammelband Nachhaltigkeitsmanagement: Ökonomische Aspekte des nachhaltigen Wirtschaftens*. 138 Seiten, Softcover, 74,80 €. Hamburg: Verlag Dr. Kovač, 2023. ISBN: 978-3-339-13290-1.

Der Band entstand auf der Basis des Project-Research-Moduls im Master-Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen an der Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin in den Sommersemestern 2021 und 2022. Die Beiträge konzentrieren sich auf ökonomische Fragestellungen, die im Kontext von Nachhaltigkeit auftreten. Dabei wird Nachhaltigkeit als die gleichzeitige Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte verstanden. Der Band nimmt viele Fragestellungen auf. Es gibt Beiträge zu den ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Folgen der Lithiumgewinnung, der Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen nach Auslaufen der Förderung, zur Nutzung von Drohnen für ein effizientes Agrarmanagement sowie zur Substitution russischen Erdgases mittels Kernenergie zum Zweck der Wasserstoffproduktion.

Jetzt auf E-Paper-Teamlizenz umstellen und profitieren

50%
Rabatt*

Ihre Vorteile:

- * 50% Rabatt auf den regulären Jahresabonnementspreis. Angebot nur gültig für das erste Jahr sowie nur für Neu-Abonnent*innen.
- E-Paper für den Desktop
- Downloadfunktion
- Zugriff auf das Archiv
- Volltext-Suche über das Archiv seit 2015
- E-Paper bereits fünf Tage vor Printausgabe verfügbar

Ihre Zugänge:

- Bis 10 Nutzer*innen = personenbezogene Zugangscodes
- Ab 10 Nutzer*innen = IP-Range

Jetzt E-Paper-Lizenz UmweltMagazin bestellen!

Anzahl Nutzer*innen	Preise in EUR
1	124,70
2–5	249,40
6–10	374,10
11–50	498,80
> 50	623,50

Alle Preise brutto.



Technikwissen für Ingenieur*innen

Leserservice VDI Fachmedien
T +49 6123 9238-202
E vdi-fachmedien@vuservice.de





Immer auf dem neuesten Stand: Mit VDI Fachmedien- Newsletter

Alle
Newsletter
kostenfrei

Sie wollen als Ingenieur oder Ingenieurin immer auf dem neuesten Stand sein, wenn es um zukunftsweisende und praxisnahe Fachinformationen geht. Oder wenn Sie für Ihre berufliche Tätigkeit Expert*innenwissen aus Wissenschaft und Forschung, aus Wirtschaft und Produktion benötigen. Dann nutzen Sie jetzt die kostenfreien VDI Fachmedien-Newsletter mit ihren brandaktuellen Online-Beiträgen der Zeitschriften: Bauingenieur, BWK, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, HLH, Konstruktion, Logistik für Unternehmen, Technische Sicherheit, UmweltMagazin, VDI-Z, wt Werkstattstechnik online.



Technikwissen für Ingenieur*innen - jetzt auswählen und bestellen:

ingenieur.de/news