

Recy & DepoTech 2018

Recycling & Abfallverwertung Abfallwirtschaft & Ressourcenmanagement Deponietechnik & Altlasten

POSTER-Konferenzband zur
14. Recy & DepoTech-Konferenz

7. - 9. November 2018 in Leoben, Österreich

Herausgeber: Roland Pomberger, Josef Adam, Alexia Aldrian, Alexander Curtis, Karl Friedrich, Lukas Kranzinger, Bastian Küppers, Karl E. Lorber, Selina Möllnitz, Simone Neuhold, Thomas Nigl, Kerstin Pfandl, Bettina Rutrecht, Renato Sarc, Theresa Sattler, Therese Schwarz, Philipp Sedlazeck, Sandra Viczek, Daniel Vollprecht, Thomas Weißenbach und Martin Wellacher.

POSTER-Konferenzband zur 14. Recy & DepoTech-Konferenz, Montanuniversität
Leoben, Österreich, 7. - 9. November 2018



Recycling & Abfallverwertung
Abfallwirtschaft & Ressourcenmanagement
Deponietechnik & Altlasten

Herausgeber

Roland Pomberger, Josef Adam, Alexia Aldrian, Alexander Curtis, Karl Friedrich, Lukas Kranzinger, Bastian Küppers, Karl E. Lorber, Selina Möllnitz, Simone Neuhold, Thomas Nigl, Kerstin Pfandl, Bettina Rutrecht, Renato Sarc, Theresa Sattler, Therese Schwarz, Philipp Sedlazeck, Sandra Viczek, Daniel Vollprecht, Thomas Weißenbach und Martin Wellacher.



Erfassung, Satz und Seitenlayout der einzelnen Manuskripte dieses Konferenzbandes lagen in der Verantwortung der jeweiligen Autoren.

Vervielfältigung und Verwendung der Texte und Bilder, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Lehrstuhls für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben gestattet.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden im gesamten Konferenzband alle Namen ohne akademische Grade angegeben.

© Copyright 2018

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW)
Franz-Josef-Straße 18, 8700 Leoben, Österreich
Telefon: +43 (0) 3842 / 402-5101, Telefax: +43 (0) 3842 / 402-5102,
E-Mail: avaw@unileoben.ac.at, Internet: <http://avaw.unileoben.ac.at/>



Gedruckt in Österreich

DGS - Druck u. Graphikservice GmbH
Hardeggasse 69, 1220 Wien, Österreich
Oktober 2018



ISBN: 978-3-200-05858-3

Inhalt

Vorwort Bundesministerin E. Köstinger.....	5
Vorwort Landeshauptmann H. Schützenhöfer	6
Vorwort Landesrat J. Seitingner.....	7
Vorwort Landesrätin B. Eibinger-Miedl.....	8
Vorwort Bürgermeister K. Wallner	9
Vorwort I. Winter	10
Vorwort Rektor W. Eichlseder.....	11
Vorwort ISWA-Präsidentin M. Ableidinger	12
Vorwort VOEB-Präsident H. Roth	13
Vorwort ÖWAV-Geschäftsführer M. Assmann	14
Vorwort Green Tech Cluster-Geschäftsführer B. Puttinger.....	15
Editorial R. Pomberger.....	16
Ehrenschutz.....	19
Ehrungen	20
Organisation, Redaktion und Kooperationspartner	21
Wissenschaftliches Komitee	22
Förderungen & Firmenpartnerschaften.....	24
Inhaltsverzeichnis	27
Posterbeiträge	41
English Abstracts	299
Autorenverzeichnis	349
Sachregister.....	353



Vorwort

Bundesministerin Elisabeth Köstinger

Bundesministerium für Nachhaltigkeit & Tourismus

Die Recy & DepoTech entwickelte sich in den letzten Jahrzehnten zum wichtigsten abfallwirtschaftlichen Thinktank Österreichs, der auf eindrucksvolle Weise die Stakeholder aus allen Bereichen der Abfallwirtschaft und darüber hinaus aus den verschiedensten Umweltdisziplinen anspricht. Das aktuelle Programm der Recy & DepoTech spiegelt die enormen Herausforderungen von morgen wieder und zeigt die Erkenntnisse aus praxisnaher Forschung sowie die aktuellsten Entwicklungen am Markt. Die Vorreiterrolle Österreichs im Bereich der Umwelttechnologie wird wesentlich durch starke Impulsgeber, wie die bereits zum 14. Mal stattfindende Abfallwirtschafts- und Recyclingkonferenz geprägt. Mit der gezielten Vernetzung von bestehenden Strukturen in der Abfallwirtschaft und zündenden Projekten aus der Forschung gelingt den Veranstaltern ein weiterer Schritt hin zum finalen Paradigmenwechsel, zum Ausbau einer modernen Kreislaufwirtschaft.

In manchen Bereichen besteht allerdings Handlungsbedarf, damit Nachhaltigkeit und zukunftsorientierte Klimapolitik auch tatsächlich aktiv verfolgt werden können. Der Verlust wertvoller Ackerböden, steigender Verkehr und Energieverbrauch einhergehend mit negativen Auswirkungen auf Klima und letztendlich auf die Lebensqualität erfordern eine klare Gegenstrategie - im Recycling von Brachflächen liegt die Zukunft.

Die positive Entwicklung der österreichischen Abfall- und Recyclingwirtschaft hat eindrucksvoll bewiesen, dass auch hohe Anforderungen gemeistert werden können und auch international ansehnliche Erfolge erreichbar sind. Der auf Hochtouren laufende Innovationsmotor Umwelttechnik hat zahlreiche neue Unternehmen mit hochqualifizierten Arbeitsplätzen und zusätzliche „Green Jobs“ geschaffen, auf die wir zurecht stolz sein können, „Made in Austria“ ist nicht zuletzt durch die Abfallwirtschaft zu einem Aushängeschild geworden. Unsere Kompetenz, der Innovationsgrad unserer Betriebe und das Know-how der Mitarbeiter/innen in diesem Bereich werden international anerkannt und geschätzt.

Ich wünsche der Recy & DepoTech 2018 einen regen Zuspruch aus Wissenschaft und Praxis mit einem lebhaften Meinungsaustausch über alle Interessenslagen hinweg und eine stetige Evolution hin zu DER richtungsweisenden Veranstaltung im Bereich Kreislaufwirtschaft auf europäischer Bühne.

Mit einem nachhaltigen Glück Auf!

Elisabeth Köstinger
Bundesministerin für Nachhaltigkeit und Tourismus



Vorwort

Landeshauptmann Hermann Schützenhöfer

Steiermärkische Landesregierung

Sehr geehrte Konferenzteilnehmerinnen und -teilnehmer!

Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit sind zentrale Themen für die Zukunft. Diesem umfassenden Bereich mit den Schwerpunktthemen Recycling, Abfallverwertung und -wirtschaft, sowie dem Ressourcenmanagement und der Deponietechnik, widmet sich auch die Abfallwirtschaftskonferenz Recy & DepoTech, die in diesem Jahr bereits zum 14. Mal in Leoben stattfindet. Diese Konferenz ist nicht nur die größte abfallwissenschaftliche Konferenz im deutschsprachigen Raum, sondern sie hat sich auch international einen hervorragenden Ruf erarbeitet. Damit unterstreicht diese Konferenz auch die steirische Vorreiterrolle als Innovationsland Nummer 1, denn mit einer Forschungs- und Entwicklungsquote von 5,14 % ist die Steiermark nicht nur das innovativste Bundesland Österreichs, sondern auch an der Spitze der europäischen Regionen. Einen wichtigen Beitrag dazu leisten die Montanuniversität Leoben und die mit ihr partnerschaftlich verbundenen Unternehmen. Investitionen in Forschung und Entwicklung sind die Schlüssel zu einer positiven Entwicklung.

Mit den über 120 Vorträgen wird die Recy & DepoTech 2018 wieder innovative Lösungen auf dem Gebiet der Abfallwirtschaft vorstellen und als Plattform von Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft fungieren. Die Verknüpfung von Innovation und Tradition wird in der Steiermark bereits seit Erzherzog Johann, der auch als Gründer der Montanuniversität gilt, aktiv gelebt und in seinem Geist fortgeschrieben. Als Landeshauptmann der Steiermark heiße ich Sie alle herzlich willkommen und ich lade Sie ein, auch abseits dieser Konferenz, unser Land und die Region rund um den steirischen Erzberg zu erleben.

Mein Dank gilt all jenen, die zum guten Gelingen dieser Veranstaltung beitragen: dem Organisationskomitee mit Roland Pomberger an der Spitze, den Referentinnen und Referenten, aber auch den Kooperationspartnern, ohne deren Beteiligung eine erfolgreiche Konferenz wie diese nicht möglich wäre. Abschließend wünsche ich Ihnen allen eine produktive und inhaltlich ergiebige Konferenz sowie schöne Stunden im „Grünen Herz Österreichs“.

Ein steirisches „Glück auf!“

Hermann Schützenhöfer
Landeshauptmann der Steiermark



Vorwort

Landesrat Ökonomierat Johann Seitinger

Steiermärkische Landesregierung

Die Abfallwirtschaft - ein Fachbereich, der vor allem in der Steiermark auf eine lange und erfolgreiche Geschichte zurückblicken kann - befindet sich in einer deutlich wahrnehmbaren Aufbruchsstimmung: Der Wandel hin zur Kreislaufwirtschaft geht Hand in Hand mit der Nutzung bisher ungeahnter technologischer Möglichkeiten; dies vor allem im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung.

Ein effizienter Umgang mit unseren natürlichen Ressourcen ist notwendiger denn je. Zum einen ist die ausreichende Versorgung mit „kritischen“ Rohstoffen aufgrund krisenhafter Ereignisse in deren Herkunftsländern keineswegs sichergestellt. Zum anderen werden wir beinahe täglich mit den katastrophalen globalen Umweltauswirkungen der Wegwerfgesellschaft in weiten Teilen der Welt konfrontiert. Die Notwendigkeit nachhaltiger Ressourcenbewirtschaftung und die damit einhergehenden Chancen für unsere Wirtschaft wurden in der Steiermark früh erkannt. Im steirischen Green Tech Cluster - bereits 2005 gegründet und mittlerweile zum Hotspot für innovative Energie- und Umwelttechnik zum weltbesten Umwelttechnikcluster gekürt - entwickeln mehr als 200 Partner aus Wirtschaft und Forschung mit insgesamt 21.700 Beschäftigten in der Energie- und Umwelttechnik Innovationen in den Bereichen „Green Energy“, „Green Building“ und „Green Resources“. Vor allem diese F&E-Projekte haben dazu beigetragen, dass die Unternehmen im Bereich Umwelttechnik deutlich schneller wachsen als jene in anderen Märkten. In den letzten zehn Jahren konnte der Umsatz in dieser Branche verdreifacht und die Arbeitsplatzzahl verdoppelt werden. Auch hinsichtlich Umweltschutz kann sich die Steiermark mehr als sehen lassen: Weltweit wurden durch steirische Umwelttechnologien im Jahr 2017 über 550 Megatonnen CO₂ eingespart.

Die Montanuniversität leistet mit der Recy & DepoTech eine hervorragende und unverzichtbare Grundlage für den internationalen Austausch zwischen führenden Wissenschaftlern, Technologieunternehmen, Anwendern aber auch der Politik und Verwaltung. Nur im Rahmen dieser lebendigen Community können gemeinsam die erforderlichen Impulse gesetzt werden, um die Entwicklung zukunftsfähiger Technologien weiter voran zu treiben. Nutzen wir den Schwung aller Beteiligten, um den Wandel zu einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft erfolgreich weiter zu führen.

Johann Seitinger

Landesrat für Land- und Forstwirtschaft, Wohnbau, Wasser- und Ressourcenmanagement



© Fotografin Teresa Rothwangl

Vorwort

Landesrätin Barbara Eibinger-Miedl
Steiermärkische Landesregierung

Sehr geehrte Damen und Herren!

Herzlich willkommen bei der Recy & DepoTech, die sich in den vergangenen Jahren zur größten Abfallwirtschafts- und Recyclingkonferenz in Österreich entwickelt hat und auch international bereits große Bekanntheit und Aufmerksamkeit erlangen konnte. Bei der bereits 14. Auflage werden heuer wieder namhafte Expertinnen und Experten aus dem In- und Ausland über aktuelle Trends in der Abfallwirtschaft diskutieren. Die Montanuniversität Leoben mit ihrer Kompetenz in den Bereichen Abfallverwertung und Rohstoffe ist an den drei Konferenztagen der würdige Rahmen dafür.

Als Landesrätin für Wirtschaft, Wissenschaft und Forschung freue ich mich, dass die Recy & DepoTech 2018 wieder in der Steiermark stattfindet. Unser Bundesland ist mit einer Forschungs- und Entwicklungsquote von 5,14 Prozent das Forschungsland Nummer eins in Österreich und wir zählen damit auch zu den innovativsten Regionen in Europa. Gerade auch im Bereich der Abfallwirtschaft sind steirische Unternehmen und Forschungseinrichtungen international führend.

Die Recy & DepoTech bietet den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Möglichkeit, ins Gespräch zu kommen, Erfahrungen auszutauschen, damit neue Aspekte kennenzulernen und wechselseitig voneinander zu profitieren.

Ich wünsche allen Besucherinnen und Besuchern interessante Gespräche und spannende Einblicke. Unseren Gästen aus dem In- und Ausland wünsche ich einen schönen Aufenthalt in der Steiermark.

Barbara Eibinger-Miedl
Landesrätin für Wirtschaft, Tourismus, Europa, Wissenschaft und Forschung



© Freisinger

Vorwort

Bürgermeister Kurt Wallner

Stadt Leoben

Sehr geehrte Damen und Herren!

Abfälle sind heute wertvolle Rohstoffe, wenn man weiß, wie man sie effizient und richtig sammelt, aufbereitet und wiederverwertet. Diese Fragestellungen beschäftigen nun Wissenschaft und Industrie seit Jahren intensiv. Es gibt auch einen regelmäßigen Austausch über Forschungsergebnisse. Die 14. Auflage der Recy & DepoTech befasst sich genau mit den Themenschwerpunkten Abfallwirtschaft, Ressourcenmanagement, Recycling und Deponietechnik.

Diese größte Fachkonferenz in Österreich mit mehr als 500 Konferenzteilnehmern ist weit über die österreichischen Grenzen hinweg bekannt. Hier treffen Vertreter aus Forschung und Wissenschaft, Behörden sowie der kommunalen wie auch der privaten Entsorgungswirtschaft zusammen, um sich auszutauschen. Es freut mich besonders, dass Leoben mit der Montanuniversität Austragungsort dieser Veranstaltung ist. Die hohe Teilnehmeranzahl an internationalen Fachexperten, Branchenvertretern aber auch jungen Nachwuchskräften der Abfallwirtschaft zeigt die Vorreiterrolle der Montanuniversität zu den Themen Umweltschutz, Abfallverwertungstechnik und Recycling auf. Hier nimmt der Lehrstuhl von Professor Roland Pomberger mit seinen Projekten eine wichtige Stellung in der europäischen Forschungslandschaft ein.

Mit der Umsetzung der Abfallhierarchie kommt der Abfallvermeidung, der Wiederverwendung und der stofflichen Verwertung noch vor der Verbrennung von Abfällen eine bedeutende Rolle zu. Damit verbunden sind auch eine Vielzahl an Forschungsprojekten am Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft an der Montanuniversität. Im Fokus der heurigen Recy & DepoTech steht die Umsetzung der Ziele der europäischen Abfallpolitik und die damit einhergehenden Recyclingquoten, die auf allen Ebenen von der Sammlung über die Aufbereitung bis hin zur Verwertung die österreichische Abfallwirtschaft vor Herausforderungen stellen wird. Dies bringt natürlich auch Auswirkungen für Städte und Gemeinden, insbesondere wenn es um den Bereich der kommunalen Sammlung geht, mit sich.

Die Stadt Leoben ist stolz auf die vielfältige Forschungsleistung der Montanuniversität und das ungebrochene Engagement der Wissenschaftler. Leoben, das grüne Wissenszentrum im Herzen der Steiermark, fungiert von Beginn an als Austragungsort für diese international renommierte Konferenz. Tradition und Innovation werden in einer Stadt des Lebens und der Arbeit, der Bildung und Forschung hoch gehalten.

In diesem Sinne wünsche ich der Recy & DepoTech 2018 einen erfolgreichen Verlauf, spannende Diskussionen und einen befruchtenden Ideenaustausch.

Ein leobenerisches Glück auf!

Kurt Wallner



Vorwort

Mag. Dr. Ingrid Winter

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung,
Abteilung 14, Referat Abfallwirtschaft und
Nachhaltigkeit**

Die Recy & DepoTech bietet seit Anbeginn an eine einzigartige Zusammenschau der aktuellen Entwicklungen im weiten Themenfeld Abfallwirtschaft. Dass sie damit keine rein wissenschaftliche Konferenz für das universitäre Fachpublikum ist, sondern darüber hinaus mit einer Vielfalt an praktischen, strategischen, rechtlichen - und natürlich wissenschaftlichen - Aspekten allen Akteuren der Abfallwirtschaft viel zu bieten hat, ist einer der Erfolgsfaktoren dieser Konferenz. Sie wird von der Abt. 14, Referat Abfallwirtschaft und Nachhaltigkeit, des Landes Steiermark seit Jahren aber nicht nur wegen ihrer Bedeutung für die Steiermark als Standort und Ursprung herausragender wissenschaftlicher Erkenntnisse und angewandter Technologien unterstützt, sondern auch wegen ihres strategischen Wertes im Kontext von öffentlicher Verwaltung.

Die Herausforderung der nächsten Jahre ist die Umsetzung des EU-Kreislaufwirtschaftspaketes. Ziel dieses Paketes ist, „den Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten und möglichst wenig Abfall zu erzeugen.“ Die konkreten verbindlichen Vorgaben wurden auf europäischer Ebene formuliert, eine Steigerung der Ressourceneffizienz im geforderten Ausmaß kann aber nur „von unten“, d.h. durch konsequentes Handeln jeder/jedes Einzelnen, erfolgen.

Aufgabe der öffentlichen Verwaltung ist hier das Anbieten geeigneter Strategien zur Umsetzung im eigenen Wirkungsbereich unter Einbindung aller Stakeholder, die Sensibilisierung der Öffentlichkeit, die Umsetzung und Überwachung gesetzlicher Vorgaben, die Schaffung bzw. Weiterführung von Anreizsystemen und das Vorgehen mit gutem Beispiel, etwa bei der öffentlichen Auftragsvergabe.

Die Recy & DepoTech bietet mit ihrer Bandbreite an Themen, Vortragenden und Teilnehmenden den idealen Rahmen, um aus dem Diskurs über die aktuellen Anforderungen und Entwicklungen heraus zum „Kristallisationskeim“ für eine umfassende Kreislaufwirtschaft in der Steiermark zu werden.

Mag. Dr. Ingrid Winter



Vorwort

Univ.-Prof. DI Dr. Dr.h.c. Wilfried Eichlseder
Montanuniversität Leoben

Die Montanuniversität hat ihre Forschungsschwerpunkte und die Studienrichtungen entlang des Wertschöpfungskreislaufes von der Gewinnung der Primärrohstoffe aus der Erde, deren Weiterverarbeitung bis hin zum Produkt und letztendlich zum Recycling des Produktes am Ende des Lebenszykluses und damit zur Gewinnung des Sekundärrohstoffes, ausgerichtet. Forschung und Technologieentwicklung im Sinne von Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit sind gelebte Ziele und tragen wesentlich zur Circular Economy bei. An der Montanuniversität wurde bereits Anfang der 90er-Jahre des letzten Jahrhunderts das Studium Industrieller Umweltschutz und in den letzten Jahren das Studium Recyclingtechnik eingeführt, zwei Studienrichtungen, die sich besonders intensiv mit den Themen der Nachhaltigkeit beschäftigen. Zahlreiche Forschungsprojekte an der Montanuniversität erarbeiten Grundlagen auf dem Gebiet der Circular Economy und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit unserer Volkswirtschaft und deren Fähigkeit zur Innovation von Produkten und Produktionsprozessen.

Eine wichtige Veranstaltung ist die seit nahezu 3 Jahrzehnten abgehaltene Recy & DepoTech 2018, die Spezialisten aus Wissenschaft und Wirtschaft zum Austausch von Erkenntnissen zusammenbringt. Sie hat sich in den vergangenen Jahren zur größten Abfallwirtschaftskonferenz im deutschsprachigen Raum entwickelt und liefert einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Themenstellungen in Bereichen der Nachhaltigkeit.

Herrn Prof. Roland Pomberger und seinem Team möchte ich für den großen Einsatz danken und den Teilnehmern interessante Fachvorträge, erbauliche Diskussionen und einen angenehmen Aufenthalt in Leoben wünschen.

Glück auf!

Univ.-Prof. DI Dr. Dr.h.c. Wilfried Eichlseder
Rektor der Montanuniversität Leoben



Vorwort
Präsidentin Dr. Martina Ableidinger
ISWA Austria

Sehr geehrte Damen und Herren!

Die Recy & DepoTech führt auch in diesem Jahr Fachleute aus den verschiedensten Bereichen der Abfallwirtschaft zum aktiven Wissensaustausch zusammen. Sie liefert damit einen wichtigen Beitrag zur stetigen Weiterentwicklung und kontinuierlichen Verbesserung.

Erfahrungsaustausch und Vernetzung sind auch zentrale Anliegen der ISWA (International Solid Waste Association), die als weltgrößte Vereinigung von Expertinnen und Experten der Abfallwirtschaft gilt. Daher freuen wir uns über die schon traditionelle Kooperation zwischen der Recy & DepoTech und ISWA Austria.

Wenn uns heute in Mitteleuropa im Bereich der Abfallwirtschaft vieles allzu selbstverständlich erscheint, so liegt das auch daran, dass viele Themen hier früh angegangen und gelöst wurden. Global betrachtet sind die Abwendung von sanitären Übelständen und der Betrieb von geordneten Deponie noch lange nicht überall erreicht, die Grundlagen für Ressourcenschonung nicht getroffen. Und auch wenn heute in Österreich viele best-practice-Beispiele zur gelebten Praxis gehören (z.B. qualitativ hochwertige Bioabfallwirtschaft, Ressourcenschonung durch Recycling und Energy Recovery in modernsten MVAs) muss und wird sich auch hier die Abfallwirtschaft weiter entwickeln.

Die Herausforderungen der Zukunft sind zum Teil absehbar, manche aber auch vermutlich noch nicht einmal zu erahnen. Für die Lösungen werden auch künftig engagierte Menschen und kluge Köpfe benötigt. Die ISWA Austria unterstützt die Nachwuchsarbeit daher auch in diesem Jahr durch die Vergabe des ISWA Austria Stipendiums im Rahmen der Recy & DepoTech 2018.

Ich wünsche allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Veranstaltung interessante Tage in der schönen Steiermark, gute Gespräche und zukunftsfähige Erkenntnisse.

Mit freundlichen Grüßen

A handwritten signature in black ink, reading 'Martina Ableidinger'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.

Martina Ableidinger
Präsidentin der ISWA Austria



Vorwort

Präsident Kommerzialrat Hans Roth

VOEB - Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe

Emotional und Digital

Wir leben in einer Zeit des Wandels. Europaweit stehen wir vor enormen wirtschaftlichen Herausforderungen, die gleichzeitig auch neue Chancen für uns bringen. Der Megatrend „Digitalisierung“ schreitet rascher voran als jemals zuvor. Alles wird schneller, virtueller, flüchtiger. Wir müssen uns anpassen - an die digitale Geschwindigkeit und die neuen Möglichkeiten.

Im EU-Kreislaufpaket, das die Abfall- und Ressourcenwirtschaft und die EU massiv verändern wird, sehe ich eine große Chance für die österreichische Entsorgungswirtschaft und Umweltindustrie. Die Umsetzung des Pakets wird geschätzt 400 Millionen Tonnen CO₂-Einsparung und damit einen enormen ökologischen Nutzen bringen. Österreich kann hier für andere EU-Staaten eine Vorbildwirkung haben.

Ein Riesenpotential liegt in der richtigen Trennung von 600.000 Tonnen an wiederverwertbaren Stoffen, die in Österreich jährlich im Restmüll landen, um sie dann der Kreislaufwirtschaft zuzuführen.

Auch auf die Kunststoffindustrie kommen mit dem Importstopp von Kunststoffabfällen nach China und mit der Möglichkeit, durch recyclinggerechtes Design Kunststoff-Abfall insbesondere der stofflichen und der thermischen Verwertung zuzuführen, große Herausforderungen zu.

Die Verantwortung unserer Branche geht weit über das Sammeln und Verwerten von Abfall hinaus. Wir schaffen einen ökologischen Mehrwert. Das müssen wir in der Öffentlichkeit immer wieder betonen und das Bewusstsein in der Bevölkerung für die ökologische, ökonomische und gesellschaftspolitische Bedeutung unserer Branche heben. Trotz Digitalisierung und High-Tech-Lösungen brauchen wir weiterhin den persönlichen Kontakt zu den Bürgern und auch zu den Mitarbeitern, um jeden Einzelnen zu erreichen und für wichtige Umweltthemen zu sensibilisieren.

Dabei spielt auch die universitäre Lehre eine wichtige Rolle!

Nur so können wir die Herausforderungen, die Veränderungen und den Wandel aktiv, klug und erfolgreich managen.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hans Roth'.

Hans Roth

Präsident des Verbandes Österreichischer Entsorgungsbetriebe



Vorwort

Geschäftsführer DI Manfred Assmann

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV)

Die Weiterentwicklung der europäischen Abfallwirtschaft hat mit der Kundmachung konkreter Richtlinienänderungen - als Teil des EU-Kreislaufwirtschaftspakets - Mitte Juni 2018 nun endgültig begonnen. Hinzu kommen die jüngsten Strategien der EU-Kommission, welche im Rahmen des EU-Aktionsplans nun ebenfalls umgesetzt werden sollen. Konkret geht es dabei um zwei wesentliche Aspekte, einerseits die EU-Kunststoffstrategie und andererseits Vorgaben zum Ökodesign und zur erweiterten Produzentenverantwortung. Neben konkreten Abfallvermeidungsmaßnahmen geht es dabei vor allem auch um das Schaffen von Möglichkeiten, Kreisläufe zu schließen und den Einsatz von Sekundärrohstoffen in der chemischen Industrie und Verpackungsindustrie zu etablieren. Dies erfordert nicht nur weitere Optimierung in der Vermeidung von Einwegprodukten und in der Rückführung von Kunststoffverpackungen, sondern vor allem auch ein Umdenken der Verpackungsindustrie im Einklang mit einer hoch entwickelten Recyclingwirtschaft. Dabei muss die gesamte Kette der Abfallhierarchie beleuchtet und die Prozesse der Abfallvermeidung und des Recyclings bis hin zu einer zweckmäßigen energetischen Verwertung dieser Abfallfraktionen müssen abgewogen und neu ausgerichtet werden.

Der ÖWAV hat bereits im Zuge der Erstellung des Bundes-Abfallwirtschaftsplans (BAWP) 2017 des BMNT erkannt, dass eine frühzeitige strategische Ausrichtung der Branche von hoher Bedeutung ist. Nach dem fachlichen Input zum BAWP 2017 arbeitete der ÖWAV in den letzten 1 ½ Jahren an einem Positionspapier zu den Strategien der österreichischen Recycling- und Abfallwirtschaft, in welchem die wichtigsten Entwicklungsschwerpunkte und Handlungsfelder angesprochen werden und zum Teil auch konkrete Vorschläge für eine strategische Ausrichtung erbracht werden. Zudem hat sich im ÖWAV in den letzten zwei Jahren die Gruppe der Jungen Abfallwirtschaft etabliert. Dieser Kreis von knapp 150 jungen Fachkräften der österreichischen Abfall- und Recyclingwirtschaft trifft sich regelmäßig, um über aktuelle Entwicklungen in der Abfallwirtschaft zu informieren und zu diskutieren. Diese Treffen bieten einen idealen Rahmen, um Persönlichkeiten der österreichischen Abfallwirtschaft kennenzulernen, aber auch dafür, die Branchen untereinander zu vernetzen. Die Plattform des ÖWAV wird auch genutzt, um den Fantasien und Vorstellungen der jungen Leute freien Lauf zu lassen. Die ÖWAV-Publikation „Abfallwirtschaft 2050“ zeigt, wohin die Reise gehen könnte ...

Ich wünsche der Recy & DepoTech 2018 einen erfolgreichen Verlauf!

GF DI Manfred Assmann



Vorwort

Geschäftsführer Bernhard Puttinger
Green Tech Cluster Styria GmbH

Die Recy & DepoTech 2018 beleuchtet die Zukunft der Abfallwirtschaft und des Recyclings. Dazu sind EU-weit verpflichtende stoffliche Quoten eine erste absehbare Etappe. In weiterer Folge braucht es immer tiefer gehende stoffliche Sortierung ebenso wie maschinelle Objekterkennung.

Parallel dazu beschleunigt sich die digitale Transformation in der bisher stark analogen Abfallwirtschaft überproportional stark im Vergleich zu anderen Branchen. Damit ändern sich die künftige Nutzereinbindung, die Basis vieler Geschäftsmodelle und die datenmäßige Integration der einzelnen Wertschöpfungsstufen.

Die Montanuniversität Leoben ist das Gravitationsfeld im Bereich Abfallwirtschaft und Recycling, um das herum die global sichtbare Dichte an wegweisenden Forschungspartnern, führenden Technologieunternehmen und spezialisierten Dienstleistern neue Lösungen entwickeln und umsetzen. Dabei wachsen diese im Schnitt um 50 % schneller als die globalen Märkte für Umwelttechnik.

Die Keimzelle für neue Ideen war und ist dabei der Austausch bei der Recy & DepoTech, welcher durch die engagierte Arbeit des ganzen Teams rund um Roland Pomberger ermöglicht wird. Nutzen wir diese Chance, um so den nächsten Generationen eine lebenswerte Umwelt und zukunftsweisende Jobs zu bieten.

Bernhard Puttinger





Editorial

Professor Roland Pomberger

Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und
Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben

Ein herzliches Leobener Glückauf zur Recy & DepoTech 2018. Zum fünfzehnten Mal trifft sich die abfallwirtschaftliche Community der DACH Länder im November 2018 in Leoben. Die Recy & DepoTech ist einer der Fixpunkte im Reigen der wissenschaftlichen Konferenzen zu den Themen der Abfallwirtschaft.

2016 haben wir unsere „Marke“ angepasst und die DepoTech zur Recy & DepoTech weiterentwickelt. Wir wollten durch diese kleine Anpassung auf die neue Ausrichtung in der Abfallwirtschaft reagieren und dokumentieren, dass wir uns von der Deponie bis zum Recycling umfassend mit abfallwirtschaftlichen Themen beschäftigen.

Wir befinden uns in der Zeit neuer Dynamik in der Umwelttechnik und Abfallwirtschaft. Neue Regelungen führen zu neuen Entwicklungen und geben Motivation zur Veränderung. Das beschlossene Kreislaufwirtschaftspaket der EU und der Aktionsplan sind die Leitplanken für die europäische Abfallwirtschaft bis 2035. „Plastik“ und unser Umgang mit Kunststoffabfällen beschäftigt die europäische Öffentlichkeit. Neue Geschäftsmodelle der Entsorgungslogistik entstehen und könnten die „klassische“ Abfallsammlung in Frage stellen. „Extended Producer Responsibility“ zwingt den Handel und die Industrie sich mit dem End-of-Life ihrer Produkte neu zu beschäftigen. Neue Recyclingtechnologien bieten höherwertigere Verwertung und drängen auf den Markt.

Die neuen Entwicklungen mischen die Karten neu und bieten den Innovativen neue Chancen. Neue Produkte können aber auch zu massiven Problemen führen. Der verstärkte Einsatz von neuen Hochenergiebatterien verändert unseren Siedlungsabfall und führt zu neuen Risiken. Diese Veränderung der Zusammensetzung führt aktuell zu vielen Brandereignissen in Abfallbehandlungsanlagen. Damit werden auch die Themen Risikomanagement, Brandschutz und Producer Responsibility zu wichtigen Themen dieser Recy & DepoTech.

Die Recy & DepoTech wird gestaltet von den aktiven KonferenzteilnehmerInnen. Der Erfolg wird getragen von ProgrammgestalterInnen, ReferentInnen, Chairperson, DiskutantInnen und TeilnehmerInnen. Die wichtigsten Aktivitäten der Recy & DepoTech sind Vortragen, Zuhören, Diskutieren, Austauschen und Vernetzen. Die Recy & DepoTech bietet dafür die Plattform und steht auch dieses Mal wieder für wertschätzenden Austausch auf hohem fachlichem Niveau.

Ich wünsche Ihnen und uns eine erfolgreiche Recy & DepoTech 2018.
Mit herzlichem Glückauf!

Roland Pomberger

Leiter der Recy & DepoTech 2018 und des Lehrstuhls für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW) der Montanuniversität Leoben

Unser Element: Beton & Zement!



Exzellente Zemente sind das Fundament des modernen Tiefbaus. Wir von w&p Zement investieren in optimale Technologien und beste Qualitätssicherung. Durch die hohe Qualität der Zemente und Bindemittel sind die Produkte von w&p die beste Grundlage für solide Fundamente, dauerhafte Bauwerke und leistungsfähige Verkehrswege.

www.zement.wup.at



w&p
ZEMENT
EIN UNTERNEHMEN DER WIETERSDORFER GRUPPE



Intelligentes Bauen verbindet Menschen.

Bauen mit Herz und Verstand. Jedes Projekt ist anders und muss individuell geplant und ausgeführt werden. Mit der Schadstoffsanierung des ehemaligen Industriestandorts Penzingerstraße beweist die PORR Umwelttechnik erneut – Know-how, Erfahrung und Teamstärke machen sich immer bezahlt. porr-group.com

powered by

PORR

Ehrenschutz

Elisabeth KÖSTINGER
Bundesministerin für Nachhaltigkeit und Tourismus

Hermann SCHÜTZENHÖFER
Landeshauptmann der Steiermark

Johann SEITINGER
Landesrat für Land- und Forstwirtschaft, Wohnbau, Wasser- und Ressourcen-
management

Barbara EIBINGER-MIEDL
Landesrätin für Wirtschaft, Tourismus, Europa, Wissenschaft und Forschung

Kurt WALLNER
Bürgermeister der Stadt Leoben

Christian HOLZER
Sektionschef des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus

Ingrid WINTER
Amt der Steiermärkischen Landesregierung

Wilfried EICHLSEDER
Rektor der Montanuniversität Leoben

Martina ABLEIDINGER
Präsidentin der ISWA Austria

Hans ROTH
Präsident des Verbandes Österreichischer Entsorgungsbetriebe

Manfred ASSMANN
Geschäftsführer des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes

Bernhard PUTTINGER
Geschäftsführer der Green Tech Cluster Styria GmbH

Ehrungen

Aufgrund ihrer Verdienste um die Umwelttechnik / Abfallwirtschaft in Wissenschaft und Praxis und ihrer langjährigen aktiven Mitarbeit an der Recy & DepoTech ehren und danken wir:

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, geboren 1973, hat an der Technischen Universität Berlin Technischen Umweltschutz studiert und war dort im Anschluss wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Abfallwirtschaft. An der Bauhaus-Universität Weimar promovierte sie 2007. Ab November 2001 war sie Mitarbeiterin von Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Karl J. Thomé-Kozmiensky im TK Verlag und im Ingenieur- und Beratungsbüro vivis Consult GmbH. Dr. Stephanie Thiel arbeitet seit 2007 in der wissenschaftlichen Leitung des TK Verlags und ist dort fachlich verantwortlich für die jährlich stattfindenden Berliner Konferenzen zu den Themen Abfallverbrennung, Recycling und mineralische Abfälle, für den internationalen Waste-to-Energy Congress sowie die hierzu erscheinenden Fachbücher. Seit 2008 ist sie Redaktionsmitglied der Fachzeitschrift ReSource – zuvor MüllMagazin – und seit 2014 Mitglied im Organisationskomitee der Recy & DepoTech.

Kommerzialrat Dipl.-Ing. Dr. Peter Hodecek MBA, ist ein abfallwirtschaftliches „Urgestein“ der privaten Entsorgungswirtschaft Österreichs. Nach dem Studium der Kulturtechnik an der BOKU leitete er ab 1986 die Abteilung Abfallwirtschaft am Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen und arbeitete an Konzepten zur Entsorgung von gefährlichen Abfällen. Ab 1990 bis heute war und ist er in leitenden Funktionen der privaten Entsorgungswirtschaft tätig. Im Topmanagement der ASA, der AVE und der Scholz Gruppe trug er maßgeblich zur nationalen und internationalen Entwicklung dieser Unternehmen bei. Besonders hervorzuheben ist seine hohe Kompetenz in abfallrechtlichen und europarechtlichen Belangen der Abfallwirtschaft, die er in einer Vielzahl von österreichischen und europäischen Interessensvertretungen als Experte einbringt. Dr. Hodecek ist auch langjähriger Lektor an der Montanuniversität Leoben.

Dipl.-Ing. Rainer Kronberger, geboren 1969 leitet die Abteilung für wirtschaftliche An-gelegenheiten der MA 48 und ist damit maßgeblich für die Abfallwirtschaft der Stadt Wien verantwortlich. Nach dem Studium der Kulturtechnik an der BOKU und ergänzenden Studien an der WU und der TU Wien war er als Projektingenieur bei der Beratungsfirma GUA tätig. Als stellvertretender Leiter des Bereiches „Abfallwirtschaft und Stoffstrommanagement“ der MA 48 wird er insbesondere für seine Expertise in wirtschaftlichen und logistischen Fragen der kommunalen Abfallwirtschaft geschätzt. Sein abfallwirtschaftliches Fachwissen wird insbesondere vom Österreichischen Städtebund geschätzt, als dessen Vertreter er langjährig tätig ist. Von 2010 bis 2018 war DI Rainer Kronberger Präsident der ISWA Austria.

Organisation

Organisationsteam

Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW)
der Montanuniversität Leoben

Franz-Josef-Straße 18, 8700 Leoben, Österreich
Telefon: +43 (0) 3842 / 402-5103, Fax: +43 (0) 3842 / 402-5102
E-Mail: info@recydepotech.at

Roland Pomberger
Tanja Trieb

Redaktion

Tanja Trieb

Kooperationspartner

Access to Sustainable Knowledge
Cleantech-Cluster OÖ
DETAIL Business Information GmbH (RECYCLING magazin)
European Federation of Waste Management and Environmental Services
Fachverband Abfall- und Abwasserwirtschaft
Green Tech Cluster Styria GmbH
International Solid Waste Association
Logistik Club Leoben (Verein)
Mediaplanet GmbH
Montanuniversität Leoben (mehrere Organisationseinheiten)
MSV Mediaservice & Verlag GmbH (EU-Recycling Magazin)
Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
SCIAM Fachmedien GmbH & Co KG (Umweltjournal)
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky
Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe
Verein zur Verleihung des Zertifikates eines Entsorgungsfachbetriebes
ViaExpo (Tagung „Save the Planet“)
Waste.ua
WastTech-2019

Wissenschaftliches Komitee

Martina **A**bleidinger, ISWA Austria - International Solid Waste Association, Österreich

Helmut Antrekowitsch, Montanuniversität Leoben, Österreich

Manfred Assmann, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Österreich

Rupert **B**aumgartner, Karl-Franzens-Universität Graz, Österreich

Alberto Bezama, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ, Deutschland

Anke Bockreis, Universität Innsbruck, Österreich

Kerstin Brandstätter-Scherr, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

Christina **D**ornack, Technische Universität Dresden, Deutschland

Martin **E**isenberger, Umweltrecht & Consulting Rechtsanwälte, Österreich

Martin **F**aulstich, Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Deutschland

Johann Fellner, Technische Universität Wien, Österreich

Helmut Flachberger, Montanuniversität Leoben, Österreich

Sabine Flamme, Fachhochschule Münster, Deutschland

Klaus Fricke, Technische Universität Braunschweig, Deutschland

Stefan **G**äth, Justus-Liebig-Universität Gießen, Deutschland

Evangelos Gidaracos, Technische Universität Crete, Griechenland

Daniel Goldmann, Technische Universität Clausthal, Deutschland

Stefan **H**erzer, Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe, Österreich

Soraya Heuss-Aßbichler, Ludwig-Maximilians-Universität München, Deutschland

Wilhelm Himmel, Montanuniversität Leoben, Österreich

Peter Hodecek, Scholz Austria GmbH, Österreich

Christian Holzer, Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Österreich

Clemens Holzer, Montanuniversität Leoben, Österreich

Marion Huber-Humer, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

Thomas **K**ienberger, Montanuniversität Leoben, Österreich

Martin Kranert, Universität Stuttgart, Deutschland

Gernot Kreindl, Stadtgemeinde Leoben, Österreich

Alfred Krenn, Abfallwirtschaftsverband Leoben, Österreich

Daisy Kroker, Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe, Österreich

Rainer Kronberger, Magistrat der Stadt Wien, Österreich

Stephan **L**aske, Saubermacher Dienstleistungs AG, Österreich

Markus Lehner, Montanuniversität Leoben, Österreich

Andreas P. Loibner, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

Karl E. Lorber, Montanuniversität Leoben, Österreich

Mario **M**ocker, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Deutschland

Wissenschaftliches Komitee

Rodrigo **N**avia Diez, University of La Frontera, Chile
Michael **N**elles, Universität Rostock, Deutschland

Burcu **Ö**zkaraova Güngör, Ondokuz Mayıs University, Türkei

Roland **P**omberger, Montanuniversität Leoben, Österreich
Thomas **P**retz, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Deutschland

Peter **Q**uicker, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Deutschland

Arne **R**agossnig, RM Umweltkonsulten ZT GmbH, Österreich
Harald **R**aupenstrauch, Montanuniversität Leoben, Österreich
Helmut **R**echberger, Technische Universität Wien, Österreich
Karl **R**eiselhuber, Magistrat der Stadt Wien, Österreich
Armin **R**eller, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung
e.V., Deutschland
Gerhard **R**ettenberger, Ingenieurgruppe RUK GmbH, Deutschland
Marco **R**itzkowsky, Technische Universität Hamburg-Harburg, Deutschland

Christoph **S**charff, ARA AG, Österreich
Liselotte **S**chebek, Technische Universität Darmstadt, Deutschland
Helmut **S**adler, International Solid Waste Association sowie Verein zur Verleihung
des Zertifikates eines Entsorgungsfachbetriebes, Österreich

Stephanie **T**hiel, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Deutschland

Olga **U**lanova, Technische Universität Irkutsk, Russland

Werner **W**russ, ESW Consulting Wruss ZT GmbH, Österreich

Gerhard **Z**iehenberger, Saubermacher Dienstleistungs AG, Österreich
Michael **Z**orzi, BALSBA Bundesaltlastensanierungsges.m.b.H., Österreich

Förderungen & Firmenpartnerschaften

Förderstellen

Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Abteilung 8 - Referat Wissenschaft und
Forschung
Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Abteilung 14 - Referat Abfallwirtschaft
und Nachhaltigkeit
Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Landesamtsdirektion - Referat Protokoll
und Auszeichnungen
Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
Stadtgemeinde Leoben

Gold-Firmenpartner

Altstoff Recycling Austria AG
GreenCycle GmbH
GWU Geologie-Wasser-Umwelt GmbH
HUESKER Synthetic GmbH
Lidl Österreich GmbH
PORR Umwelttechnik GmbH
Saubermacher Dienstleistungs AG

Mittagsbuffet-Firmenpartner

Magistratsabteilung 48 Abfallwirtschaft

Silber-Firmenpartner

Borealis Polyolefine
Rohrdorfer Umwelttechnik GmbH
STADLER Anlagenbau GmbH

Förderungen & Firmenpartnerschaften

Bronze-Firmenpartner

BALSA Bundesaltlastensanierungsges.m.b.H.
Brantner Österreich GmbH
ESW Consulting WRUSS ZT GmbH
FCC Environment CEE GmbH
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Industriellenvereinigung Steiermark
Kammer der ZiviltechnikerInnen für Steiermark und Kärnten
Knauf AMF Deckensysteme GesmbH
Komptech GmbH
Lafarge Zementwerke GmbH
Lindner-Recyclingtech GmbH
schrott2cash GmbH
STEINERT GmbH
TÜV SÜD Landesgesellschaft Österreich GmbH
Umweltdienst Burgenland GmbH
voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG
w&p Zement GmbH

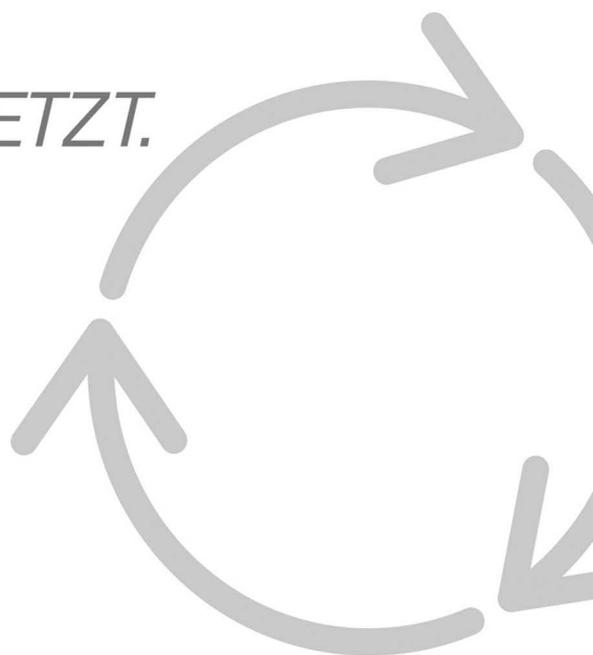
Aussteller / Messestand

ATM Recyclingsystems GmbH
eom-solutions
Drill Resources Oil and Gas Consulting
FLEXIM GmbH
Fraunhofer-Projektgruppe IWKS
IFE Aufbereitungstechnik GmbH
Ing. Reinhard Bog, Werksrepräsentanzen
Interseroh Austria GmbH
RM Umweltkonsulenten ZT GmbH
SYNLAB Analytics & Services Austria GmbH
UTC Umwelttechnik Ziviltechniker GmbH
ZenRobotics Ltd.

(Stand 24. September 2018)

ARA 360° KREISLAUF- WIRTSCHAFT FÜR ÖSTERREICH

STARTEN WIR
DIE ZUKUNFT JETZT.



Schließen wir gemeinsam den Verpackungskreislauf:
Hochwertige Sekundärrohstoffe für neue Produkte.
Nachhaltige Verpackungen durch ARA Circular Design.
Das ist 360° Kreislaufwirtschaft made in Austria.

DIE TREIBENDE KRAFT IM RECYCLING.

[ara.recycling](https://www.ara.at) www.ara.at

ARA 
Altstoff Recycling Austria

Inhaltsverzeichnis Posterbeiträge

RECYCLING & ABFALLVERWERTUNG

Kompostiersversuche mit Klärschlamm und Substraten aus der Speisepilzproduktion <i>P. Penckert</i>	41
Untersuchung von Feinfraktionen aus metallhaltigen Abfallströmen <i>K. Johnen & A. Feil</i>	45
Aufschlusszerkleinerung von Wärmedämmverbundsystemen in einer Hammermühle <i>M. Simons & A. Feil</i>	51
Bestimmung des Biomasseanteils in Abfällen und EBS - Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Bilanzenmethode <i>T. Schwarzböck, P. Aschenbrenner, S. Spacek, H. Rechberger & J. Fellner</i>	57
Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen – Weiterentwicklung des RecoPhos-Prozesses <i>C. Ponak, V. Mally, H. Raupenstrauch & A. Schönberg</i>	65
Erhöhung der Repräsentativität von Proben aus Wertstoffballen mit Hilfe der Ballenbeprobung <i>J. Poerschke & C. Borowski</i>	69
Recyclingquoten für Kunststoffe - Ist eine Quotenerfüllung nach aktuellen gesetzlichen Vorgaben zur nachhaltigen Verwertung von Kunststoffen ausreichend? <i>K. Friedrich & K. Tschiggerl</i>	75
Entwicklung eines neuen Aufarbeitsverfahrens für Salzschlacken <i>T. Angerer</i>	81
Leichtbau trifft Circular Economy – Wie entwickelt sich der Kreislauf von Kunststoff- und Verbundwerkstoffen? <i>D. Schönmayr</i>	85
Influence of Lead on the Precipitation of Zinc in Synthetic Industrial Wastewater <i>K. Tandon, S. Heuss-Aßbichler & I. Anagnostopoulos</i>	91
Entwicklung eines Konzeptes zur Monofermentation von stickstoffhaltigen Substraten <i>A. Geißler</i>	99
Einsatz von Ballistikseparatoren als Vorsortieraggregat in schweren Materialströmen <i>C. Nordmann & U. Sigmund</i>	103
Katalog zu Bodenproben aus der Steiermark mit geogener Metallbelastung <i>M. Brechlmacher & M. Wellacher</i>	109

Thermoprozesstechnik – Wertstoff- und Wärmerückgewinnung aus Eisenhütten- schlacken <i>K. Doschek, M. Hohenberger, B. Mühlbacher, C. Ponak & H. Raupenstrauch.....</i>	113
Konditionierung von Laborabfällen zur stofflichen Verwertung <i>H.M. Menapace & F. Rossmann.....</i>	117
Erfahrungsbericht zur Verwertung des Teilstoffstroms erdenähnlicher Substanzen aus Restmüll HM/HMG <i>W. Felber.....</i>	121
Chemical Current Sources Management in the European Union and Russia in the Context of Extended Producer Responsibility <i>V.G. Zilenina, O.V. Ulanova & C. Dornack.....</i>	127

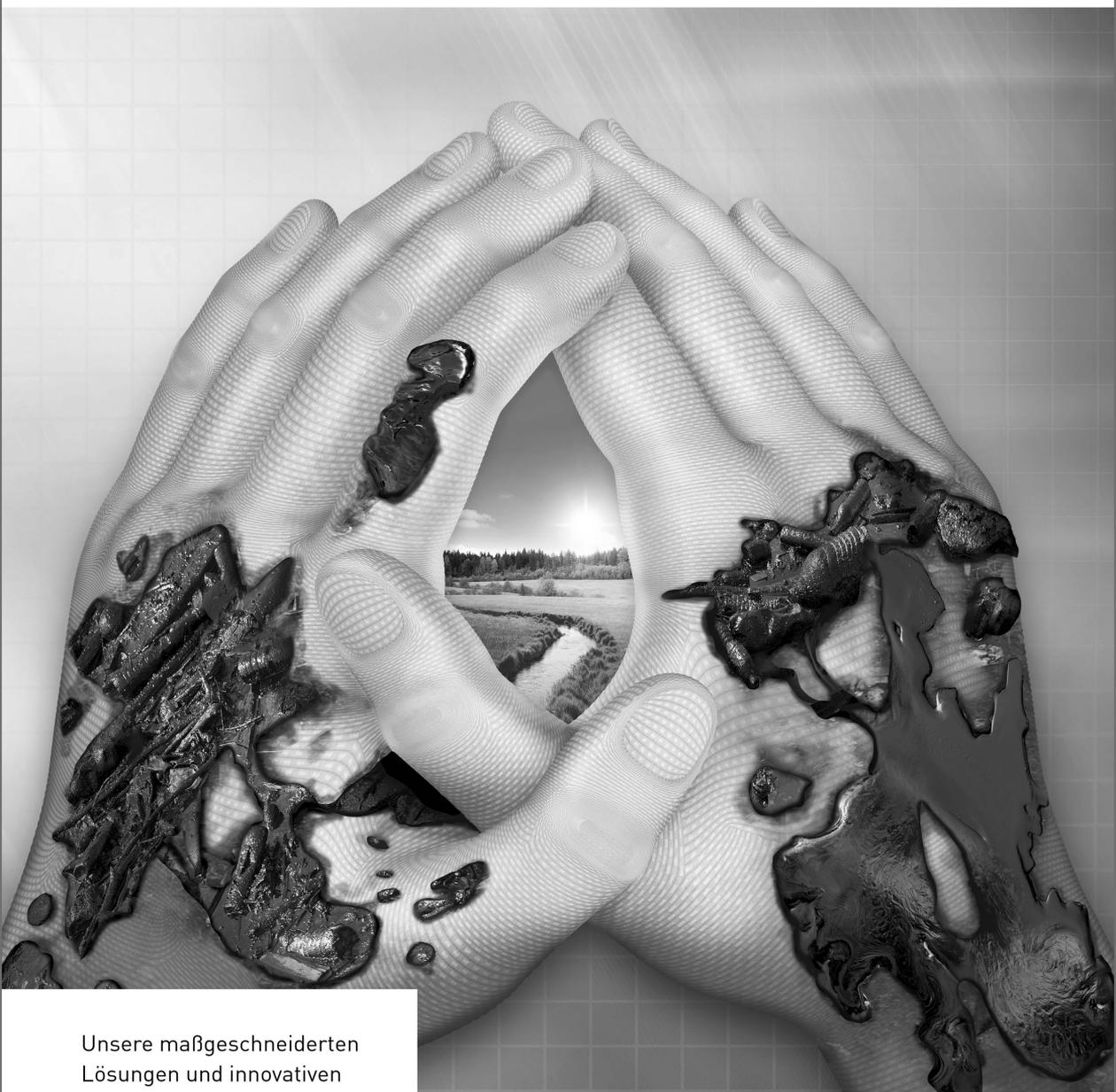
ABFALLWIRTSCHAFT & RESSOURCENMANAGEMENT

United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) <i>U. Kral & S. Heuss-Aßbichler.....</i>	131
Reslag - Recycling von Stahlwerksschlacken <i>K. Nothacker & G. Homm.....</i>	137
Vermeidung von Lebensmittelabfällen in der Außer-Haus-Verpflegung in Österreich <i>M. Hrad, R. Ottner & G. Obersteiner.....</i>	141
Identifizierung von Einflussfaktoren auf das Obst- und Gemüseabfallaufkommen aus Haushalten <i>S. Schwödt & G. Obersteiner.....</i>	145
Untersuchungen an ausgewählten Abfallströmen zur gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 „ökotoxisch“ <i>W. Wruss, K. Wruss, O. Mann, A. Dvorak, J. Kraus & S. Löw.....</i>	147
Identifizierung von Verbrauchergruppen zur Lebensmittelabfallvermeidung <i>G. Obersteiner & S. Schwödt.....</i>	153
Analyse ungenutzter Rohstoffpotentiale in den Stoffströmen in der Region Harz (Deutschland) <i>J. Dräger, M. Hoffmann & D. Goldmann.....</i>	155
Elektrolok mit 2000 kg Re-Use-Lithium-Ionen-Batterien – Realisierung, Erfahrungen, Weiterarbeit <i>T. Winkler & H. Weiß.....</i>	161
Generic Model for the Environmental Assessment of Anaerobic Digestion of Food By- Products and Waste <i>S. Scherhauser & S. Gollnow.....</i>	167

Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze am Beispiel von Photovoltaik-Modulen <i>M. Schwarz, K. Fazeni, J. Lindorfer & S. Moser</i>	173
Lessons Learned – Erfahrungen aus dem RUN Projekt <i>R. Brüning & J. Wolf</i>	179
Störstoffe und originalverpackte Lebensmittel in Bioabfällen <i>A. Krenn & M. Wellacher</i>	183
Ressourcenmanagement in der Kreislaufwirtschaft – Eindrücke österreichischer Akteure <i>M. Pamperl, N. Unger & P. Beigl</i>	189
Altglasrecycling – Anteil an Störstoffen im Altglas in Österreich <i>A. Aldrian, R. Pomberger, C. Schipfer & K. Gattermayer</i>	193
Lebensmittelabfallvermeidung in der Landwirtschaft <i>E. Schmied, J. Mayerhofer & G. Obersteiner</i>	199
Stoffliche Verwertung von Klärschlammaschen in der Düngemittelindustrie <i>A. Ragossnig, J. Maier, R. Hummel & E. Kohl</i>	203
Kreislaufwirtschaftspaket - Die Realität über Deponierung und End-of-Life-Vehicle-Recycling <i>B. Kummer & W. Beysiegel</i>	207
Waste Management 4.0 - Optimization of Waste Collection and Recycling Logistics in Irkutsk (Russia) <i>O.V. Ulanova & M.A. Shevela</i>	213
Municipal Solid Waste Management in Lahore, Pakistan - Characterization and Energy Content <i>M. Azam, S. Setoodeh & F. Winter</i>	217
Analyse des Einflusses des Tourismus auf die Abfallerzeugung - Herausforderungen und Ergebnisse <i>G. Obersteiner & I. Gruber</i>	223
Barcode, QR-Code und Data Matrix - Abfallkennzeichnung am Beispiel Batterien <i>B. Rutrecht, T. Schwarz & G. Gröbner</i>	227
PlasticfreeDanube – Auswirkungen von Makro- Kunststoffverschmutzungen in und entlang der Donau <i>J. Mayerhofer, S. Lenz & G. Obersteiner</i>	235

DEPONIETECHNIK & ALTLASTEN

ZEROS - Zerstörung organischer Schadstoffe in Wässern mittels innovativer Verfahrenskombination (Teil 1) <i>P. Müller, R. Mischitz, B. Binder, L.M. Krois, K.P. Sedlazeck, D. Vollprecht, W. Trois, I. Maunz & R. Frate</i>	241
Kataster anthropogener Lagerstätten in der Region Harz basierend auf einem Geo-Informationssystem <i>K. Schneider & D. Goldmann</i>	247
PAK in Koksfraktionen und deren Analytik <i>M. Kleinhappl, Y. Neubauer & C. Unger</i>	253
Charakterisierung von belüftetem Deponiematerial betreffend Verwertbarkeit und Ablagerfähigkeit <i>M. Rapf</i>	257
Statistisches Werkzeug zur Industriebrachflächen-Bewertung <i>C. Brandstätter, R. Prantl, P. Brandner, A. Weinzetl, M. Ondra, N. Jafari & W. Schwaiger</i>	263
Sicherung der Altlast N12 Kapellerfeld <i>S. Taborsky & A. Rath</i>	269
Sanierung Ölschaden Floridsdorf <i>H.-P. Weiß, R. Philipp & M. Fencel</i>	275
Förderung und Trennung von komplexen DNAPL-LNAPL Phasengemischen auf der Altlast O76 „Kokerei Linz“ <i>F. Mönter & F. Reiß</i>	279
Anwendung von CKW-adsorbierenden Geokunststoffen am Beispiel der Altlast K20 <i>O. Syllwasschy & K. Thimm</i>	285
ISCO, ISBR, GZS - Kombination innovativer und konventioneller Verfahren zur Grundwassersanierung <i>E.-H. Ruiter</i>	291

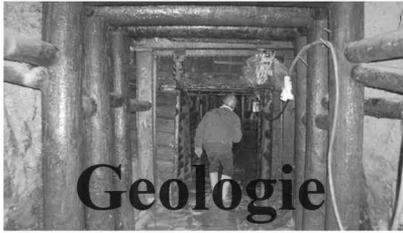


Unsere maßgeschneiderten Lösungen und innovativen Produkte sind der Garant für erfolgreiche Projekte. Wir bieten Lösungen für zuverlässige Sicherungsmaßnahmen in der Umweltschutztechnik. Entdecken Sie die Welt der Geokunststoffe – entdecken Sie HUESKER.



**Die Umwelt
schützend im Blick**

Kompetenz in ...



Geologie



Wasser

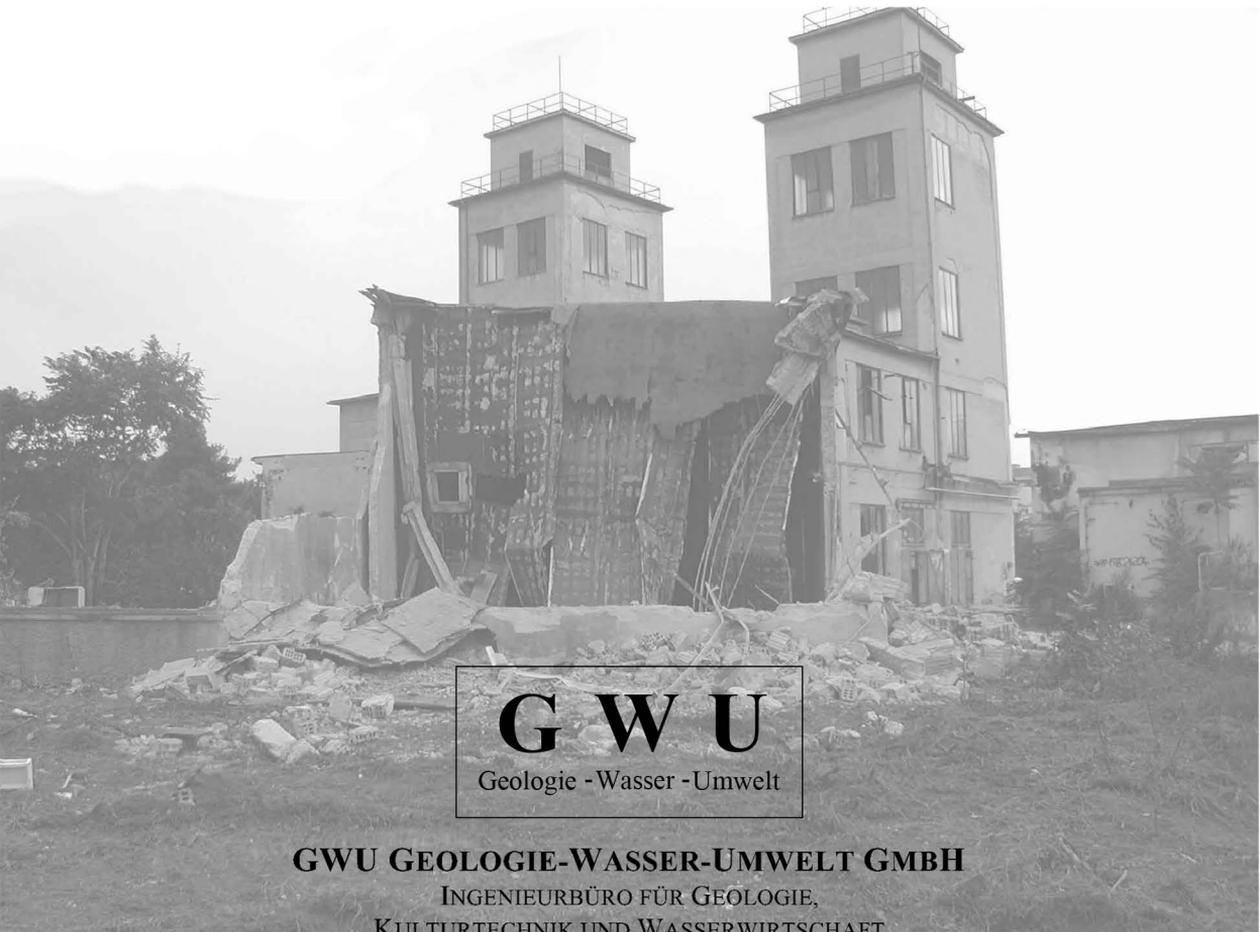


Umwelt

Geologische Dokumentation
und Beratung,
Kartierung,
Baugrunderkundung,
Bohrbetreuung,
Geologische Gutachten für
alle Planungsphasen,
Steinschlagsimulation (2D+3D),
Naturgefahrenbewertung, ...

Wasserwirtschaftliche
Beweissicherung,
Hydrogeologische Gutachten,
Planungen für
Trinkwasserver- und
Abwasserentsorgung,
wasserrechtliche Bauaufsicht,
Baustellenkoordination,
Erdwärmennutzung, ...

Abfall- und Aushubbeurteilung,
Schad- und Störstofferkundung,
Umwelttechnische
Bauüberwachung,
Verdachtsflächenerkundung,
Altlastensanierung,
Grundstücksbewertung,
Deponieplanung und -aufsicht,
Ausgangszustandsbericht gem.
Industrieemissionsrichtlinie,
Umweltverträglichkeitserklärung
(UVE), ...



GWU
Geologie - Wasser - Umwelt

GWU GEOLOGIE-WASSER-UMWELT GMBH
INGENIEURBÜRO FÜR GEOLOGIE,
KULTURTECHNIK UND WASSERWIRTSCHAFT

Index English Abstracts of Poster Contributions

RECYCLING & WASTE PROCESSING

Composting Experiments with Sewage Sludge and Mushroom Substrates <i>P. Penckert</i>	299
Investigation of Fine Fractions of Metal-Containing Waste Streams <i>K. Johnen & A. Feil</i>	300
Comminution of Thermal Insulation Systems in a Hammer Mill <i>M. Simons & A. Feil</i>	301
Determining the Biomass Content in Waste and RDF - Exploring the Versatility of the Balance Method <i>T. Schwarzböck, P. Aschenbrenner, S. Spacek, H. Rechberger & J. Fellner</i>	302
Recovery of Phosphorus from Sewage Sludge Ashes – Advancement of the RecoPhos Process <i>C. Ponak, V. Mally, H. Raupenstrauch & A. Schönberg</i>	303
Randomized Bale Sampling - Chances and Techniques for Quality Assurance of Input Materials <i>J. Poerschke & C. Borowski</i>	304
Recycling Rates for Plastics - Is a Quota Fulfilment According to Current Legal Requirements for the Sustainable Recycling of Plastics Sufficient? <i>K. Friedrich & K. Tschiggerl</i>	305
Development of a New Recycling Process for Salt Slags <i>T. Angerer</i>	306
Lightweight Construction Meets Circular Economy - How is the Cycle of Plastic and Composite Materials Developing? <i>D. Schönmayr</i>	307
Influence of Lead on the Precipitation of Zinc in Synthetic Industrial Wastewater <i>K. Tandon, S. Heuss-Aßbichler & I. Anagnostopoulos</i>	308
Development of a Concept for the Mono-Fermentation of Nitrogen-Containing Biomass <i>A. Geißler</i>	309
Ballistic Separators as a Pre-Sorting Machine for Heavy Waste Streams <i>C. Nordmann & U. Sigmund</i>	310
Catalogue for Soil Samples from Styria with Geogenic Contamination <i>M. Brechlmacher & M. Wellacher</i>	311

Thermal Processing Technology – Resource and Heat Recovery from Iron and Steelmaking Slags <i>K. Doschek, M. Hohenberger, B. Mühlbacher, C. Ponak & H. Raupenstrauch.....</i>	312
Conditioning of Laboratory Glass Waste for Material Recovery <i>H.M. Menapace & F. Rossmann.....</i>	313
Recovering of Residual Waste by Fine Fraction Oculation <i>W. Felber.....</i>	314
Chemical Current Sources Management in the European Union and Russia in the Context of Extended Producer Responsibility <i>V.G. Zilenina, O.V. Ulanova & C. Dornack.....</i>	315

WASTE MANAGEMENT & RESOURCE MANAGEMENT

United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) <i>U. Kral & S. Heuss-Aßbichler.....</i>	316
Reslag - Turning Waste from Steel Industry into Valuable Low Cost Feedstock for Energy Intensive Industry <i>K. Nothacker & G. Homm.....</i>	317
Food Waste Generation and Prevention in the Austrian Food Service Sector <i>M. Hrad, R. Ottner & G. Obersteiner.....</i>	318
Identification of Factors Influencing Household Fruit and Vegetable Waste <i>S. Schwödt & G. Obersteiner.....</i>	319
Study on Polystyrene Material and Shredder Light Fractions for the Hazardous Property HP14 „Ecotoxic“ <i>W. Wruss, K. Wruss, O. Mann, A. Dvorak, J. Kraus & S. Löw.....</i>	320
Consumer Type Analysis for the Implementation of Food Waste Prevention Measures <i>G. Obersteiner & S. Schwödt.....</i>	321
Analysis of Unused Raw Material Potentials in the Material Flows in the Harz Region (Germany) <i>J. Dräger, M. Hoffmann & D. Goldmann.....</i>	322
Electric Locomotive Equipped with 2,000 kg Reuse Lithium-Ion Batteries - Realisation, Experiences, Prospect <i>T. Winkler & H. Weiß.....</i>	323
Generic Model for the Environmental Assessment of Anaerobic Digestion of Food By-Products and Waste <i>S. Scherhauser & S. Gollnow.....</i>	324

Energy and Resource Savings due to Urban Mining Using the Example of Photovoltaic Modules <i>M. Schwarz, K. Fazeni, J. Lindorfer & S. Moser</i>	325
Lessons Learned from the RUN Project <i>R. Brüning & J. Wolf</i>	326
Contraries and Packed Food in Biowaste <i>A. Krenn & M. Wellacher</i>	327
Resource Management in the Circular Economy – Perspectives of Austrian Experts <i>M. Pamperl, N. Unger & P. Beigl</i>	328
Waste Glass Recycling - Percentages of Impurities in Waste Glass in Austria <i>A. Aldrian, R. Pomberger, C. Schipfer & K. Gattermayer</i>	329
Food Waste Prevention in the Austrian Primary Production <i>E. Schmied & G. Obersteiner</i>	330
Recycling of Sewage Sludge Ash in the Fertilizer Industry <i>A. Ragossnig, J. Maier, R. Hummel & E. Kohl</i>	331
Circular Economy Package – The Reality about Landfilling and End-of-Life Vehicle Recycling <i>B. Kummer & W. Beysiegel</i>	332
Waste Management 4.0 - Optimization of Waste Collection and Recycling Logistics in Irkutsk (Russia) <i>O.V. Ulanova & M.A. Shevela</i>	333
Municipal Solid Waste Management in Lahore, Pakistan - Characterization and Energy Content <i>M. Azam, S. Setoodeh & F. Winter</i>	334
The Influence of Tourism on Waste Generation – Challenges and Results <i>G. Obersteiner & I. Gruber</i>	335
Barcodes, QR-Codes and Data Matrix - Waste Battery Labelling <i>B. Rutrecht, T. Schwarz & G. Gröbner</i>	336
PlasticFreeDanube - Macro Plastic Waste in and Along the Danube <i>J. Mayerhofer, S. Lenz & G. Obersteiner</i>	337

LANDFILL TECHNOLOGY & SITE REMEDIATION

ZEROS – Decomposition of Aquatic Organic Pollutants Driven by an Innovative Process Combination (Part 1) <i>P. Müller, R. Mischitz, B. Binder, L.M. Krois, K.P. Sedlazeck, D. Vollprecht, W. Trois, I. Maunz & R. Frate</i>	338
--	-----

Cadastre of Anthropogenic Deposits in the Harz Region Based on a Geoinformation System <i>K. Schneider & D. Goldmann</i>	339
PAH in Fractions of Char and Their Analysis <i>M. Kleinhappl, Y. Neubauer & C. Unger</i>	340
Characterisation of Aerated Landfill Material Regarding Usability of Recyclable and Suitability of Residues for Landfilling <i>M. Rapf</i>	341
Statistical Toolset for Forecasting the Potential for Brownfield Development <i>C. Brandstätter, R. Prantl, P. Brandner, A. Weinzetl, M. Ondra, N. Jafari & W. Schwaiger</i>	342
Securing the Contaminated Site N12 Kapellerfeld <i>S. Taborsky & A. Rath</i>	343
Remediation of a Hydrocarbon Contamination <i>H.-P. Weiß, R. Philipp & M. Fencel</i>	344
Extraction and Separation of Complex DNAPL-LNAPL Phase Mixtures at Contaminated Site O76 Coking Plant Linz <i>F. Mönter & F. Reiß</i>	345
Application of CHC-Adsorbing Geosynthetics Using the Example of the Contaminated Site K20 <i>O. Syllwasschy & K. Thimm</i>	346
ISCO, ISBR, GCS - Combination of Innovative and Conventional Methods of Groundwater Cleanup <i>E.-H. Ruiter</i>	347



Zero {}
Waste
bedeutet:

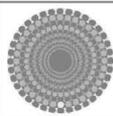
VOR-
DENKEN.
NACH-
DENKEN.
UM-
DENKEN.

Saubermacher

Wir unterstützen Sie beim Auffinden von Ressourcenpotentialen in Abfällen. Unser Ziel: Zero Waste.



Januar
BERLINER ABFALLWIRTSCHAFTS- UND ENERGIEKONFERENZ
 Berlin



März
BERLINER RECYCLING- UND ROHSTOFFKONFERENZ
 Berlin



Mai/Juni
BERLINER KONFERENZ MINERALISCHE NEBENPRODUKTE UND ABFÄLLE
 Berlin



September/October
IRRC – WASTE-TO-ENERGY
 Vienna

ENGLISH

weitere Informationen finden Sie unter

vivis.de
 www.vivis.de



November
BERLINER KLÄRSCHLAMMKONFERENZ
 Berlin

Foto: Sergey Nivens / fotolia.com



EU-Recycling
 Das Fachmagazin für den europäischen Recyclingmarkt

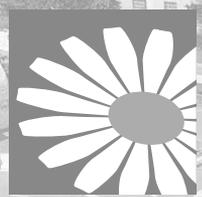
[w³.eu-recycling.com](http://w3.eu-recycling.com)

GLOBAL RECYCLING
 The Magazine for Business Opportunities & International Markets

[w³.global-recycling.info](http://w3.global-recycling.info)

RecyclingPortal
 Das Fachportal für Abfall, Entsorgung, Recycling, Kreislaufwirtschaft und Märkte

[w³.recyclingportal.eu](http://w3.recyclingportal.eu)



ISWA Austria

International Solid Waste Association

ISWA Austria ist das „National Member“ der ISWA (International Solid Waste Association) in Österreich und bietet seinen Mitgliedern die Schnittstelle zur internationalen Abfallwirtschaft.

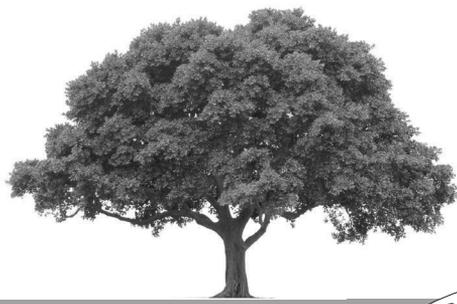
Die ISWA zählt heute Mitglieder in rd. 110 Staaten und ist damit der weltweite Verband von über 30.000 ExpertInnen und PraktikerInnen der Abfallwirtschaft.

Nähere Informationen finden Sie unter www.iswa.at sowie www.iswa.org

Poster



Verein zur Verleihung
des Zertifikates eines
Entsorgungsfachbetriebes



Nur die besten Betriebe der Abfallwirtschaft-
und Recyclingbranche dürfen sich
Entsorgungsfachbetrieb (EFB) nennen –
folgen sie dieser Marke:



www.vefb.at

Think Green

Ressourcenmanagement & Nachhaltigkeit

**MEDIA
PLANET**

- Weg von der Wegwerfgesellschaft hin zur Kreislaufwirtschaft?
- Funktioniert Fairtrade als Teil der CSR-Strategie?
- Was steckt tatsächlich hinter einem Gütesiegel?



Mediaplanet nimmt diese Fragen genauer unter die Lupe und schafft gemeinsam mit Experten aus der Branche einen Ratgeber und eine Inspirationsquelle für ein besseres Ressourcenmanagement und mehr Nachhaltigkeit.



Magazin-
Download:
bit.ly/thinkgreen

WWW.BUSINESS2BUSINESS.AT

www.greentech.at



World's #1

in Green Tech



Kompostierversuche mit Klärschlamm und Substraten aus der Speisepilzproduktion

P. Penckert

TU Dresden, Institut für Abfall- und Kreislaufwirtschaft, Pirna, Deutschland

KURZFASSUNG: Im Zuge des Forschungsprojektes sollen neuartige Deponieersatzbaustoffe hergestellt werden. Hierfür wurde in einem ersten Versuch Kompost aus Klärschlamm und Pilzsubstraten angefertigt. Betrachtet wurde die Kompostierung von Frischkompost mit Strukturmaterial und entwässertem Klärschlamm. Mit Ausnahme der Kontrollgruppe wurde bei jedem Kompost entweder Champignonsubstrat oder Kräuterseitlingssubstrat beigemischt.

Nach der Novellierung der Klärschlammverordnung stellt sich vermehrt die Frage, welche Verwertungsmöglichkeiten es für Klärschlamm gibt. Durch die Anwendung als Deponieersatzbaustoff wäre eine sinnvolle Verwertungsstrategie realisierbar. Außerdem sollen Abfallmengen (Klärschlamm, Pilzsubstrat) reduziert und im Sinne der Kreislaufwirtschaft recycelt werden. Darüber hinaus werden Nährstoffe rückgeführt, welche das Pflanzenwachstum positiv beeinflussen können. Das wiederum kann die Biomasseerträge und somit auch die Biogasausbeute steigern.

1 EINLEITUNG

Ziel des Projektes ist es, neuartige Deponieersatzbaustoffe aus Abfallstoffen wie Klärschlamm und Pilzsubstraten herzustellen. Hierfür wurden diese Materialien in einem ersten Schritt auf ihre Kompostiereigenschaften untersucht. Die dem Forschungsthema zu Grunde liegende Fragestellung ist dabei, ob sich Abfallstoffe aus der Speisepilzproduktion als Strukturmaterial für die Kompostierung von Klärschlamm eignen. Weiterhin soll erforscht werden, inwieweit die Pilzsubstrate die Komposteigenschaften beeinflussen, so z.B. die Wasserhaltekapazität, das Porenvolumen und die Nährstoffverfügbarkeit.

Speisepilzsubstrate können nach deren Einsatz für die weitere Produktion von Pilzen nicht mehr verwendet werden. Daher wird versucht, diese Reststoffe sinnvoll weiter zu nutzen. Eine Variante ist deren Einsatz in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer. Pilzkultursubstrate enthalten Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium oder Schwefel. Außerdem kann durch deren Einsatz aufgrund des hohen organischen Anteils eine Verbesserung der Bodenstruktur erreicht werden. Auch die Bodenfruchtbarkeit erhöht sich, da die Pilze die Pflanzen mit Nährstoffen versorgen und ebenso als Wasserspeicher dienen. (Landwirtschaftskammer Hannover 2004)

Das Pflanzenwachstum kann laut Knorre et al. (2017) durch den Einsatz von Klärschlammkompost positiv beeinflusst werden. Für die Versuche verwendeten die Autoren eine Mischung aus Klärschlammkompost und Mineralboden. Die Autoren zeigen, dass die Wasserspeicherefähigkeit und die Nährstoffverfügbarkeit zunehmen. Dies führt zu gesteigerten Biomasseerträgen und verringerter Sickerwasserbildung. Laut KNORRE ET AL. (2017) eignet sich eine Mischung aus Klärschlammkompost und Mineralboden als Boden für den Anbau von Energiepflanzen. Grund hierfür ist die Steigerung der Wasserspeicherefähigkeit. Auch Bernsdorf et al. (2009) zeigen, dass

der Einsatz von Klärschlammkompost die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens um bis zu 50 % erhöht.

Für eine optimale Nährstoffversorgung der Pflanze sind auch die hohen Nährstoffgehalte an z.B. Stickstoff und Phosphor im Klärschlammkompost von Vorteil. (Knorre et al. 2014)

2 KOMPOSTIERVERSUCHE

Im Rahmen der Bearbeitung des Projektes wurden zuerst verschiedene Kompostierungsversuche durchgeführt, welche im Folgenden näher erläutert werden.

2.1 Versuchsaufbau Kompostierungsversuche August 2017 bis Oktober 2017

In den praktischen Untersuchungen soll der Einfluss von Pilzmyzel und Klärschlammkompost auf das Pflanzenwachstum und die Bodeneigenschaften untersucht werden. Hierfür wurden in einer ersten Versuchsreihe vier Materialmischungen hergestellt und der Einfluss des Pilzmyzels auf die Kompostierung untersucht.

- Variante A: Entwässerter Klärschlamm und Champignonsubstrat,
- Variante B: Frischkompost und Champignonsubstrat,
- Variante C: Frischkompost und Kräuterseitlingssubstrat und
- Variante D: Frischkompost (Kontrollgruppe).

Der Frischkompost besteht jeweils aus Klärschlamm und Strukturmaterial.

Die Versuche wurden für insgesamt 61 Tage durchgeführt. Der Kompost wurde in allen Varianten dreimal, nämlich am 7., 18. und 39. Tag umgesetzt. Gemessen wurden Wassergehalt, organische Trockensubstanz (oTS) und chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) (siehe Tabelle 1).

2.1.1 Ergebnisse

Aus den Messergebnissen der ersten Versuchsreihe (Tab. 1) geht hervor, dass infolge des Kompostierungsprozesses der Anteil an organischer Trockensubstanz und der chemische Sauerstoffbedarf über die Versuchslaufzeit abgenommen haben. Daraus ist zu schlussfolgern, dass eine Kompostierung stattgefunden hat.

Tab. 1: Wassergehalt, oTS, CSB und TOC der Komposter (eigene Darstellung).

Variante	Wassergehalt Ø [%]	oTS Start [%]	oTS Ende [%]	CSB Start [mg/g]	CSB Ende [mg/g]
Entwässerter Klärschlamm und Champignonsubstrat	70	61	45	881	795
Frischkompost und Champignonsubstrat	59	56	43	809	521
Frischkompost und Kräuterseitlingssubstrat	59	61	44	898	680
Frischkompost	57	61	42	868	776

Es ist erkennbar, dass die hohen Temperaturen von über 70 °C während der Kompostierung zum Absterben des Pilzmyzels geführt haben und sich dieses nicht im Kompost ausbreiten konnte. Auf diesen Versuchen aufbauend wird eine neue Versuchsreihe durchgeführt, in welcher das Substrat sowohl als Strukturmaterial in der Kompostierungsphase als auch in der Abkühlphase dem Kompost beigemischt wird (siehe Kapitel 3). Ferner ist zu beobachten, dass der entwässerte Klärschlamm mit

Champignonsubstrat zu hohe Wassergehalte von über 70 % aufweist. Hier ersetzt das Champignonsubstrat nicht in ausreichendem Maße das Strukturmaterial, was eine ausreichende Sauerstoffversorgung des Kompostes behindert.

Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass Variante A aus Klärschlamm und Champignonsubstrat die vorgeschriebene Temperatur nach Bioabfallverordnung (BioAbfV 1998) von 65 °C über drei Tage, 60 °C über sechs Tage oder 55 °C über zwei Wochen nicht erreichen konnte. Daher wird diese Mischung in den weiteren Versuchen nicht mehr verwendet. Bei den verbliebenen Varianten (B, C und D) konnten die Temperaturen zur Hygienisierung eingehalten werden. Hier lagen die Temperaturen mindestens drei Tage bei über 65 bis 70 °C.

Auffällig ist, dass bei Frischkompost mit Kräuterseitlingssubstrat keine Sickerwasserbildung festgestellt werden konnte. Das Sickerwasser wurde wahrscheinlich durch das Aufwuchsmaterial (Buchenspäne) des Kräuterseitlings aufgenommen. Diese Hypothese gilt es in weiteren Versuchen zu überprüfen.

2.2 Versuchsaufbau Kompostiersversuche Februar 2018 bis April 2018

Mit den Erkenntnissen aus der ersten Versuchsreihe wurden zwei neue Mischungen hergestellt, um zu testen, ob sich Siebabfall als Ersatz für das Strukturmaterial im Kompostierungsprozess eignet. Folgende Mischungen wurden angefertigt und anschließend kompostiert.

- Variante E: Entwässerter Klärschlamm, Siebabfall und Champignonsubstrat und
- Variante F: Entwässerter Klärschlamm, Strukturmaterial und Champignonsubstrat.

Die Versuche wurden für insgesamt 54 Tage durchgeführt. Gemessen wurden Wassergehalt, organische Trockensubstanz (oTS) und chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) (siehe Tabelle 2). Aufgrund der Witterungsbedingungen war das Substrat über eine lange Zeit gänzlich gefroren, weswegen nicht umgesetzt werden konnte.

2.1.1 Ergebnisse

Aus den Messergebnissen der zweiten Versuchsreihe (Tab. 2) geht hervor, dass infolge der Witterungsbedingungen der Kompostierungsprozess nicht stattfinden konnte. Dadurch kam auch der Abbau der Organik zum Erliegen und die Temperaturen für die Hygienisierung wurden nicht erreicht. Die Höchsttemperatur im Inneren des Kompostes lag anfänglich bei etwa 40-45 °C und sank dann auf einen Wert von 0-2 °C ab.

Tab. 2: Wassergehalt, oTS und CSB der Varianten E und F (eigene Darstellung).

Variante	Wassergehalt Ø [%]	oTS Start [%]	oTS Ende [%]	CSB Start [mg/g]	CSB Ende [mg/g]
Klärschlamm, Siebabfall und Champignonsubstrat	70	67	68	1.168	984
Klärschlamm, Strukturmaterial und Champignonsubstrat	77	71	72	939	983

Auf Basis der ersten Wochen, in denen das Material nicht eingefroren war, wurde festgestellt, dass es bei der Mischung mit Siebabfall zu einem etwas schnelleren Abbau der Organik kam. Dies resultierte in höheren und schneller ansteigenden Temperaturen. Für weitere Versuche wird daher die Beimischung von Siebabfall favorisiert.

3 WEITERFÜHRENDE EXPERIMENTE

Ab Juni 2018 sind Pflanzversuche geplant. Nach derzeitiger Planung werden die Pflanzversuche mit Pappel-Steckhölzern im Topfversuch und einer Laufzeit von 64 Tagen durchgeführt. Pro Versuchsreihe sollen 20 Pappeln gepflanzt werden. In der Versuchsreihe sollen der Biomassezuwachs sowie die Nährstoff- und Schadstoffaufnahme durch die Pflanzen untersucht werden.

Hierfür wird zunächst mit Hilfe der Ergebnisse aus den ersten beiden Versuchsreihen ein geeignetes Oberbodenmaterial hergestellt. Eingesetzt wird eine Variante mit entwässertem Klärschlamm, Champignonsubstrat und Siebabfall, welche sowohl im kleintechnischen Maßstab an der TU Dresden als auch im großtechnischen Maßstab kompostiert wird. Weiterhin werden zwei Mischungen hergestellt, bei denen Frischkompost einmal mit frischem Champignonsubstrat und einmal mit frischem Kräuterseitlingssubstrat gemischt wird. Hier soll explizit keine Kompostierung stattfinden, da die Unterschiede zwischen kompostiertem und nicht-kompostiertem Pilzsubstrat erforscht werden sollen. Alle Mischungen werden anschließend mit Abraummaterial aus dem Tage- oder Tiefbau vermischt und stehen dann als Pflanzsubstrat zur Verfügung.

LITERATUR

- Bernsdorf, S., Liemen, F., Meißner, R. (2009) *Einsatz von Klärschlammkompost auf Einsatz von Klärschlammkompost auf einer Kalirückstandshalde in Sondershausen unter Berücksichtigung des Anbaus von Energiepflanzen*. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kom. VI Titel der Tagung: Böden – eine endliche Ressource Veranstalter: DBG, Bonn.
- Bioabfallverordnung – BioAbfV (1998) *Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden*. Zuletzt geändert am 05.12.2013.
- Knorre, S., Bernsdorf, S., Liemen, F., Meißner, R. (2014) *Verfahrenstechnische und energetische Bewertung des Anbaues nachwachsender Rohstoffe auf zu rekultivierenden Flächen mithilfe von Klärschlammkomposten*. Leipzig (Leipziger Deponiefachtagung).
- Knorre, S., Liemen, F., Bernsdorf, S., Vetter, A., Meißner, R. (2017) *Anbau von Energiepflanzen als mögliche Nachnutzung von Deponien*. Müll und Abfall. Ausgabe 4/17, 186-193.
- Landwirtschaftskammer Hannover (2004) *Umweltgerechte Verwertung in der Landwirtschaft Pilzkultursubstrate*. Merkblätter für Beratung, Praxis und Vollzug. Nr. 2. Hannover.

Untersuchung von Feinfraktionen aus metallhaltigen Abfallströmen

K. Johnen & A. Feil

RWTH Aachen University, Institut für Aufbereitung und Recycling, Aachen, Deutschland

KURZFASSUNG: Durch die Aufbereitung von Abfällen entstehen sekundäre und tertiäre Abfallströme. Da aus diesen bereits durch Trennprozesse werthaltige Stoffe abgetrennt wurden, stellt sich die Frage nach Anlagenkonzepten zur weitergehenden Aufbereitung noch vorhandener Wertstoffe. Die Behandlung der Feinfraktionen < 20 mm stellt hierbei eine erhebliche Herausforderung dar. Im vorliegenden Beitrag wird am Beispiel von zwei metallhaltigen feinkörnigen Stoffströmen aus einer Aufbereitungsanlage (Elektro- und Elektronik-Schrott sowie Shredderschwerfraktion) aufgezeigt, dass aufgrund unterschiedlicher Korngrößenverteilungen und unterschiedlichem Materialinventar stoffspezifische Aufbereitungsschritte erforderlich sind. Die Planung für ein prozesstechnisches Konzept zur ergänzenden Rückgewinnung entsprechender Stoffströme in einer Prozessanlage erfordert demnach eine flexible Anlagengestaltung, die nur durch modulhaften Aufbau der Klassier- und Sortiereinrichtungen zu erreichen ist. Voraussetzung hierfür ist eine hinreichende Charakterisierung des Wertstoffinventars.

1 EINLEITUNG

Bei der Aufbereitung unterschiedlicher Abfallströme fallen sekundäre und tertiäre Abfälle an. Beispielsweise werden in der Altautoaufbereitung aus Altautos (i.d.R. zusammen mit weißer Ware und Mischschrotten) in Shredderanlagen drei verschiedene, metallhaltige Ströme (Shredderschrott, Shredderschwer- und Shredderleichtfraktion) erzeugt. Der erste Schritt der Aufbereitung ist oftmals eine Klassierung zur Einengung der Körnungsbänder der Stoffströme. Die Kornfraktionen > 20 mm können in der Regel mit etablierter Anlagentechnik aufbereitet werden. Die Feinfraktionen < 10/20 mm werden selten vollständig aufbereitet, es findet meist eine einstufige Metallabscheidung statt. Mit Hilfe von Magnetabscheidern und Wirbelstromscheidern werden Fe- und NE-Metalle abgetrennt. Die Restfraktionen werden je nach Materialbeschaffenheit verbrannt oder deponiert. Eine wirtschaftliche Aufbereitung dieser Restfraktionen ist aufgrund der hohen bereits erfolgten Abreicherung der Metalle nicht immer gegeben und wird nur vereinzelt durchgeführt. (Martens 2016)

Feinkornfraktionen fallen nicht nur bei der Aufbereitung von Shredderschrotten, sondern auch bei zahlreichen anderen Abfallströmen an. Im Abfallverzeichnis werden diese unter der Abfallschlüsselnummer 19 12 12 geführt (AVV 2001). Insbesondere bei stark metallhaltigen Abfällen (z. B. Shredderschrott oder Elektroschrott) weisen auch die Feinfraktionen noch nennenswerte Metallanteile auf. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung und der vorherigen Behandlung ist eine einheitliche Aufbereitung dieser Stoffe nicht zielführend möglich.

2 AUFBEREITUNG VON ALTAUTOS, ELEKTRO- UND ELEKTRONIKSCHROTT

2.1 Shredderprozess

Im Folgenden wird der Begriff „Shredder“ sowohl für den eigentlichen Zerkleinerer, den Hammerbrecher, als auch für die gesamte Anlage verwendet. Eine Shredder-Anlage besteht aus einer Zuförderstrecke mit Einzugswalze, dem Hammerbrecher mit integriertem Austragsrost und Auswurfklappe, einer über dem Abwurfband angeordneten Absaugung mit nachgeschalteter Zyklonabscheidung und einem Walzenmagnetscheider. Die Zusammensetzung des Inputmaterials eines Shredders variiert und besteht in der Regel aus Restkarossen von Altfahrzeugen, weißer Ware (Elektro-Großgeräte) und Mischschrotten. Der Shredderprozess ist eine Aufschlusszerkleinerung mit dem Ziel, das Inputmaterial in eine sortier- und förderfähige Stückgröße (< 150 mm) zu zerkleinern. Über die Zuförderstrecke wird das Material mit Hilfe einer Treibrolle in den Zerkleinerungsraum geführt und dort mittels scherender, schlagender und prallender Beanspruchung zerkleinert. Eine auf die Zerkleinerung folgende Absaugung separiert leichtere Bestandteile aus dem Stoffstrom, bevor eine Magnetscheidung magnetisierbare Bestandteile entfernt. Auf diese Weise entstehen die drei unterschiedlichen Stoffströme Shredderleichtfraktion (Material aus der Absaugung), Shredderschrott (Fe-Konzentrat der Magnetscheidung) und Shredderschwerfraktion (Rest nach der Magnetscheidung). (Martens 2016, UBA 2015)

2.2 Elektro- und Elektronikschrott

Der Aufbereitungsprozess von Elektro- und Elektronikschrott (Elektro(nik)-Schrott) variiert in den einzelnen Anlagen/Betrieben im Gegensatz zu dem relativ einheitlich durchgeführten Shredderprozess. Das Grundprinzip kann aber grundsätzlich mit dem der Altfahrzeugaufbereitung verglichen werden (Abbildung 1). Nach der Sammlung und dem Transport zur Aufbereitungsanlage findet eine händische Demontage der umweltschädlichen sowie leicht zugänglichen oder werthaltigen Bestandteile statt. Im Anschluss wird der übrige Schrott zerkleinert. Je nach Größe des Inputmaterials findet die Zerkleinerung mehrstufig statt. Im ersten Schritt der weiteren Aufbereitung wird der zerkleinerte Schrott gesiebt. Die Siebung dient der Eingrenzung der Körnungsbänder, um das Material für die folgenden Aufbereitungsschritte vorzubereiten. Auf die Aufbereitung der einzelnen Korngrößenfraktionen wird nachfolgend nicht näher eingegangen. (Martens 2016)

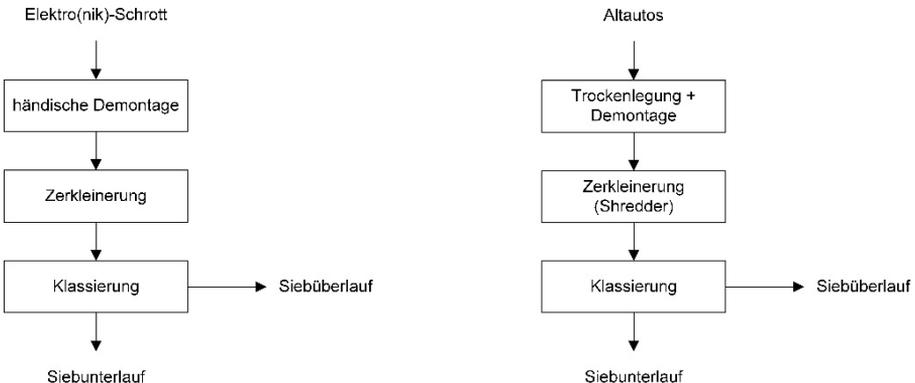


Abb. 1: Vergleich der Aufbereitungsverfahren von Elektro(nik)-Schrott und Altfahrzeugen (nach Martens 2016).

3 UNTERSUCHUNG DER FEINFRAKTIONEN

In Zusammenarbeit mit einem Industriepartner wurden unterschiedliche Feinfraktionen metallhaltiger Abfallströme untersucht, mit dem Ziel, diese in einer Anlage weiter aufzubereiten. Die Entwicklung eines Aufbereitungsprozesses für Feinfraktionen bedarf der Kenntnis über die Materialbeschaffenheit und ist vorab durch eine systematische Materialansprache zu ermitteln. Im Ergebnis sollte hinterfragt werden, ob die Möglichkeit besteht, unterschiedliche Feinfraktionen mit Hilfe eines modularen Anlagenkonzeptes aufzubereiten. Dabei sollen nur die Parameter änderbar sein, die zeitnah und unmittelbar verändert werden können (z. B. Bandgeschwindigkeit). Parameter, die nur mit größerem Aufwand geändert werden können (z. B. Siebbeläge/Sieböffnungsweite) werden als unveränderlich betrachtet. Ein Ziel der Aufbereitung ist die Anreicherung einer Kabelfraktion, da Kabel, insbesondere in Kornklassen $< 10 \text{ mm}$, i. d. R. nicht mit einem Wirbelstromscheider abgetrennt werden können.

Die Feinfraktion eines Elektroschrotts ($< 20 \text{ mm}$) und die einer Shredderschwerfraktion ($< 10 \text{ mm}$) wurden untersucht. Die genaue Genese beider Materialien ist unbekannt. Sie stammen beide aus derselben Aufbereitungsanlage und es wurde bereits eine Metallabscheidung durchgeführt. Aus diesem Grund können diese Abfallströme als Sekundär- bzw. Tertiärabfälle bezeichnet werden. Die Versuchsmaterialien sind in Abbildung 2 dargestellt.



Abb. 2: Vergleich Inputmaterialien Elektro(nik)-Schrott (links) und Shredderschwerfraktion (rechts).

Die beiden Materialien unterscheiden sich optisch deutlich voneinander. Dabei sind neben der Korngröße auch Unterschiede der Zusammensetzung erkennbar. Während im Elektro(nik)-Schrott (links) flächige Kunststoffe dominieren und einzelne Kabel zu erkennen sind, ist die Shredderschwerfraktion (rechts) erdiger und die einzelnen Bestandteile sind schwerer voneinander zu unterscheiden. Der Wassergehalt beim Elektroschrott lag bei 3 Ma.-%, die Shredderschwerfraktion wies einen Wassergehalt von 14 Ma.-% auf. Die Schüttdichte des Elektroschrotts betrug $0,6 \text{ kg/l}$ und die der Shredderschwerfraktion $0,8 \text{ kg/l}$.

2.3 Klassierung

Im ersten Schritt wurden zunächst beide Proben bei den Siebschnitten $0,63 \text{ mm}$, 1 mm , 2 mm , $3,15 \text{ mm}$, 4 mm , $6,3 \text{ mm}$, 8 mm , 10 mm , $12,5 \text{ mm}$, 14 mm , 16 mm und 20 mm gesiebt. Zur besseren Vergleichbarkeit der beiden Stoffströme wird im Folgenden nur der Korngrößenbereich von $0 - 10 \text{ mm}$ miteinander verglichen. Es zeigte sich, dass 10 Ma.-% der Shredderschwerfraktion $> 10 \text{ mm}$ waren. Da beide Materialströme aus derselben Aufbereitungsanlage stammen, wurde die Annahme getroffen, dass die technische Siebung des Elektroschrotts bei 10 mm ebenfalls

einen Siebwirkungsgrad von 90 % aufweisen würde. Die Siebdurchgangskurven beider Feinfraktionen sind unter Berücksichtigung der o.g. Annahme in Abbildung 3 dargestellt.

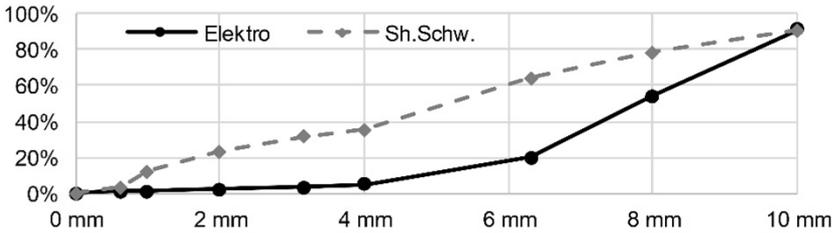


Abb. 3: Siebdurchgangskurven des Elektro(nik)-Schrotts und der Shredderschwerfraktion.

Ein Vergleich der Kurven zeigt die Unterschiede in der Korngrößenverteilung der beiden Materialien deutlich auf. Bereits bei einem Siebschnitt von 8 mm beträgt der Unterschied 25 %-Punkte. Diese Differenz vergrößert sich bei 6,3 mm auf 44 %-Punkte.

Die Korngrößenverteilung zeigt, dass beim Siebschnitt 3,15 mm die beiden Materialien 28 %-Punkte auseinanderliegen. Im Elektroschrott sind lediglich 3 Ma.-% kleiner 3 mm, bei der Shredderschwerfraktion hingegen sind 31 Ma.-% kleiner 3 mm. Die Massendifferenzen im Bereich < 3 mm stellen eine Herausforderung für die Siebklassierung dar. (Schmidt 2003)

2.4 Zusammensetzung

Zur Bestimmung der Zusammensetzung wurden im Anschluss an die Siebung die einzelnen Stoffgruppen händisch sortiert. Abbildung 4 zeigt die Zusammensetzung des Elektro(nik)-Schrotts und die der Shredderschwerfraktion. Diese unterscheiden sich stark voneinander, während im Elektro(nik)-Schrott Kunststoffe den größten Massenanteil haben, besteht die Shredderschwerfraktion zu mehr als 50 Ma.-% aus der Fraktion < 3 mm (32 Ma.-%) und einer Restfraktion (21 Ma.-%). Die Fraktionen < 3 mm wurden nicht sortiert.

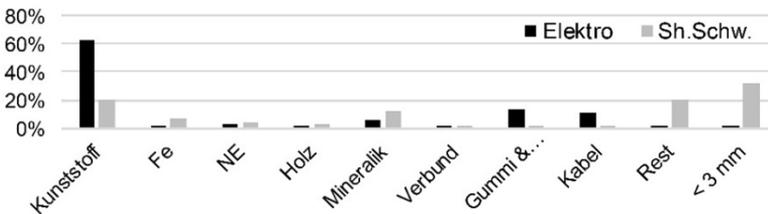


Abb. 4: Zusammensetzungen des Elektro(nik)-Schrotts und der Shredderschwerfraktion.

Da Kabel eine potentielle Ziel-Stoffgruppe der Aufbereitung sind, wurden diese bei der händischen Sortierung als eigenständige Stoffgruppe sortiert. Aufgrund der Beschaffenheit von Kabeln können diese, je nach Art und Betrachtungsweise, in eine von drei (bzw. vier) Kategorien eingeordnet werden. Da Kabel aus einer Kunststoffummantelung und einer Metallader bestehen, können diese als Verbund, Kunststoff oder NE-Metall gewertet werden. In der mechanischen Aufbereitung entscheidet die Art der Aufbereitung, in welche Fraktion die Kabel separiert werden. Kommt es beispielsweise durch die Zerkleinerung zu einer Verkugelung der ursprünglich läng-

lichen Kabel, können diese mit Hilfe eines Wirbelstromscheiders abgetrennt werden und gelangen in das NE-Konzentrat. Ist eine Nahinfrarot (NIR)-Sortierung vorgesehen, können die Kabel je nach Kunststoffummantelung und ausreichend feiner Auflösung des Sortieraggregats in das Kunststoffkonzentrat gelangen. Bei einer händischen Nachreinigung können Kabel je nach Sortieraufgabe der Stoffgruppe der Verbunde oder dem Rest zugeordnet werden.

Abbildung 5 zeigt die Kornklassenspezifische Zusammensetzung beider Probenmaterialien. Auffallend ist der hohe Kunststoffanteil im Elektro(nik)-Schrott. Bis auf die Kornklassen 3,15 – 4 mm und 4 – 6,3 mm macht Kunststoff immer den größten, Kornklassenspezifischen Massenanteil aus. In den beiden kleinsten Kornklassen ist der Kabelanteil größer als der Kunststoffanteil. In den Fraktionen > 6,3 mm liegt der Kabelanteil bei maximal 14 Ma.-%. Die beiden Fraktionen < 6,3 mm (3,15 – 4 mm und 4 – 6,3 mm) weisen hingegen 50 Ma.-% und 38 Ma.-% Kabel auf. Im Gegensatz dazu enthält die Shredderschwerfraktion weniger als 1 Ma.-% Kabel.

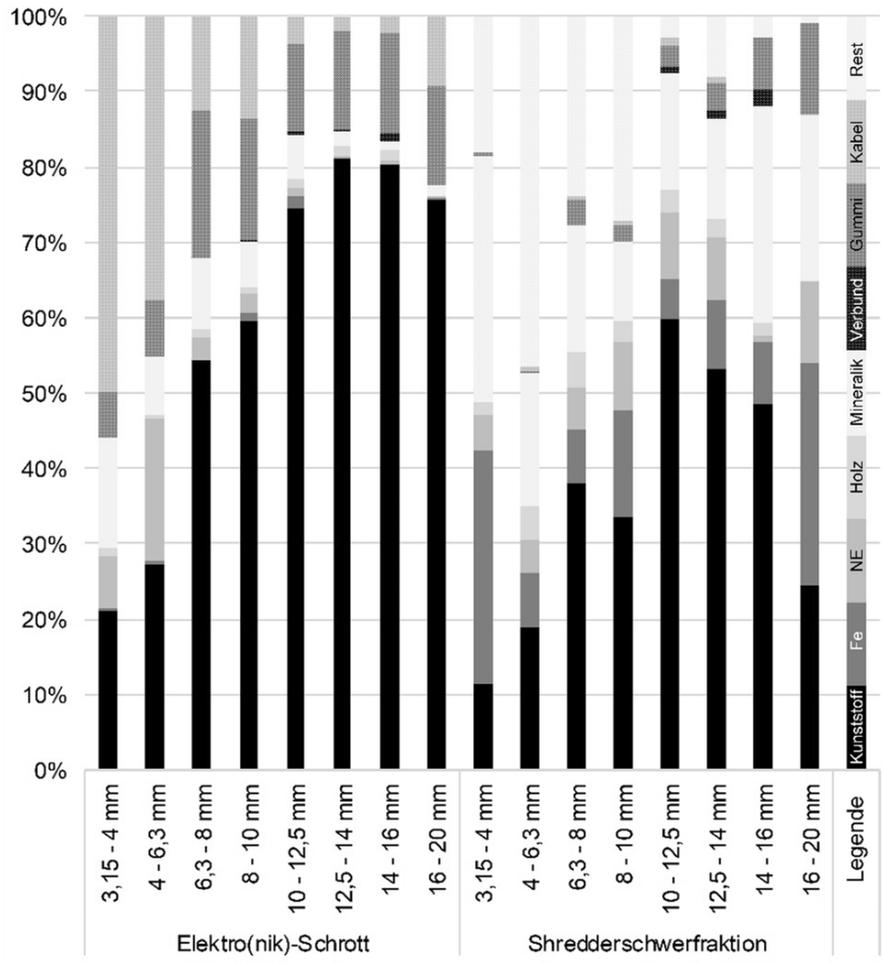


Abb. 5: Korngrößen-spezifische Zusammensetzungen des Elektro(nik)-Schrotts und der Shredderschwerfraktion.

Abbildung 6 zeigt die Fraktionen 4 – 6,3 mm und 6,3 – 8 mm des Elektro(nik)-Schrotts im direkten Vergleich. Die Anreicherung der Kabel in der Fraktion 4 – 6,3 mm ist deutlich erkennbar.



Abb. 6: Vergleich der Fraktionen 4 - 6,3 mm (links) und 6,3 - 8 mm (rechts) des Elektro(nik)-Schrotts.

Durch die Wahl der passenden Siebschnitte, ist es möglich, eine Anreicherung der Kabel (< 6,3 mm) und Kunststoffe (> 6,3 mm) zu erzielen. Aufgrund dieser Beschaffenheit ist für diesen Elektro(nik)-Schrott eine „Sortierung durch Klassierung“ möglich. Obgleich die Fraktionen < 3,15 mm nicht sortiert wurden, weisen diese nach optischer Prüfung hohe Mineralianteile auf, sodass eine Absiebung der Fraktionen < 2 mm oder < 3 mm für eine Aufbereitung sinnvoll ist.

4 FAZIT

Abfälle, die unter die Abfallschlüsselnummer 19 12 12 fallen, sind sonstige Abfälle aus mechanischen Behandlungsanlagen (AVV 2001). Feinfraktionen < 20 mm werden häufig energetisch verwertet oder als Deponiebaustoff verwendet. Die Aufbereitung dieser Materialien ist aufgrund der geringen Wertstoffgehalte und der somit vergleichsweise komplexen Aufbereitung in der Regel nicht wirtschaftlich. Ein Vergleich der beiden untersuchten Materialien (Elektro(nik)-Schrott und Shredderschwerfraktion) zeigt anhand der Korngrößenverteilung und der Zusammensetzung, dass eine Aufbereitung mit dem gleichen Prozess nicht zielführend ist. So sind die Anforderungen an die Klassierung der Shredderschwerfraktion (31 Ma.-% < 3 mm) deutlich abweichend zu der Klassierung des Elektro(nik)-Schrotts (ca. 3 Ma.-% < 3 mm). Aufgrund der Zusammensetzungen unterscheiden sich die Ziele der Aufbereitung. Während beim Elektro(nik)-Schrott die Anreicherung der Kabel (ca. 10 Ma.-% des Inputmaterials) ein Ziel sein kann, ist die Rückgewinnung der Fe- und NE-Metalle bei der Shredderschwerfraktion ein anzustrebendes Ziel. Um die Aufbereitung dieser Materialien in einer Anlage zu ermöglichen, müssen weitere Daten zu den unterschiedlichen Abfallströmen erfasst werden. Des Weiteren muss die verwendete Anlage modular aufgebaut sein, um den Prozess an das Material spezifisch anzupassen, um ein maximales Wertstoffausbringen zu generieren.

LITERATUR

- Martens, H.; Goldmann, D.: Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis. ISBN 978-3-658-02785-8. Springer Verlag, Berlin, 2016)
- Schmidt, P.: Sieben und Siebmaschinen: Grundlagen und Anwendung, Copyright © 2003 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KG aA, Weinheim, ISBN: 3-527-30207-7
- UBA: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/altfahrzeuge#textpart-2>; abgerufen: 06.07.2018
- Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 (BGBl. I S. 3379), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2644) geändert worden ist

Aufschlusszerkleinerung von Wärmedämmverbundsystemen in einer Hammermühle

M. Simons

RWTH Aachen University, Institut für Aufbereitung und Recycling, Aachen, Deutschland

A. Feil

RWTH Aachen University, Institut für Aufbereitung und Recycling, Aachen, Deutschland

KURZFASSUNG: Im Beitrag wird aufgezeigt, welchen Einfluss verschiedene Komponenten eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) auf das Zerkleinerungsergebnis und auf die Konzeptionierung eines Aufbereitungsprozesses haben. Aus Gründen der Reproduzierbarkeit wurden bei der Versuchsdurchführung WDVS-Probekörper mit expandiertem Polystyrol (EPS) definierter Größe, Zusammensetzung und Gewicht verwendet. Die Probekörper wurden in diskontinuierlichen Zerkleinerungsversuchen im Technikumsmaßstab mit einer Hammermühle zerkleinert. Die Zerkleinerungsergebnisse werden diskutiert.

1 EINLEITUNG

WDVS werden vorrangig eingesetzt, um den Wärmeverlust von Gebäuden zu verringern. Im Bereich der Gebäudehülle werden WDVS bereits seit 1952 zur Energieeinsparung eingesetzt. Je nach Anforderung an das Dämmsystem sowie das ästhetische Erscheinungsbild werden unterschiedliche Komponenten mit verschiedenen Eigenschaften verwendet. Als Dämmstoff wird seit den 1970er Jahren flächendeckend EPS an Fassaden angebracht. EPS, als Dämmstoff für Fassaden, hatte im Jahr 2016 einen Marktanteil von ca. 63 %. Bezogen auf alle Einsatzgebiete für Dämmstoffe liegt der Anteil von EPS bei ca. 29 % (Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V.).

Die beim Abbruch anfallenden WDVS-Abfallmengen werden in den Statistiken des Statistischen Bundesamt als Mischfraktion in der Kategorie Baumischabfall (dt. Abfallschlüssel 17 09 04) oder als Dämmmaterialien (17 06 04) zusammengefasst (BMJV 2001). Da eine getrennte Erfassung der EPS-Mengen nicht möglich ist, kann das Abfallaufkommen nur abgeschätzt werden. Abschätzungen sowie Prognosen zukünftiger Abfallmengen wurden in verschiedenen Studien durchgeführt. Die Studie des Fraunhofer Instituts IBP geht für Deutschland im Jahr 2011 von einer EPS Abfallmenge speziell aus WDVS Abfällen von 9.400 Mg aus (Albrecht & Schwitalla 2015). Für das Jahr 2016 wurde das Aufkommen von EPS Abfällen durch die Firma Conversio mit 34.500 Mg beziffert (Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH 2016). Hier ist zu beachten, dass im Fall der Conversio-Studie der EPS Anteil aus Abbruch und Sanierung betrachtet wird, dies schließt auch den EPS Anteil aus den Bereichen Dach, Perimeter- und Trittschalldämmung ein. Das Fraunhofer Institut IBP prognostiziert für das Jahr 2050 einen Anstieg der EPS Abfallmenge aus WDVS auf 50.000 Mg. Für die Abfallmenge an EPS aus Abbruch und Sanierung wird, für das gleiche Jahr, durch die Firma Conversio ebenfalls ein Anstieg auf 85.000 Mg prognostiziert. Der Anstieg der Abfallmengen ist zeitlich zu den Produktionsmengen um die Nutzungsdauer versetzt, die auf 50 bis 70 Jahre geschätzt wird. Hierbei ist die Möglichkeit der Aufdoppelung mit einer zusätzlichen Dämmschicht noch nicht berücksichtigt. Seit den Anfängen in den 1970er Jahren bis in die 1980er Jahre wurden ca. 100.Mio. m² WDVS verlegt (Albrecht & Schwitalla 2015). Ein Vergleich verschiedener Quellen

(Albrecht & Schwitalla 2015; Clemens Deilmann 2014; Riedel 2010) ergibt, dass bis heute zwischen 700 und 900 Mio. m² WDVS verbaut wurden und voraussichtlich weitere 40 Mio. m² pro Jahr hinzukommen werden. Bei einem Umbau, einer Sanierung oder einem Abriss eines Gebäudes fallen diese Materialien als Bau- und Abbruchabfälle an. Unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer sowie einer Sanierung durch Aufdopplung sind die getroffenen Prognosen und der damit verbundene Anstieg der Abfallmengen nachvollziehbar.

Zusätzlich zu den künftig ansteigenden Abfallmengen stehen WDVS schon heute in der öffentlichen Diskussion. Aufgrund des hohen Heizwertes von EPS wurde dem Dämmmaterial seit den 1960 Jahren das Flammschutzmittel Hexabromcyclododecan (HBCD) zugefügt. HBCD wurde im Mai 2013 zur Liste der persistenten organischen Schadstoffe (Persistant Organis Pollutant: POP) hinzugefügt und unterliegt seit August 2015 der REACH Verordnung. Sowohl die Verwendung als auch das Inverkehrbringen von HBCD als Flammschutzmittel ist seit März 2016 verboten. Da HBCD seit den 1960er Jahren als Flammschutzmittel eingesetzt wurde ist davon auszugehen, dass abgebrochene WDVS mit EPS Dämmung aus Rückbau- und Sanierungsmaßnahmen HBDC enthält. Die Entsorgung von HBCD-haltigen Abfällen wird u.a. in der POP-Abfall-Überwachungsverordnung geregelt. Diese beinhaltet ein Vermischungsverbot, Nachweispflichten sowie Registerpflichten. Der Grenzwert für HBCD-haltige Abfälle liegt bei 1000 mg/kg. Abfälle, die eine Konzentration unterhalb von 1000 mg/kg aufweisen, sind nicht von der Verordnung betroffen. (BMJV 2017; Koch u.a. 2015; Mark u.a. 2015). Aus diesen Gründen ist bei der Entsorgung der bereits verbauten HBCD-haltigen Dämmstoffplatten darauf zu achten, dass diese in geeigneten Verfahren entsorgt werden (Mark u.a. 2015). Um die einzelnen Komponenten wieder in Stoffkreisläufe überführen zu können und um eine Steigerung der Verwertbarkeit zu erreichen, ist eine Trennung der Komponenten erforderlich, was nachfolgend mittels einer angestrebten selektiven Zerkleinerung untersucht wird.

2 GRUNDLAGEN

Für die Konzipierung eines Aufbereitungsprozesses für WDVS ist die Kenntnis über die Materialzusammensetzung Voraussetzung. Die Zusammensetzung hängt von vielen Faktoren, wie z.B. der Wandoberfläche, ab und kann sich von Gebäude zu Gebäude ändern. EPS wird zudem nicht nur bei der Fassadendämmung, sondern ebenfalls in den Bereichen Dach, Perimeter- und Trittschalldämmung eingesetzt. Diese unterschiedlichen Anwendungen stellen spezifische Anforderungen an das Dämmmaterial, die Art der Befestigung, die Verarbeitung und an den Rückbau. Zur Erfüllung all dieser technischen und ästhetischen Anforderungen an WDVS wird eine Vielzahl an Komponenten eingesetzt. (Bunge R. 2012; Kranert 2010)

In Abbildung 1 ist schematisch der Aufbau eines WDVS dargestellt. Auf die Gebäudehülle, die meist aus Mauerwerk oder Beton besteht, wird der Dämmstoff (2) mit Hilfe von Klebern (1) aufgebracht. Dieser kann zusätzlich mit Dübeln oder Schienensystemen mechanisch befestigt werden. Auf die Außenseite des Dämmstoffes wird ein Armierungsmörtel (3) samt Armierungsgewebe (4) aufgebracht, um Zug- und Druckspannungen aufzunehmen. Die letzte Schicht des Verbundes (5) dient dem Schutz der inneren Schichten sowie der ästhetischen Wirkung und kann aus einer einfachen Putzschicht, Klingerriemchen oder Steinplatten bestehen.

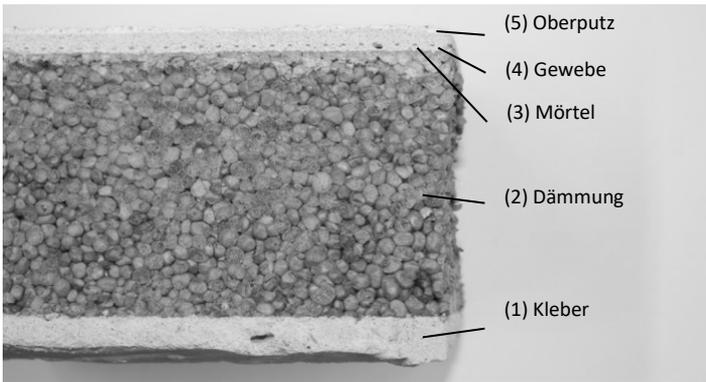


Abb. 1: Aufbau WDVS [Quelle: I.A.R.].

Der Rückbau von WDVS erfolgt derzeit größtenteils maschinell. Mit Hilfe eines Baggers wird das gesamte WDVS von der Wand abgeschabt. Eine Trennung in sortenreine Fraktionen wie Dämmstoff, Mörtel, Putzgewebe und Dübel ist dabei nur bedingt möglich. Wird der Rückbau händisch mit Stoßeisen, Spaten und Spachteln durchgeführt, ist eine Trennung von Putz, Dämmung und sonstige Komponenten möglich. Diese Vorgehensweise ist im Vergleich zum maschinellen Abschälen aber deutlich zeitintensiver. Eine weitere Rückbautechnik ist das sogenannte Strippen. Dabei wird das Putzsystem, bestehend aus Armierungsgewebe, Unter- und Oberputz, in schmalen Bahnen an der Fassade eingeschnitten und vom Dämmstoff, ohne nennenswerte Anhaftung von Putzresten an EPS, abgezogen. Im Anschluss wird der Dämmstoff maschinell oder händisch von der Gebäudewand abgetrennt. Durch das Strippen ist es möglich, sortenreine Fraktionen zu erzeugen. Ebenso wie der händische Rückbau mit Stoßeisen ist diese Methode aber sehr zeit- und somit kostenintensiv.

Zudem können sich die geänderten Konstruktionsregeln von WDVS in Folge der erhöhten Brandschutzanforderungen negativ auf die Sortenreinheit der einzelnen Fraktionen auswirken. Eine stärkere Befestigung mit zusätzlichen Dübelverbindungen erhöht den Aufwand des Abschälens, ebenso kann eine höhere Anzahl von Brandschutzriegeln aus nicht brennbaren Dämmstoffen dazu führen, dass sich der Trennaufwand der einzelnen Komponenten erhöht. (Albrecht & Schwitalla 2015; Asam 2017)

In der Abfallwirtschaft ist die Zerkleinerung ein zentraler Aufbereitungsprozess, um Stoffströme für die nachfolgenden Prozesse vorzubereiten. Aufgaben der Zerkleinerung sind u.a. der Aufschluss vorliegender Verbundkonstruktionen bzw. die Freilegung von Wertstoffen sowie die Veränderung der Korngrößenverteilung (Martens 2011; Kranert 2010). Bei der Aufbereitung von armierten Stahlbeton in Prallbrechern wird durch die unterschiedlichen Zerkleinerungseigenschaften der mineralischen sowie der metallischen Fraktion eine selektive Zerkleinerung erreicht. In WDVS liegen neben spröden mineralischen Komponenten, wie z. B. Kleber oder Putz, elastische bis zäh elastische Komponenten wie EPS und Armierungsgewebe vor. Demnach sind grundsätzlich Voraussetzungen für eine selektive Zerkleinerung gegeben, die aber durch die flächige Befestigung der einzelnen Schichten erschwert werden können.

3 METHODIK

Als Zerkleinerungsaggregat wurde eine Hammermühle (HM) eingesetzt (Abbildung 2). Das Material wird durch den Aufgabeschacht in den Zerkleinerungsraum in den Bereich des schnelllaufenden Rotors (1) geführt. Für die Zerkleinerung sind am Rotor einzeln gelagerte Schlagwerkzeuge (2) versetzt angebracht, die sich in Abhängigkeit der Umdrehungsgeschwindigkeit radial ausrichten. Die Zerkleinerungswirkung erfolgt im Wesentlichen durch Schlagbeanspruchung, kombiniert mit prallender und scheren- der Beanspruchung. Um die obere Korngröße des Austragsproduktes zu definieren, ist die Hammermühle mit einem Austragsrost (4) ausgestattet. (Kranert 2010; Schubert 1989)

Aufgrund der möglichen Materialvielfalt wurde auf den Einsatz von rückgebauten WDVS Material verzichtet. Für die hier dargestellten Versuche wurden Probekörper hergestellt. Hierzu wurde eine 80 mm dicke Dämmschicht aus EPS, mineralischem Putz, Armierungsmörtel und Kleber sowie glasfaserverstärktes Armierungsgewebe verwendet. Der schematische Aufbau der Probekörper ist in Abbildung 1 (links) dargestellt. Aus Gründen der Vergleich- bzw. Reproduzierbarkeit wurden ausschließlich Probekörper identischer Form und gleichen Gewichtes verwendet.

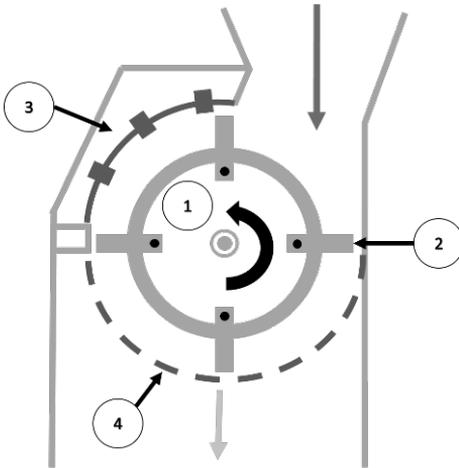


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Hammermühle [Quelle: I.A.R.].

Die Probekörper wurden in der Hammermühle mit und ohne Austragsrost zerkleinert. Jeder Probekörper wurde einzeln aufgegeben und aufgefangen. Anhand der erreichten Zerkleinerungsergebnisse wurden qualitativ der erreichte Verbundaufschluss sowie der Zerkleinerungserfolg der Beanspruchung für die einzelnen Komponenten festgestellt. Im Anschluss an die Begutachtung wurden die Proben gesiebt, um die Massenverteilung der zerkleinerten Probekörper nach Korngröße zu bestimmen. Anhand dieser Ergebnisse werden mögliche Aufbereitungsziele, prozesstechnische Optionen, Umsetzungsmöglichkeiten und zurückzugewinnende Fraktionen diskutiert.

4 ERGEBNISSE

In Abbildung 2 ist in Bildabschnitt 1 ein Probekörper vor der Zerkleinerung dargestellt. In Bildabschnitt 2 und 3 sind exemplarisch die Zerkleinerungsergebnisse zweier Versuche dargestellt. In Bildabschnitt 2 ist das Ergebnis ohne Austragsrost und im Bildabschnitt 3 mit Austragsrost dargestellt.

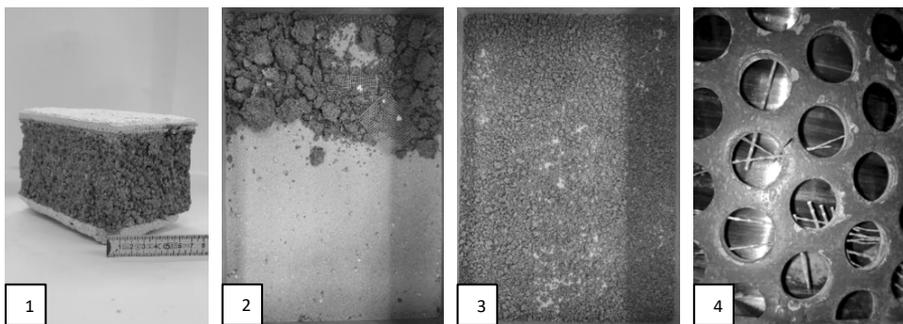


Abb. 3: Probekörper (1); Zerkleinerungsergebnis mit (2) und ohne (3) Austragsrost; Armierungsgewebe (4) [Quelle: I.A.R.].

Nach einer ersten qualitativen Begutachtung des Zerkleinerungsergebnisses lassen sich mehrere spezifische Merkmale feststellen: Die Beanspruchung mit Schlag zerkleinert den Verbund und legt die einzelnen Komponenten nahezu vollständig frei. Die Zerkleinerung ohne Austragsrost hat dazu geführt, dass 84 % von der Input-Masse im Bereich < 10 mm vorliegen. Der EPS-Anteil hingegen liegt in einem breiten Körnungsband von < 2 mm bis $> 31,5$ mm vor und weist teilweise noch mineralische Anhaftungen auf. Die Zerteilung des Armierungsgewebes in zwei Stücke ist der Geometrie des Aufgabeschachtes geschuldet und geschah vor der eigentlichen Zerkleinerung in der Hammermühle. Durch die Zerkleinerung wurde das Armierungsgewebe nahezu nicht zerkleinert.

Die Verwendung eines Austragsrostes führt zu einem gänzlich anderen Ergebnis: Die obere Korngröße des Materials ist durch das Austragsrost auf 20 mm definiert. Das entstandene Körnungsband ist im Vergleich zur Zerkleinerung ohne Austragsrost enger und wirkt optisch gleichmäßiger. Der Verbund wurde aufgeschlossen und die verschiedenen Komponenten liegen frei vor. Im Gegensatz zur Zerkleinerung ohne Austragsrost liegen 95 % der Masse im Bereich < 10 mm vor. Ein weiterer Unterschied ist, dass das Armierungsgewebe nicht mehr als solches zu identifizieren ist. Lediglich einzelne Filamente des Gewebes sind zu erkennen. Im Bildabschnitt 4 der Abbildung 2 kann entnommen werden, dass das Armierungsgewebe aufgrund der Austragsroste nicht ausgetragen wurde und im Zerkleinerungsraum verblieben ist.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Ergebnisse der Zerkleinerung in der Hammermühle zeigen, dass ein Aufschluss des Verbundes in seine Komponenten sowohl mit und ohne den Einsatz eines Austragsrostes erreicht wird. Im Falle der Zerkleinerung mit Austragsrost sind keinerlei Anhaftungen von Mineralik an EPS-Partikeln oder am Armierungsgewebe erkennbar. Das Armierungsgewebe wird in seine einzelnen Filamente zerlegt und teilweise ausgetragen, jedoch verbleibt ein Großteil des Gewebes im Zerkleinerungsraum und könnte bei großen Aufgabemengen oder bei weit auseinanderliegenden Leerungsintervallen zum Stillstand des Aggregats führen. Die entstandenen länglichen Partikel mit kleinem Durchmesser lassen sich nicht ohne Aufwand ausschleusen. Dieses Problem könnte durch die Verwendung einer Leichtgutklappe gelöst werden oder durch den Verzicht eines Austragsrostes. Der Vorteil eines Betriebes ohne Austragsrost ist, wie in Bildabschnitt 2 der Abbildung 2 dargestellt, dass die Korngröße des Armierungsgewebes nicht herabgesetzt werden würde und aus diesem Grund durch eine Siebung aussortiert werden könnte. Das Armierungsgewebe könnte dann als sortenreine Fraktion an entsprechende Verwerter weitergegeben werden.

Der Verzicht auf ein Austragsrost hat ein schlechteres Aufschlussergebnis sowie eine breitere Korngrößenverteilung zur Folge, vgl. Bildabschnitt 2 von Abbildung 2. An den groben EPS-Stücken sind noch Rückstände der mineralischen Bestandteile anhaftend und liegen im Korngrößenbereich von < 2 mm bis > 31,5 mm vor. Für nachgeschaltet Aufbereitungsverfahren könnten damit die nötigen Voraussetzungen bzgl. Reinheit und Korngröße für eine Weiterverwendung dieser Fraktionen nicht erfüllt werden. Um den nötigen Aufschluss und die entsprechende Korngröße zu erreichen, könnte ein weiterer Zerkleinerungsschritt erforderlich sein. Um die EPS-Fraktion von der mineralischen Fraktion zu trennen, würde sich aufgrund des Dichteunterschieds z.B. eine Windsichtung anbieten. Zu beachten ist jedoch, dass durch die Beanspruchung der mineralischen Fraktion eine Korngröße < 2 mm erzeugt wird, die in Kombination mit dem schnelllaufenden Aggregat zu einer starken Staubeentwicklung führt. Hinzu kommt, dass sich die Staubpartikel auf die EPS-Partikel legen, wodurch diese bei einer Windsichtung mit in die Leichtgutfraktion ausgetragen werden und die EPS Fraktion verunreinigen könnten.

LITERATUR

- Albrecht, Wolfgang & Schwitala, Christoph 2015. Rückbau, Recycling und Verwertung von WDVS.: Möglichkeiten der Wiederverwertung von Bestandteilen des WDVS nach dessen Rückbau durch Zuführung in den Produktionskreislauf des Dämmstoffs bzw. Downcycling in die Produktion minderwertiger Güter bis hin zur energetischen Verwertung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. (Forschungsinitiative Zukunft Bau, 2932).
- Asam, Claus 2017. Dämmmaßnahmen an Gebäudefassaden: BBSR-Analysen Kompakt 11/2017. Bonn: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- Bunge R. 2012. Mechanische Aufbereitung: Primär- und Sekundärrohstoffe. 1. Aufl.: Wiley VCH Verlag GmbH & Co.
- Clemens Deilmann 2014. Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau. Dresden.
- Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH 2016. Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2015: Kurzfassung.
- Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme e.V. Dämmstoffe 2016.
- Koch, Christoph, u.a. 2015. Review of hexabromocyclododecane (HBCD) with a focus on legislation and recent publications concerning toxicokinetics and -dynamics. Environmental pollution (Barking, Essex : 1987) 199, 26–34.
- Kranert, Martin (Hg.) 2010. Einführung in die Abfallwirtschaft. 4., vollständig aktualisierte u. erw. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner. (Studium).
- Mark, Frank E., u.a. 2015. Destruction of the flame retardant hexabromocyclododecane in a full-scale municipal solid waste incinerator. Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA 33(2), 165–174.
- Martens, Hans 2011. Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.
- 2017: POP-Abfall-ÜberwV. Online im Internet: URL: https://www.gesetze-im-internet.de/pop-abfall_berwv/BJNR264410017.html [Stand 2018-07-05].
2001. Abfallverzeichnisverordnung: AVV. Online im Internet: URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/avv/AVV.pdf> [Stand 2018-07-05].
- Riedel, Werner 2010. Wärmedämm-Verbundsysteme: Von der Thermohaut bis zur transparenten Wärmedämmung. 2., überarb. Aufl. Waldshut-Tiengen, Stuttgart: Baulino; Fraunhofer-IRB-Verl.
- Schubert, Heinrich 1989. Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe: Kennzeichnung von Körnerkollektiven, Kennzeichnung von Aufbereitungs- und Trennerfolg, Zerkleinerung, Klassierung. 4., stark überarb. Aufl. Leipzig: Dt. Verl. für Grundstoffindustrie. (Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe / von Heinrich Schubert, 1).

Bestimmung des Biomasseanteils in Abfällen und EBS – Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Bilanzenmethode

T. Schwarzböck, P. Aschenbrenner, S. Spacek, H. Rechberger & J. Fellner
Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, Wien,
Österreich

KURZFASSUNG: Die Charakterisierung von Abfällen und Ersatzbrennstoffen (EBS) in Hinblick auf ihre Klimarelevanz oder Biomasseanteile ist mit analytischen Herausforderungen verbunden. Die Bilanzenmethode (BM) und adaptierte Bilanzenmethode (aBM) konnten dafür als valide Alternativen zu bisher üblichen Methoden identifiziert werden. Insbesondere kann die BM zeitlich hoch aufgelöste Daten zu einer Reihe von Parametern liefern. Dadurch könnten die BM-Werte auch zur Überwachung der Abfallzusammensetzung am Rost dienlich sein. Validierungsarbeiten zur aBM zeigen, dass eine hohe Genauigkeit der Methode bei Anwendung auf EBS erwartbar ist, und zwar unabhängig von der EBS-Herkunft. Der Analysenaufwand der aBM könnte durch Erstellung einer Datenbank mit relevanten Eingangsdaten sowie durch Vernachlässigung eines Eingangsparameters (Sauerstoffgehalt) reduziert werden. Durch Letzteres ist jedoch mit einer reduzierten Genauigkeit zu rechnen.

1 EINLEITUNG

Eine Substitution von fossilen Energieträgern in Industrieanlagen durch Ersatzbrennstoffe (EBS) kann Kosten für Primärrohstoffe senken und auch den Ausstoß von klimarelevantem CO₂ reduzieren. Einzelne eingesetzte EBS enthalten jedoch beides, sowohl klimaneutrale Biomasse als auch wesentliche Anteile an Materialien fossilen Ursprungs (Kunststoffe). Während in Industrieanlagen die Fragestellung der eingesparten CO₂-Emissionen im Vordergrund steht, gilt es in Müllverbrennungsanlagen (MVA) auch die aus Biomasse umgewandelte Energie zu quantifizieren. Eine zuverlässige Charakterisierung von Abfällen und EBS in Hinblick auf ihre Klimarelevanz und den biogenen Heizwertanteil ist jedoch aufgrund der hohen Heterogenität und zeitlicher Variation der Abfallzusammensetzung nicht nur probenahmetechnisch eine Herausforderung, sondern wirft auch Fragestellungen zur analytischen Differenzierung zwischen Biomasse und Kunststoffen auf. Drei Methoden wurden im Standard EN 15440:2011 zur Bestimmung des Biomasseanteils in festen Sekundärbrennstoffen ausgearbeitet: Manuelle Sortierung (MS), Selektive Lösemethode (SLM) und Radiokarbonmethode (¹⁴C-Methode). Kürzlich wurde zudem die Bilanzenmethode (BM) im Standard ISO 18466:2016 beschrieben. Eine weitere Entwicklung der BM stellt die adaptierte Bilanzenmethode dar (aBM). Jede der genannten Methoden ist verbunden mit methodischen und/oder wirtschaftlichen Einschränkungen. Bspw. ermöglichen nur BM und ¹⁴C-Methode eine Analyse ohne direkte Probenahme des Abfalls (Analyse des Rauchgasstroms bzw. Auswertung von Betriebsparametern). MS, SLM, ¹⁴C-Methode und aBM können vor der Verbrennung eingesetzt werden. Eine Gegenüberstellung der Methoden findet sich in Schwarzböck (2018).

Vorliegende Arbeit basiert auf detaillierten Untersuchungen zur Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit der BM und aBM innerhalb der letzten drei Jahre:

- Großangelegte Anwendung der **BM** in Österreich, wobei fast 90 % des Abfallinputs in MVA über einen Zeitraum von einem Jahr charakterisiert wurden.
- Validierungsarbeiten zur **aBM** für die Anwendung auf EBS. Modellmischungen und reale Ersatzbrennstoffproben wurden eingehend untersucht und die aBM-Ergebnisse mit denen von standardisierten Methoden verglichen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, die wesentlichen Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen zusammenzufassen. Weiters wird untersucht inwiefern die Ermittlung notwendiger Daten für die Auswertung mittels aBM in Zukunft vereinfacht werden kann. (notwendige Eingangsdaten sind in Tab. 1 zusammengefasst).

Tab. 1: Übersicht zu beiden Versionen der Bilanzenmethode und notwendige Eingangsdaten.

	Standardisiert	Zielanwendung	Notwendige Eingangsdaten	
Bilanzenmethode (BM)	✓	MVA	Betriebsdaten der MVA	+ TOX_F, TOX_B Elementarzusammensetzung der biogenen und fossilen Materialien ¹
Adaptierte Bilanzenmethode (aBM)	×	EBS	TOX_{EBS} Elementarzusammensetzung des EBS ¹	+ TOX_F, TOX_B Elementarzusammensetzung der biogenen und fossilen Materialien ¹

¹ alle Elementargehalte bezogen auf wasser- und aschefreie Substanz (waf).

2 UNTERSUCHUNGEN UND METHODEN

2.1 Prinzip der Bilanzenmethode

Die Bilanzenmethode basiert auf der signifikant unterschiedlichen Elementarzusammensetzung von biogenen und fossilen Materialien (insbesondere des Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalts). Dadurch kann einerseits durch die Menge an emittierten CO₂ und Restsauerstoff in der Verbrennungsluft von MVAn auf das verbrannte Material geschlossen werden (BM), andererseits kann auch eine Bestimmung der Elementarzusammensetzung im Labor Aufschluss über den Anteil an biogenen und fossilen Materialien geben (aBM). Voraussetzung ist die Kenntnis der im zu untersuchenden Material vorliegenden Elementarzusammensetzung der fossilen und biogenen Materialien (TOX_F und TOX_B). Beide werden auf wasser- und aschefreier Basis verwendet, wodurch sie basierend auf bisherigen Erkenntnissen nur geringen Schwankungen unterlegen sind und bspw. für Abfälle in MVAn im Vorfeld bestimmt werden können (z.B. mittels vorhandener Sortieranalysen und Analysen einzelner Abfallfraktionen, Statistiken zu produzierten Kunststoffmengen). Für die Auswertung mittels BM und aBM werden Massen- und Energiebilanzen aufgestellt, die jeweils die unbekanntenen Massenanteile biogen und fossil beinhalten. Die Koeffizienten der Massenanteile beschreiben jeweils eine Abfalleigenschaft und werden aus MVA-Betriebsdaten abgeleitet (z.B. CO₂-Gehalt im Rauchgasstrom, Dampfproduktion). Die aBM bedient sich Massenbilanzen, die jeweils für ein Element erstellt werden (C, H, O, N, S). Ausgleichsrechnungen auf Basis der Bilanzgleichungen führen zum Erhalt der Massenanteile biogen und fossil. Details zu BM und aBM sind u.a. in Fellner et.al. (2007), und Fellner et al. (2011) zu finden.

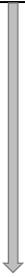
2.2 Anwendung der Bilanzenmethode auf Österreichs Müllverbrennungsanlagen

Ausgehend von Stundenmittelwerten wurden Betriebsparameter von 10 österreichischen MVAn mittels BM ausgewertet. Die betrachtete Periode war das Jahr 2014, in dem rund 2.6 Mio Tonnen Abfälle in Österreichs MVAn verwertet wurden. Diverse abfallcharakterisierende Parameter wurden in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung für jede MVA erstellt; u.a. biogener und fossiler Massenanteil, biogener Heizwertanteil, fossile CO₂-Emissionensfaktoren, Wassergehalt. Vorweg wurden die Betriebsdaten auf ihre Plausibilität überprüft (anhand Überlegungen zu chemisch-physikalischen Zusammenhängen zwischen Heizwert, Rauchgasvolumen und Rauchgaszusammensetzung) und ggfs. Daten von der Auswertung ausgeschlossen (z.B. wenn die CO₂-Messungen im Rauchgas nicht mit einer Sauerstoffzehrung der Verbrennungsluft einhergeht, die aus dem abgeleiteten Kohlenstoffgehalt des Abfalls zu erwarten wäre).

2.3 Untersuchungen zur Reduzierung des Analyseaufwandes der aBM

Für die aBM sind neben der Elementarzusammensetzung des zu untersuchenden EBS auch Werte zur elementaren Zusammensetzung der fossilen und biogenen Materialien im EBS (auf wasser- und aschefreier Basis) (TOX_F und TOX_B) notwendig (Tab. 1). Diese sind (zumeist) einmalig zu erheben, was aber einen erheblichen Arbeitsaufwand bedeuten kann. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass *EBS-spezifisch* erhobene Daten zu TOX_F und TOX_B zu aBM-Ergebnissen mit hoher Genauigkeit führen. Gleichzeitig zeigt sich jedoch auch, dass die Schwankungen der erhobenen TOX_F und TOX_B -Werte zwischen verschiedenen EBS nur sehr gering ausfallen (insbesondere bei ähnlicher Herkunft) (Schwarzböck, 2018). Die größten Schwankungen zeigt dabei der Wert des gesamten organischen Sauerstoffs (TOO) (Variationskoeffizient zwischen 6 EBS von 5 % für TOO_B und 40 % für TOO_F). Die Erhebung von TOO ist außerdem mit zusätzlichem Aufwand verbunden, oder in anderen Laboren nicht möglich, da ein eigenes Analysegerät notwendig ist. Des Weiteren birgt die Sauerstoffbestimmung deutlich größere analytische Unsicherheiten. Aus diesen Gründen ist es gängige Praxis den Sauerstoffgehalt durch eine Differenzenrechnung zu ermitteln (Differenz zu 100 % basierend auf den anderen Hauptelementen). Ob diese Praxis für die Auswertung mittels aBM zulässig ist, wird in der vorliegenden Arbeit untersucht. Dafür wurden 4 verschiedenen Optionen festgelegt mit dem Parameter Sauerstoffgehalt im EBS (TOO_{EBS}), und TOO_F und TOO_B im Zuge der aBM-Auswertung umzugehen (siehe Tab. 2). Proben von 3 unterschiedlichen EBS wurden untersucht: Rejekt aus der Altpapieraufbereitung (EBS 1), EBS aus voraufbereiteten Siedlungsabfällen und Gewerbe- und Industrieabfällen (EBS 2) und EBS aus vorwiegend Gewerbe- und Industrieabfällen (EBS 3).

Tab. 2: Optionen zum Umgang mit dem Parameter Sauerstoffgehalt im EBS (TOO_{EBS}) und in fossilen und biogenen Materialien (TOO_F , TOO_B) im Zusammenhang mit der aBM.

	Herleitung/Bestimmung von		
	TOO_{EBS}	TOO_F , TOO_B	
 Steigender Analyseaufwand	Option 1	Vernachlässigung von TOO_{EBS}	Vernachlässigung von TOO_F , TOO_B
	Option 2	EBS-spezifisch, Differenz von 100 % und den Anteilen von TOC , TOH , TON , und TOS	EBS-spezifisch, Differenz von 100 % und den Anteilen von TOC , TOH , TON , und TOS (diese Elemente EBS-spezifisch be- stimmt)
	Option 3	EBS-spezifisch (Analysen)	Verwendung von Mittelwert aus der Litera- tur (Fellner et al, 2011)
	Option 4 ¹	EBS-spezifisch (Analysen)	EBS-spezifisch (Analysen für alle Elemen- te)

¹ bisher gewählte Option (in Schwarzböck et al, 2018).

3 ERGEBNISSE

2.4 Erkenntnisse aus der Anwendung der BM auf 10 MVAn in Österreich

Wesentliche Erkenntnisse aus der großangelegten Anwendung der BM (siehe auch Schwarzböck et al, 2016):

- Es konnten 88 % des in Österreich im Jahr 2014 in MVAn verwerteten Abfalls charakterisiert werden. Nach Plausibilitätsüberprüfungen der Anlagenbetriebsdaten liegt dieser Anteil bei 85 %. Ein derart großer „Probenumfang“ ist augenscheinlich mit keiner der anderen Bestimmungsmethoden zu vertretbaren Kosten möglich. Die Berücksichtigung großer Probenmengen ist jedoch aufgrund der Heterogenität und zeitlicher Variabilität von gemischten Abfällen unabdingbar.
- Die Variabilität in der Abfallzusammensetzung zeigt sich anhand der produzierten Daten sehr deutlich. Beispielsweise streut der biogene Heizwertanteil gemessen an Monatsmittelwerten pro Anlage zwischen 4 und 16 % relativ (im Jahresmittel liegt der biogene Heizwertanteil der Abfälle der 10 Anlagen zwischen 35.7 ± 2.4 und 61.2 ± 2.7 %). In Abb. 1 sind beispielhaft ermittelte Daten einer Anlage dargestellt, basierend auf verschiedenen zeitlichen Auflösungen. Es ist zu erkennen, dass bereits innerhalb des dargestellten Monats die Zusammensetzung des Abfalls tageweise stark schwankt.
- Die Streuung der Monatsmittelwerte bei Wirbelschichtanlagen zeigt sich stärker ausgeprägt als die der Anlagen mit Rostfeuerung. Ein Grund für diese unerwartete Beobachtung könnte der saisonabhängige EBS-Bedarf in der Industrie sein, der den Betrieb von EBS-Produktionsanlagen mitbestimmt.

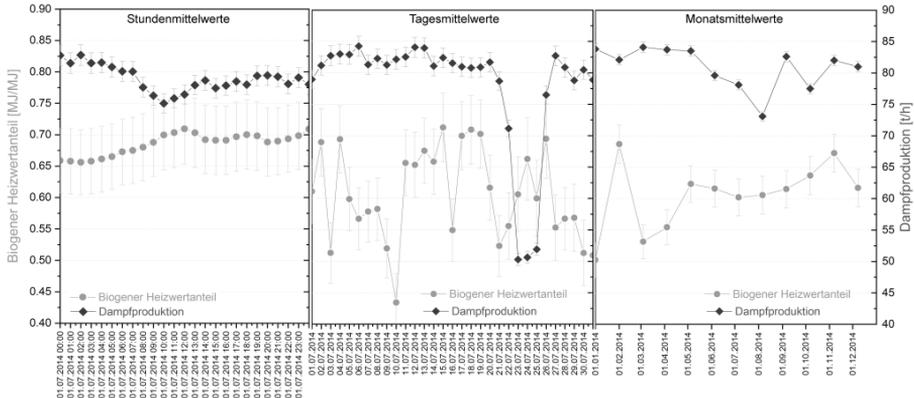


Abb. 1: Biogener Heizwertanteil (BM-Ergebnis) des Abfalls und Dampfproduktion (aus Betriebsdaten) einer MVA bei verschiedener zeitlicher Auflösung (Beispieldatensätze). (im Zeitraum 23.-25.07. war nur 1 Linie in Betrieb).

- Die Bereitstellung zeitlich hoch aufgelöster Daten (bis zu Stundenmittelwerten) der BM bietet potentiell die Möglichkeit der Überwachung der aufgegebenen Abfälle auf den Rost. Bspw. wurde erkannt, dass sich große Schwankungen der Dampfproduktion teils in der Zusammensetzung des Abfalls wiederfinden. Tendenziell ist bspw. in Abb. 1 anhand der Stundenmittelwerte erkennbar, dass ein Anstieg an Biomasse im verbrannten Abfall einen Einbruch der Dampfproduktion verursachen könnte. Mittels Informationen der BM (z.B. Wassergehalt, Verhältnis von fossilem zu biogenem Anteil) könnte der Abfall im Bunker besser durchmischt werden und eine stabilere Dampfproduktion gewährleistet werden. Den Einsatz der BM für diese Zwecke gilt es jedoch noch zu untersuchen.
- Plausibilitätsüberprüfungen im Zuge der BM zeigten Fehler und Ungereimtheiten in den aufgezeichneten Betriebsdaten, welche zumeist durch Nachforschungen korrigiert werden konnten (hpts. betreffend Rauchgasvolumen, CO₂- und O₂-Messungen). Der Einsatz der BM in einer MVA kann also die Datenlage der Anlage verbessern und evtl. Fehldokumentationen oder Sensordrifts aufdecken.

2.5 aBM-Validierungsergebnisse und mögliche Reduzierung des Analyseaufwands

Aus den Untersuchungen zur aBM lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

- Tests mit Mischungen bekannter Zusammensetzung ergeben Abweichungen vom Sollwert von $\pm 3.0\%$ absolut (95%- Konf.int.), Tests mit 3 verschiedenen EBS ergeben Abweichungen vom Wert der ¹⁴C-Methode von $\pm 3.6\%$ absolut (95%- Konf.int.) (basierend auf der Ermittlung des fossilen Kohlenstoffanteils (Schwarzböck, 2018).
- Ein Vergleich der aBM-Ergebnisse mit denen standardisierter Methoden zeigt, dass einzig die aBM für alle 3 betrachteten EBS zuverlässige Werte liefert. Sowohl SLM als auch MS zeigen signifikante Fehleinschätzungen bei mindestens einem der EBS (Abweichungen von ¹⁴C-Methode: SLM $\pm 12.1\%$ absolut bei 95%-Konf.int., MS bis zu 14 % absolut) (Schwarzböck, 2018).
- Eine Probenaufbereitung bis zu einer Korngröße von <0.2 mm ist empfehlenswert, um eine hohe Präzision der aBM zu erlangen. Konkret konnte die Einwage der Analyseprobe in das Analysengerät als wesentlicher Faktor für die Streuung der Messwerte identifiziert werden (Schwarzböck, 2018).

- Erhobene TOX_F und TOX_B -Werte für 6 verschiedene EBS zeigten nur geringe Schwankungen zwischen den EBS, insbesondere bei Betrachtung von EBS, die aus vorwiegend Gewerbe- und Industrieabfällen produziert werden.
- Sowohl der mit der aBM verbundene Arbeitsaufwand als auch die Kosten liegen auf dem gleichen Niveau wie die Anwendung der SLM. Deutlich höhere Kosten ergeben sich für die ^{14}C -Methode (Faktor 2 bis 8) (Schwarzböck, 2018).

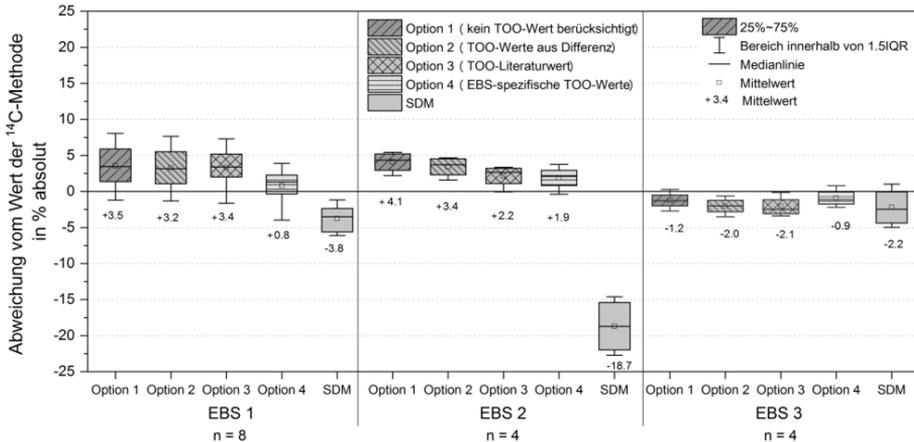


Abb. 2: Abweichungen der aBM-Ergebnisse von Ergebnissen der ^{14}C -Methode für 3 verschiedene EBS bei Verwendung unterschiedlicher TOO -Werte (Optionen wie in Tab. 2 angeführt). Ergebnisse beziehen sich auf den ermittelten fossilen Kohlenstoffanteil.

Untersuchungen zum Umgang mit den Sauerstoffmesswerten bei der aBM-Auswertung (Kapitel 2.3) zeigen, dass eine Verwendung EBS-spezifischer TOO -Werte (Option 4) mittlere Abweichungen vom Wert der ^{14}C -Methode zwischen -0.9 und +1.9 % absolut ergibt (bezogen auf den fossilen Kohlenstoffanteil) (Abb. 2). Die jeweilige leichte Über- oder Unterschätzung wird durch die Vernachlässigung der TOO -Werte (Option 1), Verwendung theoretischer TOO -Werte (Option 2) oder Literaturwerte (Option 3) verstärkt (-2.1 bis +4.1 % absolute mittlere Abweichungen). Es zeigt sich, dass die aBM-Ergebnisse von EBS 1 und EBS 2 stärker beeinflusst werden durch die Wahl des Sauerstoffgehalts. Bei EBS 2 kann dies dadurch begründet werden, dass hier die Elementarzusammensetzung der biogenen und fossilen Materialien durch hohe Anteile an sauerstoffhaltigen Kunststoffen (PA, PUR) näher beieinander liegen. Dadurch ist der Datenausgleich in Richtung biogen oder fossil weniger eindeutig durchführbar. Das Ergebnis ist damit deutlich von der Anzahl der berücksichtigten Parameter bestimmt, sprich TOO bestimmt neben TOC und TOH das Ergebnis wesentlich. Aus Abb. 2 kann außerdem erkannt werden, dass die Ungenauigkeiten, die vermeintlich durch den unterschiedlichen Umgang mit TOO hervorgerufen werden, geringer ausfallen, als die jeweilige Ungenauigkeit die sich aus der Anwendung der SLM ergibt (SLM-Ergebnisse zeigen im Mittel Abweichungen vom Wert der ^{14}C -Methode zwischen -18.7 und -2.2 % absolut).

4 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Arbeiten zur Bilanzenmethode (BM) und zur adaptierten Bilanzenmethode (aBM) zeigen, dass beide eine konkurrenzfähige Alternative zu bisher üblichen Methoden sind. Die **BM** zeichnet sich im Speziellen durch eine kosteneffiziente Berücksichtigung großer „Probenmengen“ und ihre Vielseitigkeit in Bezug auf zeitliche Auflösung der Ausgabewerte aus. Letzteres könnte zukünftig für die Optimierung eines Anlagenbetriebes hilfreich sein, da ermittelte Werte die Variabilität des Abfalls zeigen und auf eine unzureichende Bunkerdurchmischung hinweisen könnten. Detaillierte Untersuchungen dazu sind jedoch noch ausständig. Signifikante zeitliche Schwankungen sowie Unterschiede zwischen den 10 untersuchten MVAs bestätigen, dass keine allgemeingültigen Biomasseanteile in MVAs ableitbar sind.

Die **aBM** liefert bei bisher untersuchten Materialien (Modellmischungen und reale EBS) eine von der Materialherkunft unabhängige hohe Genauigkeit. Damit zeigt sie sich vielseitiger als die Selektive Lösemethode (SLM) oder die Manuelle Sortierung (MS). Zusatzaufwand ist jedoch durch die (einmalige) Erhebung der EBS-spezifischen Elementarzusammensetzung der biogenen und fossilen Materialien zu erwarten. Geringe Schwankungen zwischen EBS ähnlicher Herkunft legen jedoch nahe, dass in Zukunft aufwändige EBS-spezifische Erhebungen eingespart werden könnten, sobald eine geeignete Datenbasis mit verschiedenen EBS-Arten vorliegt. Erste Ergebnisse dazu finden sich in Schwarzböck (2018). Bei geringerem Anspruch an die Genauigkeit könnte der Analysenaufwand durch die Vernachlässigung der Sauerstoffbilanz weiter reduziert werden. Es zeigt sich beispielsweise, dass die aBM-Werte auch ohne *TOO*-Werte noch deutlich innerhalb der Genauigkeit der SLM liegen. Eine gänzliche Vernachlässigung der Sauerstoffwerte dürfte zudem in Bezug zur Genauigkeit der aBM gleichrangig einzustufen sein wie eine Berücksichtigung von *TOO*-Werten, die aus der Differenz der Hauptelemente ermittelt wurden.

5 DANKSAGUNG

Vorliegende Arbeit ist Teil einer groß angelegten Forschungsinitiative zu anthropogenen Ressourcen (Christian-Doppler-Labor für Anthropogene Ressourcen). Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung dieser Forschungsinitiative durch das Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort und die Nationalstiftung für Forschung, Technologie und Entwicklung.

LITERATUR

- Fellner, J., Aschenbrenner, P., Cencic, O., Rechberger, H. (2011) *Determination of the biogenic and fossil organic matter content of refuse-derived fuels based on elementary analyses*. Fuel 90, 3164-3171.
- Fellner, J., Cencic, O., Rechberger, H. (2007) *A new method to determine the ratio of electricity production from fossil and biogenic sources in waste-to-energy plants*. Environ Sci Technol 41, 2579-2586.
- Schwarzböck, T. (2018) *Determination of biogenic and fossil matter in heterogeneous wastes and plastic-containing mixtures – Potentials and limitations*. Doctoral thesis. TU Wien.
- Schwarzböck, T., Aschenbrenner, P., Spacek, S., Szidat, S., Rechberger, H., Fellner, J. (2018) *An alternative method to determine the share of fossil carbon in solid refuse-derived fuels – Validation and comparison with three standardized methods*. Fuel 220, 916-930.
- Schwarzböck, T., Rechberger, H., Cencic, O., Fellner, J., 2016. *Anteil erneuerbarer Energien und klimarelevante CO₂-Emissionen aus der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich*. Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft 68, 415-427.

Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen – Weiterentwicklung des RecoPhos-Prozesses

C. Ponak, V. Mally & H. Raupenstrauch

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik, Leoben, Österreich

A. Schönberg

S-PEC e.U., Graz, Österreich

KURZFASSUNG: Im Rahmen eines EU-Projektes (FP7 Eco-Innovation – RecoPhos) wurde am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik eine Pilotanlage errichtet, welche die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammaschen ermöglicht. Das Kernstück dieser Anlage ist eine Schüttung aus Grafitbruchstücken, welche induktiv auf ca. 1600°C erwärmt wird. Die Aschen schmelzen im Eingangsbereich dieses Reaktors und fließen kontinuierlich nach unten. In der vorherrschenden CO-Atmosphäre werden Phosphate zum elementaren Phosphor reduziert, welcher gasförmig aus dem Reaktor abgezogen wird. Metalle, die bei der Reduktion entstehen, und Schlacke werden flüssig gewonnen. In den letzten Jahren ist die Anlage so überarbeitet worden, dass ein computergesteuerter Betrieb und ein flexibler Reaktoraufbau möglich sind.

1 EINLEITUNG

Phosphor ist ein für das Leben essentielles und dabei nicht substituierbares Element. Sowohl Phosphor als auch Phosphaterz sind in der Europäischen Union kritische Rohstoffe. Die weltweit größten Produzenten des Erzes sind China und Marokko, Importe in die EU kommen vorwiegend aus Marokko, Russland, Syrien und Algerien und die einzige EU-interne Versorgung mit Phosphaterz erfolgt in Finnland. Das Element Phosphor wird zu 100% importiert (vorwiegend aus Kasachstan) und zu 0% recycelt (Europäische Kommission, 2017). Die Bedingungen des Erzabbaus sind in den Herkunftsländern sehr oft unter allen europäischen Standards bezüglich Arbeitssicherheit und Umweltschutz. Damit ist die Erschließung einer EU-internen Phosphorquelle nicht nur ein wirtschaftliches und rohstoffpolitisches Thema, sondern auch eine soziale Herausforderung.

Aufgrund der Ausscheidung von Phosphorverbindungen durch lebende Organismen entstehen potentielle sekundäre Quellen für den Rohstoff. Darunter befinden sich u.a. Gülle und Klärschlamm (Schnee 2017). Besonders Klärschlamm hat in den letzten Jahren an enormer Bedeutung gewonnen. Die wichtigsten Verwertungs- bzw. Behandlungswege von Schlämmen aus der kommunalen Abwasserreinigung in der DACH-Region sind die Ausbringung in der Landwirtschaft, die Mitverbrennung in Zementwerken, Müllverbrennungsanlagen oder Kraftwerken sowie die Monoverbrennung (Ponak et.al. 2018). Bei der Ausbringung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen kommt es zur simultanen Verteilung von zuvor aufwändig konzentrierten Schadstoffen wie Arzneimittelrückständen, Schermetallen oder Viren. Bei der Mitverbrennung kann mit gesundheits- und umweltschädigenden Substanzen umgegangen werden, allerdings wird dem Nährstoffkreislauf dabei Phosphor entzogen. Lediglich bei der Monoverbrennung können die Aspekte der energetischen Nutzung, der Zerstörung von Organik, der Entfernung von Schwermetallen und der Phosphorrückgewinnung vereint werden, wenn die Aschen weiter behandelt werden.

2 PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG UND DER RECOPHOS-PROZESS

Seit 2017 ist die Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftliche Flächen in Deutschland für Kläranlagen gewisser Ausbaugrößen mit bestimmten Übergangsfristen verboten. Zusätzlich wird die Rückgewinnung von Phosphor aus den Schlämmen verpflichtend (Schnee 2017). Entsprechend befinden sich dutzende Verfahren in verschiedenen Entwicklungsstadien mit dem Ziel eine Lösung zur Erfüllung dieser gesetzlichen Pflicht zu finden. Dabei werden verschiedene Ansätze verfolgt, die an verschiedenen Punkten der Abwasserreinigung anknüpfen. Jeweils liegen Phosphorverbindungen in unterschiedlicher Bindung vor (Schönberg et.al. 2018):

- Rückgewinnung von gelöstem Phosphor aus dem Ablauf oder dem Prozesswasser der Abwasserreinigungsanlage.
- Rückgewinnung von gelöstem, biologisch gebundenem oder chemisch gebundenem Phosphor aus Klärschlämmen (vor bzw. nach der Entwässerung).
- Rückgewinnung von chemisch gebundenem Phosphor aus Klärschlammaschen.

In derselben Reihenfolge steigen sowohl das Potential zur Phosphorrückgewinnung als auch der dazu nötige verfahrenstechnische Aufwand (Schönberg et.al. 2018). Der RecoPhos-Prozess ist ein thermochemisches Verfahren, das die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen anstrebt.

2.1 RecoPhos-Prozess und Pilotanlage

Der RecoPhos-Prozess ist ein thermochemisches Verfahren, bei dem Phosphatverbindungen in Klärschlammaschen zu elementarem Phosphor reduziert werden. Aufgrund des Einsatzes von eisenhaltigen Salzen als Fällmittel in Kläranlagen befinden sich in den Aschen auch oxidische Eisenverbindungen. Bei der Reduktion liegen flüssiges Eisen und gasförmiger Phosphor vor. Diese reagieren zu Eisenphosphor und verringern damit die Ausbeute an elementarem Phosphor und verschlechtern die Qualität der Metallfraktion. Zusätzlich diffundiert Phosphor langsam aus Schlacken, weshalb Schmelzbäder die Reduktionsmöglichkeiten einschränken. Abbildung 1 zeigt den Aufbau des im RecoPhos-Prozess verwendeten Reaktors und wie mit den genannten Herausforderungen umgegangen wird (Schönberg et.al. 2014).

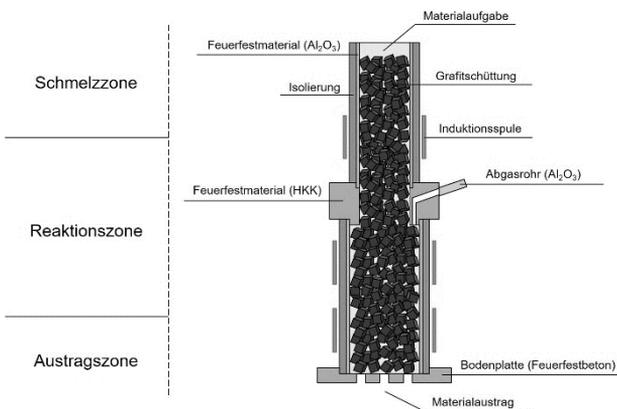


Abb. 1: InduCarb-Reaktor.

Eine Schüttung aus Grafitbruchstücken wird induktiv auf ca. 1600°C erwärmt. Die Klärschlammmasche wird von oben in den Reaktor dosiert und schmilzt im Eingangsbereich des Reaktors. Es bewegt sich ein Schmelzfilm durch den Reaktor, der kurze Stofftransportwege ermöglicht. Durch Zugabe eines Reduktionsmittels kommt es zur Einstellung einer CO-Atmosphäre. Zusätzlich ist ein Gasabzug implementiert, so dass Phosphorgas und flüssiges Eisen möglichst kurze Kontaktzeiten haben. Die Metallfraktion und die entstehende Schlacke verlassen den Reaktor über dessen Unterseite. Die Gasfraktion besteht aus CO und P₄ (bei den vorherrschenden Temperaturen zu P₂ dissoziiert). Das Gas wird nachverbrannt und das entstehende P₂O₅ wird in einem Wäscher zur Phosphorsäure umgesetzt (Schönberg et.al. 2014). Die gesamte Anlage ist in Abbildung 2 dargestellt.

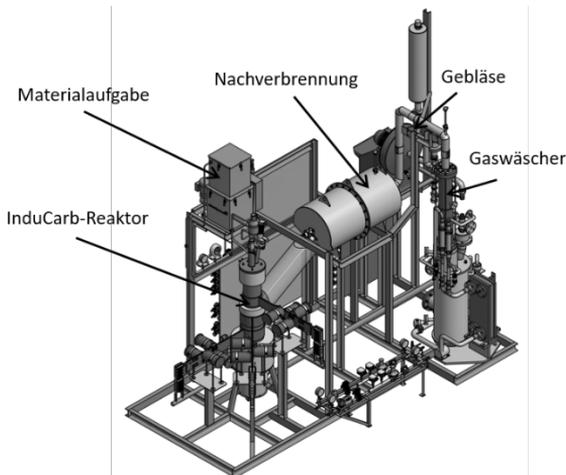


Abb. 2: RecoPhos-Pilotanlage.

Im letzten Jahr wurden die Induktionseinheiten und die Steuerung der Pilotanlage so überarbeitet, dass ein vollständig computergesteuerter Betrieb möglich ist. Die Durchsatzleistung beträgt nun ca. 8 kg/h Aschegemisch statt ca. 4 kg/h. Da die Mengen immer noch verhältnismäßig gering sind, kommt es oft zu Problemen beim Austrag. Durch vorzeitiges Erstarren der austretenden Schlacke. Mithilfe von 3D-gedruckten Negativen und selbst am Lehrstuhl gegossenen und gebrannten Boden-geometrien konnte auch dieses Problem behoben werden.

Die Reduktionsgrade von Eisen- und Phosphorverbindungen liegen jeweils bei über 99%, wobei ca. 75% des Phosphors gasförmig gewonnen werden können und der Rest sich in der Metallfraktion anreichert.

2.2 InduMelt-Vorversuchsanlage

Bei Verwendung verschiedener Aschen, Additive und Reduktionsmittel sind Vorversuche im kleineren Maßstab notwendig. Dafür wurde eine mobile Anlage namens InduMelt entwickelt. Sie hat einen modularen Aufbau und wird sowohl für Trockenschlackengranulationsversuche als auch für Vorversuche im Bereich der Aschen- und Schlackenreduktion verwendet. Zusätzlich dient sie als reines Schmelzaggregat. Die Anlage ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

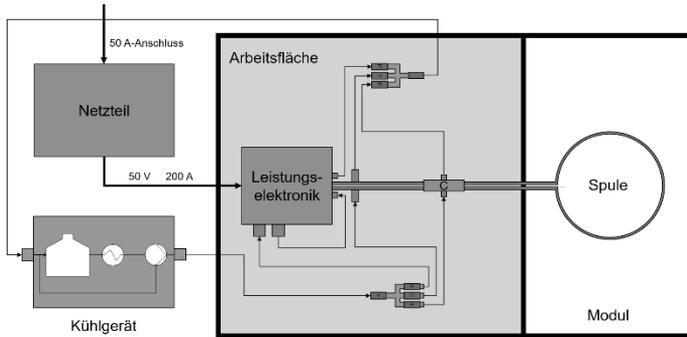


Abb. 3: Schematischer Aufbau der InduMelt-Anlage.

3 CONCLUSIO UND AUSBLICK

Schon jetzt weist der RecoPhos-Prozess ein enormes Potential zur Rückgewinnung von Phosphor auf. Durch den Trend hin zur Monoverbrennung und die Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung wird auch die Bedeutung von Klärschlammmaschen weiterhin zunehmen. Deshalb soll das Verfahren weiter verbessert und auf industriellen Maßstab vergrößert werden.

In weiteren Entwicklungsstufen soll der Gasabzug so überarbeitet werden, dass er nicht nur an einem Punkt erfolgt. Damit und mit der genaueren Unterteilung des Reaktors in Zonen verschiedener Temperatur soll die Phosphorausbeute noch weiter erhöht werden.

LITERATUR

- European Commission (2017) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the 2017 list of Critical Raw Materials. Brüssel.
- Ponak, C., Windisch, S., Raupenstrauch, H., Schönberg, A. (2018) Methoden und Verfahren der Klärschlammbehandlung. In: Thiel, S., Thomé-Kozmiensky, E., Quicker, P., Gosten, A. (Hrsg.) Energie aus Abfall. Band 15, TK-Verlag, S. 669-678, Berlin.
- Schnee, R. (2017) Phosphor-Recycling: Utopie oder realistischer Ansatz. Fachtagung (Klärschlammbehandlung), Oktober 2017, Rotenburg an der Fulda (D).
- Schönberg, A., Samiei, K., Kern, H., Raupenstrauch, H. (2014) Der RecoPhos-Prozess – Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammmasche. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Springer-Verlag, Wien.
- Schönberg, A., Raupenstrauch, H., Ponak, C. (2018) Verfahren und Produkte der Phosphor-Rückgewinnung. In: Thiel, S., Thomé-Kozmiensky, E., Quicker, P., Gosten, A. (Hrsg.) Energie aus Abfall. Band 15, TK-Verlag, S. 679-691, Berlin.

Erhöhung der Repräsentativität von Proben aus Wertstoffballen mit Hilfe der Ballenbeprobung

J. Poerschke

Hochschule Nordhausen, Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Nordhausen, Deutschland

C. Borowski

Hochschule Nordhausen, Fachbereich Ingenieurwissenschaften, Nordhausen, Deutschland

KURZFASSUNG: Weltweit ist die Recyclingindustrie mit großen Herausforderungen konfrontiert. Der Markt für Sekundärroh- und -brennstoffe steht durch den günstigen Rohölpreis erheblich unter Druck. Damit ein hochwertiges Recycling durchgeführt werden kann, muss die Qualität der in Form von Ballen vorliegenden Input-/Outputströme mengen- und wertstoffreich sein. Stand der Technik zur Qualitätssicherung ist eine aufwendige, händische Sortierung von ca. 80 kg bis 100 kg aus dem Ballen. Jene willkürlichen Probenahmen sind nicht reproduzierbar und benötigen einen intensiven Zeit- und Mitarbeiterinsatz. Auffällige Lieferungen sind nicht mehr abweisbar, da das Material volumenvergrößert vorliegt oder bereits in den Produktionsprozess eingeschleust wurde. Dies führt zu hohen administrativen Aufwendungen. Mit Hilfe der zufälligen Volumenelemententnahmen aus Wertstoffballen soll u. a. die Repräsentativität der Probenahme erhöht und die Probemenge verringert werden. Die Entnahme von Proben erfolgt über einen Beprobungsapparat mit angeschlossenem Kernbohrer. Besonderer Fokus liegt dabei auf Sekundärbrennstoff- und Kunststoffballen.

1 RAUMSYSTEM IM BALLEN

Das im Ballen vorliegende Raumsystem ist in Abb. 1 beschrieben. Der Koordinatenursprung befindet sich, ausgehend von der Pressrichtung, in der linken unteren Ecke des Ballens. Die Breite wird mit x , die Höhe mit y und die Tiefe mit z bezeichnet. Da das vorliegende Raumsystem einen Quasifestkörper darstellt, kann dieser nach dem Aufmaß bewegt werden, ohne dass sich die Maße durch Verformung des Ballens verändern.

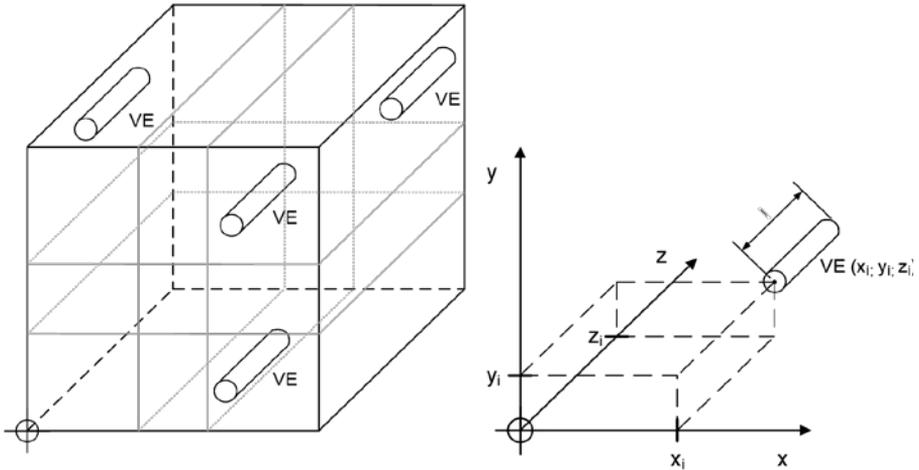


Abb. 1: Volumenelemente und Koordinaten im Ballen (Borowski 2018a).

Ein zylinderförmiges Volumenelement (VE) besteht aus drei Grundkoordinaten x_i , y_i und z_i . Der Koordinatenursprung ist am Anfang des VE, in der Mitte des Kreisringes angeordnet. Hierbei legt l die Länge des zu erfassenden VE und damit die Endkoordinate fest, siehe (1).

$$VE_i(x_i; y_i; z_i; l) \text{ für } VE_1 \dots VE_n \quad (1)$$

Durch einen Zufallsgenerator sind die Werte für die Koordinaten x_i , y_i und z_i zu bestimmen. Sollte der Ballen beidseitig beprobt werden, weil die Bohrerlänge nicht der Tiefe des Ballens entspricht, ist

- eine Berechnung der Bohrkoordinaten für beide Seiten oder
- die Transformation der erzeugten Koordinaten auf die Rückseite notwendig.

Hierbei ist die Variante a) zu bevorzugen, da die Bindungen auf der Rückseite ungleich der Vorderseite angeordnet sein können.

Im Gegensatz zur Würferteilungsmethode nach Zwisele ist die Zufallsauswahl der gleichgroßen Volumenelemente VE bei der Ballenbeprobung nicht systematisch geschichtet (Zwisele 2004a). Anwendung findet hier die reine bzw. uneingeschränkte Zufallsauswahl (Zwisele 2004b). Diese ergibt sich aus dem dreidimensionalen Koordinatensystem. Das heißt, es ist kein starres Raster zur Auswahl der Koordinatenpunkte festgelegt, mit Ausnahme der Ballenauswahl von einem LKW oder aus einem Ballenlager. Theoretisch kann jeder Punkt des Ballens, innerhalb seiner bohrphysikalischen Grenzen, zufällig ausgewählt und beprobt werden. Hierbei sind die zu entnehmenden Teilmengen aus der Grundmenge durch Benutzung eines Bohrers gleich groß. Somit ist die Wahrscheinlichkeit, dass die enthaltenen Elemente in die Probe gelangen, ebenfalls gleich groß und lediglich von der Stichprobenanzahl abhängig. Eine hohe Stichprobenanzahl erhöht die Sicherheit der Werte.

2 ZUFALLSBASIERTE AUSWAHL VON BALLEN AUS VERSCHIEDENEN BALLENLAGERN

In LKW, Containern und Schiffen sind Ballen neben- und übereinander angeordnet. Für eine Zufallsauswahl muss dementsprechend ein Raster angelegt werden. Dieses besteht aus den dreidimensionalen Koordinaten x , y und z , angelehnt an das Koordinatensystem des einzelnen Ballens. Wie bei einer Excel-Tabelle kann die Ladung eines LKW als Zeilen- und Spaltensystem gesehen werden. Die Breite ist mit x und die Höhe mit y gekennzeichnet. Des Weiteren ist die Tiefe der Ladung mit z bezeichnet, wie in Abb. 2 in der Seitenansicht und Draufsicht einer 20 Ballen umfassenden LKW-Ladung dargestellt.

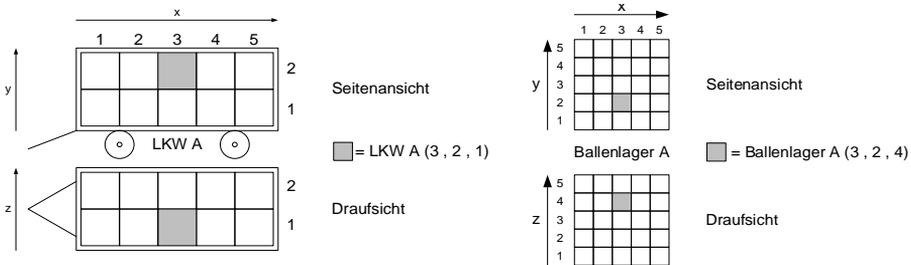


Abb. 2: Register für zufällige Ballenauswahl in einem LKW (Borowski 2018b).

Das Raster ist für alle Transportplattformen geeignet und flexibel erweiterbar. Im Produktions- und Anlieferungsprozess sind die Dimensionen der Ladung ähnlich, sodass übersichtliche Grafiken für die Probennehmer gestaltet werden können. Zu jeder Anlieferung kann ein Dokument mit Probenahmeplan erstellt werden. Das Probenahmepersonal kann exakt die Ballen entnehmen, die zufällig vom System ausgewählt wurden. Der zu entnehmende Ballen hat die Koordinaten „LKW A (3, 2, 1)“. Die willkürliche Beprobung ist ausgeschlossen, da anhand der Zufallsauswahl eine klare Anweisung und Handlungsstrategie vorliegt.

Je nach Produktionsvolumen ist es möglich, dass Ballen nicht unmittelbar nach dem Abladen vom LKW, Container oder Schiff verarbeitet werden. Diese Ballenlieferungen werden im Herstellungs- bzw. Verwertungsbetrieb separat in Ballenlagern gelagert. Grundlage für die Anwendung des Registers ist eine Zugänglichkeit des Ballenlagers von allen Seiten.

Ein Raster ähnlich einer Excel-Tabelle wird seitlich auf das betreffende Ballenlager gelegt. Ballenlager können in den Betrieben jegliche Form aufweisen. Hier hat das Ballenlager eine kubische Form.

Bei der LKW-Beprobung und am Ballenlager gilt: die Koordinaten x , y und z sind Abzählungen der Breite, Höhe sowie der Tiefe. Im Zufallsgenerator sind dementsprechend ganze Zahlen anzuwenden. Die Beispielnotation für den markierten Ballen ist „Ballenlager A (3, 2, 4)“. Abhängig von der Grundmenge der Ballen im Ballenlager muss eine entsprechende Anzahl zufällig bestimmt werden. Dazu kann Excel als allgemein verfügbares Werkzeug eingesetzt werden. Findet eine Lagerprüfung statt, empfiehlt sich die Konzeption einer entsprechenden Eingabemaske mit Möglichkeit des Formularausdrucks.

3 ZUFALLSGENERIERTER PROBENAHMEPLAN FÜR AUSGEWÄHLTE ENTNAHMESTRATEGIEN

Im Gegensatz zur händischen Entnahme von Laborproben aus einem Ballen, bei der eine Auftrennung der Bindungen notwendig ist, gibt es bei Anwendung der Ballenbe-
probung unter Zuhilfenahme von Kernbohrern zwei mögliche Entnahmearten, siehe Abb. 3. Sollte die Probenahmemaschine nicht flächig an der Pressrichtungsseite des Ballens anliegen, muss der Hohlraum in der Berechnung von z_i berücksichtigt werden.

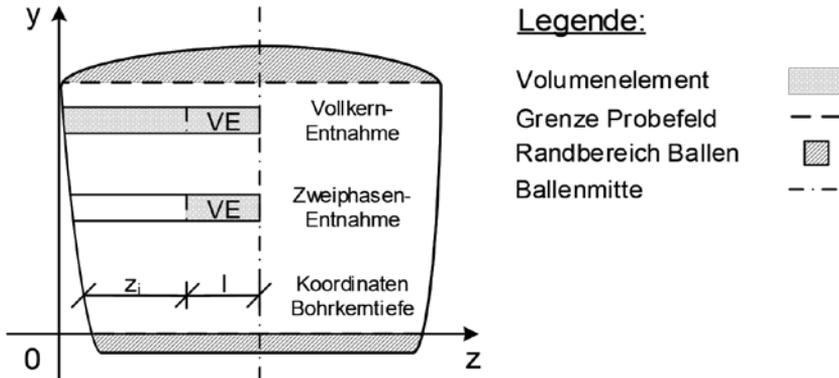


Abb. 3: Entnahmestrategien aus einem Ballen - Schnittdarstellung (Borowski 2018c).

Alle zwei Entnahmearten sind teilmaschinell oder automatisiert durchführbar. Eine automatisierte Entnahme ist zu empfehlen, da mögliche Bedienfehler deutlich reduziert werden. Ist dennoch eine händische Entnahme favorisiert, muss genau gearbeitet werden. Kritisch ist die Vollkernentnahme, da das betreffende Volumenelement vom Rest des Bohrkerns abgetrennt werden muss, wenn nicht der gesamte Kern zu untersuchen ist. Eine Schablone oder ein Maßstab in Länge des Volumenelements kann eine deutliche Verbesserung der Arbeitsgenauigkeit bewirken. Vorteilhaft ist die Vollkernentnahme im Hinblick auf den Zeitaufwand, da lediglich zwei Arbeitstakte für den Entnahmeprozess benötigt werden. Unter Anwendung der Zweiphasenentnahme werden vier Arbeitstakte benötigt:

1. Bohren bis zum Anfang des zufällig bestimmten VE.
2. Herausfahren des Bohrers und Entnahme bis zu verwerfenden Bohrkerns.
3. Einfahren des Bohrers bis zum Ende des zufällig bestimmten VE.
4. Herausfahren des Bohrers und Entnahme des VE.

Für die Vollkernentnahme werden dagegen lediglich die Arbeitstakte drei und vier benötigt. Hierbei entsteht die größte thermische Belastung der Materialien. Diese kann durch konstruktive Maßnahmen deutlich verringert werden. Bei Anwendung der Vollkernentnahme wird das gesamte VE am Stück bis zum Ende ausgebohrt. Es können Bohrer eingesetzt werden, die der Tiefe des Ballens entsprechen oder solche, die die halbe Tiefe des Ballens erreichen können. Ferner weist die Zweiphasenentnahme eine geringere thermische Belastung auf, da der Bohrer beim Entleeren der zu verwerfenden VE abkühlen kann.

Die herausgebohrten Volumenelemente sind zylinderförmig und entsprechen in ihrem Durchmesser dem Innendurchmesser des Bohrkopfes. Gleichwohl können einzelne Bestandteile eine größere Fläche aufweisen, da sie durch den Pressprozess mehrfach gefaltet werden.

Der in Abb. 4 zu sehende Ablaufplan beschreibt die Erstellung eines zufallsgenerierten Probenentnahmeplans für die Ballenbeprobung. Die Geometrie und die Lage der Bindungen wird vom Nutzer eingegeben. In diesem Rahmen werden mittels Transformationsfaktoren die zufälligen Koordinaten berechnet.

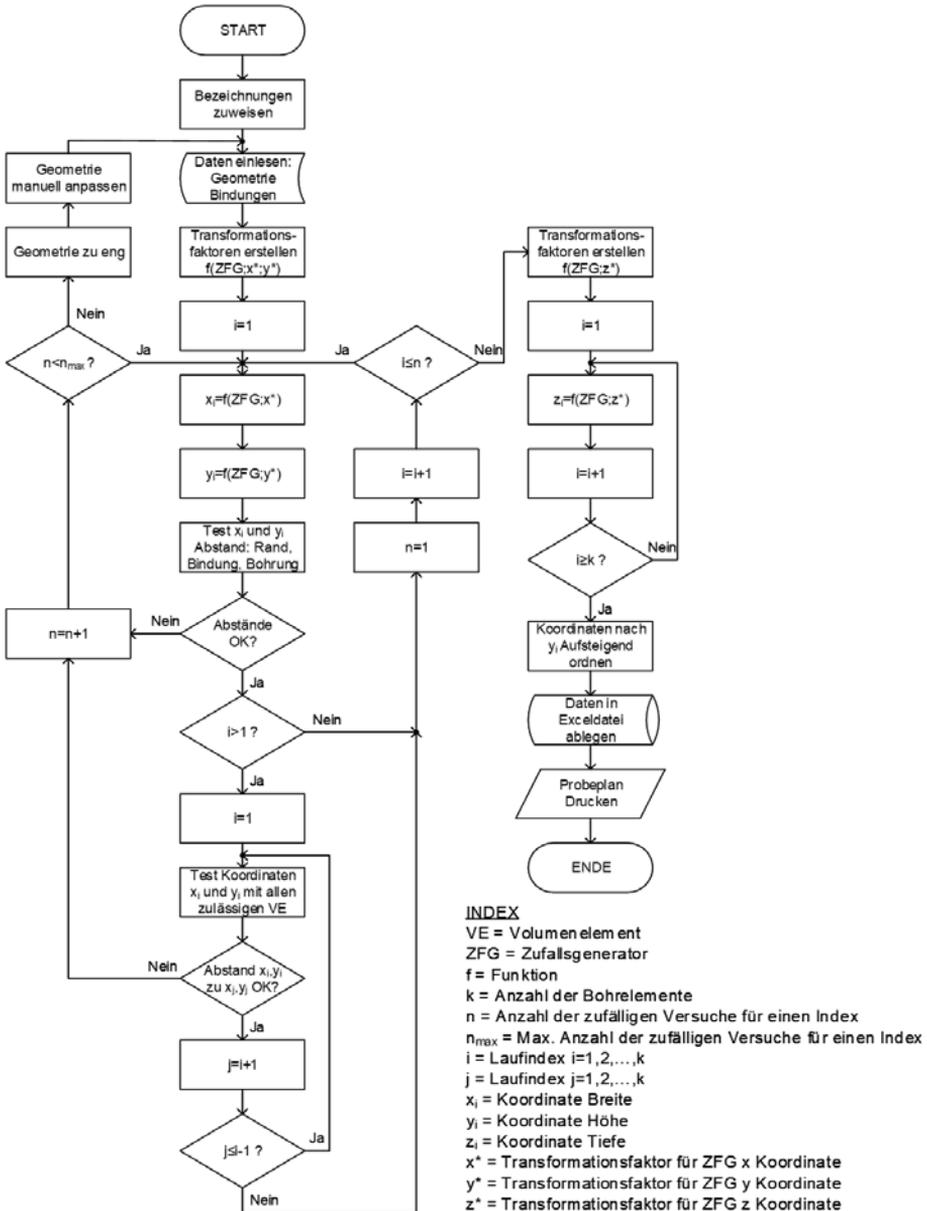


Abb. 4: Ablaufplan für einen zufallsgenerierten Probenentnahmeplan (Borowski 2018d).

Berücksichtigt werden die Abstände zu dem Randbereich sowie den Bindungen und Bohrungen. Der Zufallsgenerator läuft solange bis k Bohrelemente ordnungsgemäß

erzeugt wurden. Durch die Eingabe von n_{\max} ist die maximale Anzahl an Durchläufen des Zufallsgenerators zu wählen. Dies verhindert u. a., dass das Programm unendlich weiterläuft. Sind alle Koordinaten ordnungsgemäß erzeugt, werden diese nach y_i vom kleinsten Wert aufsteigend sortiert, in eine Excel-Datei geschrieben und ausgedruckt.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Das Zufallsentnahmesystem ist nicht nur für den Ballen, sondern ebenfalls für die Auswahl der Ballen auf einem LKW, Container oder Schiff sowie in einem Ballenlager entwickelt. Diese Zufallsentnahmesysteme dienen zur Ermittlung der Bohrpunkte auf und ggf. im Ballen. Bei einer Vollkernentnahme ist eine Ermittlung der Zufallszahlen in x- und y-Richtung ausreichend. Sollen einzelne Volumenelemente entnommen werden, sind die Zufallszahlen für die z-Richtung zu generieren. Es muss die Geometrie des Ballens und die Lage der Bohrpunkte berücksichtigt werden. Im Rahmen der Promotion „Entwicklung von Verfahren und Bohrtechniken zur zufälligen Volumenelemententnahme aus Ballen“ konnte die zu entnehmende, repräsentative Probenmenge von max. 100 kg bei der händischen Probenahme auf lediglich 5 kg reduziert werden (Borowski 2018e).

LITERATUR

- Borowski, Christian (2018a) Entwicklung von Verfahren und Bohrtechniken zur zufälligen Volumenelemententnahme aus Ballen. Dissertation. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger Verlag GmbH, 2018, S. 31.
- Borowski, Christian (2018b) Entwicklung von Verfahren und Bohrtechniken zur zufälligen Volumenelemententnahme aus Ballen. Dissertation. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger Verlag GmbH, 2018, S. 33 f.
- Borowski, Christian (2018c) Entwicklung von Verfahren und Bohrtechniken zur zufälligen Volumenelemententnahme aus Ballen. Dissertation. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger Verlag GmbH, 2018, S. 42.
- Borowski, Christian (2018d) Entwicklung von Verfahren und Bohrtechniken zur zufälligen Volumenelemententnahme aus Ballen. Dissertation. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger Verlag GmbH, 2018, S. 44.
- Borowski, Christian (2018e) Entwicklung von Verfahren und Bohrtechniken zur zufälligen Volumenelemententnahme aus Ballen. Dissertation. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger Verlag GmbH, 2018, S. 68 ff.
- Zwiese, Bertram (2004a) Entwicklung einer neuen Probenahmemethode für heterogene Abfälle geringer Schüttdichte. Dissertation. Berlin: Rhombos-Verlag, 2004, S. 54 f.
- Zwiese, Bertram (2004b) Entwicklung einer neuen Probenahmemethode für heterogene Abfälle geringer Schüttdichte. Dissertation. Berlin: Rhombos-Verlag, 2004, S. 51.

Recyclingquoten für Kunststoffe - Ist eine Quotenerfüllung nach aktuellen gesetzlichen Vorgaben zur nachhaltigen Verwertung von Kunststoffen ausreichend?

K. Friedrich

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Leoben, Österreich

K. Tschiggerl

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften, Österreich

KURZFASSUNG: Seitens der Europäischen Union (EU) gibt es gesetzliche Vorschriften für Recyclingquoten, welche gefordert werden. Mit einem Fokus auf Kunststoffrecycling wird in diesem Paper analysiert, inwiefern die aktuellen gesetzlichen Vorgaben zu einer nachhaltigen Verwertung beitragen. Ein positiver Beitrag zur Recyclingquote ist bereits gewährleistet, wenn das gewonnene Rezyklat nach der Aufbereitung einem Produktionsprozess als Werk- oder Wertstoff zugeführt werden kann. Wie hoch der Anteil an Rezyklat und Neukunststoffen im Produktionsprozess sein kann, ist gesetzlich noch nicht festgelegt. Derzeit kann ein geringer Anteil an qualitativ niederwertigem Rezyklat im Produktionsprozess durch einen hohen Anteil an Neukunststoffen kompensiert werden. Um die nachhaltige Verwertung von Kunststoffen zu fördern, müsste es für die Rezyklate bzw. für deren Anteile in einzelnen Produktionsprozessen und unter Einbezug der gesamten Supply Chain eigene spezifische Vorgaben zum Recycling geben, um den Wertschöpfungskreislauf von Kunststoff schließen zu können.

1 EINLEITUNG

Kunststoffe sind ein nicht mehr wegzudenkender Bestandteil täglicher Gebrauchs- und Anwendungsgegenstände, sowohl in Haushalten, als auch in der Industrie, wo sie einen zentralen Rohstoff für die unterschiedlichsten Bereiche – vom Verpackungsmaterial, in der medizinischen Versorgung, über Elektronikbestandteile, bis hin zur Bau- und Transportindustrie – darstellen (Hopewell, 2009). Seit 1950 wurden global etwa 8,3 Milliarden Tonnen Kunststoff erzeugt, wovon nur neun Prozent wiederverwertet wurden; zwölf Prozent wurden verbrannt, und der größte Teil (79 %) landete auf Deponien oder in der Umwelt (Geyer et al., 2017). Im Jahr 2015 wurden weltweit 322 Millionen Tonnen Kunststoff produziert (Plastics Europe, 2017), und es wird davon ausgegangen, dass sich diese Menge bis 2035 verdoppelt, bis 2050 könnte sie sich vervierfachen (World Economic Forum, 2016).

Dass mit den entstehenden Kunststoffabfällen eine enorme Belastung für Mensch und Umwelt einhergeht, ist unbestritten – Stichwort Mikroplastik in den Weltmeeren. Demgegenüber steht das Bestreben durch Wirtschaft, Politik und Gesellschaft, das Recycling wichtiger Rohstoffe zu forcieren und den Anteil zurückgewonnener Wertstoffe zu erhöhen. In diesem Zusammenhang haben Recyclingquoten die Aufgabe, statistische Informationen zum Anteil verwerteten Abfalls zu liefern, sowie gesetzliche Anforderungen im Rahmen nationaler und europäischer Nachhaltigkeitspolitik zu erfüllen. Neben ökologischen Absichten müssen aus betriebswirtschaftlicher Sicht auch ökonomische Aspekte des Recyclings betrachtet werden – hier gewinnen insbesondere die Themen Ressourceneffizienz und Lebenszyklusbetrachtung stark an Bedeutung.

Dazu stellt Bunge (2016) fest, dass die Sinnhaftigkeit von Recycling eine ökonomische und ökologische Sichtweise benötigt. Mit Annäherung einer Recyclingquote an die 100 Prozent Marke wird Recycling hinsichtlich Kosten/Nutzen immer ineffizienter, da der ökologische Ertrag durch das Recycling linear mit dem Recyclinggrad ansteigt, der ökologische Aufwand des Recyclings hingegen exponentiell.

Vor diesem Hintergrund tauchen somit Fragen und bisher ungelöste Problemstellungen bezüglich der Festlegung und Erhebung von Recyclingquoten auf, u.a. inwiefern diese tatsächlich zu den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung beitragen. Am Beispiel des Kunststoffrecyclings soll dargestellt werden, welche Folgen sich durch Quotenregelungen entlang der Wertschöpfungskette ergeben, und ob sie einen Beitrag in der Verwertung aufbereiteter Stoffströme leisten können bzw. welche Potenziale sich weiterhin ergeben.

2 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE DEFINITION VON RECYCLINGQUOTEN

Das österreichische Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) definiert Recycling als „jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Produkten, Sachen oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.“ Auch in der Abfallrahmenrichtlinie der EU (2008/98/EC) wird der Begriff ähnlich beschrieben. Demnach ist Recycling eine *Wiederverwertung*, nicht eine *Wiederverwendung*. Ein Abfall gilt als vollständig verwertet, wenn er einem als Verwertung anerkannten Verfahren zugeführt wird. Dabei wird nicht unterschieden, welche Anteile davon tatsächlich für den Einsatz als Sekundärrohstoff zurückgewonnen werden (Wilts et al., 2014).

Auf Basis der genannten Definition erfolgt die Festlegung spezifischer Anteile des zu verwertenden Abfalls bzw. von Recyclingquoten, jedoch auf unterschiedlich zu wertende Berechnungsarten – auch innerhalb gleicher Stofffraktionen. So gibt es bspw. unterschiedliche Abfallgesamtheiten, verschiedene Messpunkte zur Bestimmung der Abfallgesamtmenge und der Recyclingteilmenge. Weiters zeigt sich selbst in behördlichen bzw. gesetzlichen Dokumenten oft eine synonyme Verwendung der Begriffe „Verwertung“ und „Recycling“.

2.1 *Recyclingquote – eine Begriffsbestimmung*

In der Abfallwirtschaft richten sich die Recyclingzielvorgaben nach Quoten. Grundvoraussetzung für die Berechnung einer Quote ist die Kenntnis der Grundgesamtheit des in Verkehr gebrachten Wertstoffes. Einheitliche Definitionen und Verfahren zur Berechnung liegen weder auf nationalstaatlicher (z.B. Unterschiede in Bundesländern) noch auf EU-Ebene vor, und auch global gesehen wirft dies vor dem Hintergrund von Exporten (z.B. durch Verpackungsmaterialien) erhebliche Probleme hinsichtlich der Erhebung und Festlegung von Recyclingquoten auf (Treder, 2017). In diesem Zusammenhang erläutert Bothe (2015) zu den dualen Systemen, dass „eine Berechnung, die lediglich eine Mischung x mit unbekannter Zusammensetzung und nur teilweise bekanntem Verbleib mit einer Mischung y anderer und ebenfalls unbekannter Zusammensetzung als Bezugsgröße vergleicht,“ nicht einmal eine Quote sei.

Zur Definition von Recyclingquoten (Recyclingraten) gibt es zwei wesentliche Unterscheidungen (Wilts et al., 2014):

- produktionsbezogene Recyclingquote (inputbezogen) – gibt den Recyclinganteil am Materialinput eines Produktionsprozesses an und
- abfallbezogene Recyclingquote (outputbezogen) – bezieht sich auf den Anteil der bei der Entsorgung tatsächlich aus dem Abfall recycelten Werk- bzw. Wertstoffe.

Zu berücksichtigen ist dabei, dass eine hohe abfallwirtschaftliche Recyclingquote nicht unbedingt zu einer hohen produktionsbezogenen Recyclingquote führt, da durch den Import und Export von Abfällen auch ein Einsatz des Sekundärmaterials in anderen Volkswirtschaften möglich ist (Wilts et al., 2014).

Wesentlich in dem Zusammenhang ist auch folgende Unterscheidung: Während die Verwertungsquote auch die energetische Verwertung von Wertstoffen aus Abfall umfasst (also die Verbrennung derselben einschließlich deren Aufbereitung zu Brennmaterial), schließt die Recyclingquote diese Art der Verwertung aus. Daher ist die Verwertungsquote größer als die Wiederverwertungs- bzw. Recyclingquote (Brumme, 2015).

2.2 Europäische und nationale Judikatur zur Quotenregelung des Kunststoffrecyclings

Auf EU-Ebene wird Kunststoffabfall durch eine Reihe von Rechtsvorschriften behandelt, jedoch keine spezifisch auf Kunststoff ausgelegt. Indirekt wird Kunststoff im Wesentlichen durch die folgenden Richtlinien adressiert: Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EC), Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (2012/19/EU), Richtlinie über Altfahrzeuge (2000/53/EG), und in der Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle (94/62/EG).

Die Zielvorgabe für Wiederverwendung und Recycling von Siedlungsabfällen ist in der Abfallrahmenrichtlinie in Artikel 11 insgesamt mit 50 % bis 2020 festgelegt (Vorbereitung zur Wiederverwendung und Recycling). Die Quote für die Vorbereitung zur Wiederverwendung, des Recyclings und die sonstige stoffliche Verwertung ist bis 2020 eine Steigerung auf 70 % vorgesehen. Die einzige kunststoffspezifische Zielsetzung in der europäischen Abfalljudikatur betrifft die Recyclingrate von 22,5 % Kunststoffverpackungsabfällen (Milios et al., 2018).

Auf nationaler Ebene wird Kunststoff speziell im AWG 2002 bzw. in der AWG-Novelle Verpackung (2013) sowie in der österreichischen Verpackungsverordnung (2014) behandelt. In letzterer wird die Recyclingrate für Kunststoffverpackungen ebenfalls mit 22,5 % definiert um die Vorgabe seitens der EU einzuhalten.

Seit 4. Juli 2018 sind die neuen Änderungsrichtlinien des europäischen Abfallpakets in Kraft getreten. Zu den wichtigsten Elementen des neuen EU-Abfallrechts gehören neue verbindliche Ziele, u.a. betrifft dies auch eine Erhöhung der Zielquoten für das Recycling von Siedlungsabfällen und Verpackungsabfällen, sowie gleichzeitig eine Anpassung von Definitionen (Circular Futures, 2018). Weiters sollen durch neue Berechnungsmethoden für die Recyclingquote von Siedlungsabfällen die Messung der tatsächlich recycelten Abfälle sowie die Vergleichbarkeit der Angaben realisiert werden. Allerdings beziehen sich diese Quoten überwiegend auf die Quantität und nicht auf die Qualität (Treder, 2017).

Tab. 1 gibt einen Überblick zu aktuellen und geplanten Recyclingquoten für Verpackungsmaterial aus Kunststoff. Demnach (EU und national) sind 22,5 % der in Verkehr gebrachten Masse an Kunststoffverpackungen in eine Recyclinganlage einzubringen.

Tab. 1: Übersicht der Recyclingquoten für Verpackungsmaterial aus Kunststoffen

	EU		Österreich	
	Verpack RL Artikel 6	Änderungsrichtlinie (2018) Artikel 1	Verpack VO § 5	
ab Jahr	2009	2025	2030	2014
Recyclingquote in %	22,5	50	55	22,5

Die aktuell umgesetzten Recyclingquoten bei Kunststoffverpackungen betragen auf EU-Ebene im Jahr 2018 weniger als 30 %; 31 % werden deponiert, 39 % werden verbrannt (EU-Kommission, 2018). In Österreich wurden 2015 laut Abfallwirtschaftsplan (2017) 33,6 % der Kunststoffverpackungen recycelt, die Verwertungsquote betrug 100 %.

3 NACHHALTIGE VERWERTUNG VON KUNSTSTOFFFREZYKLATEN

Da die thermische Verwertung nur dann in Betracht gezogen werden sollte, wenn eine qualitative Aufbereitung des Kunststoffs nicht mehr möglich ist, gilt es die stoffliche Verwertung bei Kunststoffen zu forcieren.

Betrachtet man den Wertschöpfungskreislauf des Kunststoffrecyclings in Abb. 1, so ist ersichtlich, dass dieser mit dem Konsumenten als Abfallerzeuger (1) beginnt und anschließend behandelt (2), sortiert (3) und recycelt (4) wird. Mit der Definition der Recyclingquote nach Wilts et.al. (2014) für die abfallbezogene Recyclingquote (outputbezogen), werden jene Kunststoffe, welche nach dem Aufbereitungsprozess als Wert- bzw. Werkstoffe vorliegen, zur Quotenerfüllung beitragen. In den nächsten Schritten wird das Rezyklat vom Produzenten einem Produktionsprozess (5) zugeführt und vom Kunststoffverbraucher (6) genutzt, bevor der Kreislauf mit der Abfallerzeugung (1) schließt.

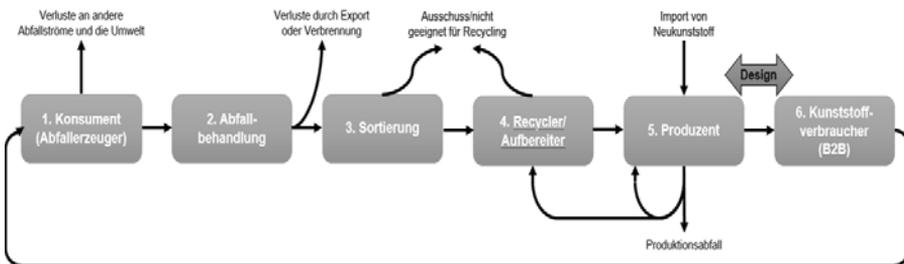


Abb. 1: Wertschöpfungskreislauf des Kunststoffrecyclings (übersetzt nach Milios et. Al. (2018))

Durch die fehlende einheitliche gesetzliche Begriffsbestimmung der Recyclingquote kann ein „Nicht-Schließen“ des Wertschöpfungskreislaufs dennoch zu einer positiven Erfüllung beitragen. Wenn ein Recycler einen Stoffstrom aus einer Kunststoffsammlung in seiner Anlage aufbereitet, wäre der Abschluss der Aufbereitung ausreichend, um zur Recyclingquote beizutragen. Am Ende des Recyclingprozesses erhält man ein Kunststoffgranulat, welches zur Verarbeitung zu neuen Produkten eingesetzt werden müsste. In welcher Qualität das anfallende Rezyklat vorliegen müsste, ist aktuell gesetzlich nicht festgelegt.

Aus der Qualitätsbewertung von erzeugten Rezyklaten geht hervor, dass die alleinige Fokussierung auf Recyclingquoten nicht zielführend sein kann, um den Wertschöpfungskreislauf zu schließen. Die Prüfung der Verwendbarkeit eines hergestellten Rezyklates müsste sichergestellt sein, um eine nachhaltige Verwertung gewährleisten zu können. Stoffstromunspezifische Recyclingquoten stehen im Gegensatz der Verwendbarkeit des gewonnenen Rezyklats, wodurch der Anteil an primären Neukunststoffen in Produkten ein Vielfaches des Rezyklatanteils ist (Pfennig und Kuchta, 2016).

Dies bedeutet, dass jedes erzeugte Rezyklat, welches einem Produktionsprozess zugeführt werden kann, einen positiven Beitrag zur Recyclingquote leisten kann. Ob man mit diesem Rezyklat hochwertige oder weniger hochwertige Produkte erzeugen kann, ist ebenso wie der Anteil an Neu- und recycelten Kunststoffen, welche einem Produktionsprozess zugeführt werden, nicht geregelt. Mischt man einen geringen Anteil minderwertigen Rezyklats mit einem hohen Anteil an Neukunststoffen, können Qualitäten für die Erzeugung von Kunststoffprodukten meist gehalten werden, jedoch ohne eine nachhaltige Verwertung gewährleisten zu müssen. Ein weiteres Problem, welches sich durch die mangelnde Qualität und die Volatilität der Rezyklate ergibt, ist, dass es sich als schwieriger gestaltet, Abnehmer für den erzeugten Sekundärrohstoff zu finden. Die Bildung eines Marktes für Kunststoffrezyklate oder von Preisen, welche sich an der Qualität des Rezyklats orientieren, erweist sich ohne gesetzliche Qualitätsvorgaben ebenfalls als diffizil.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zur Lösung des Quotenproblems müssen nach Treder (2017) folgende Kernforderungen erfüllt werden: (1) Es bedarf einer Vereinheitlichung der Begriffsbestimmungen und valider Daten, wobei (2) eine einheitliche Berechnung von Quoten zu definieren ist. Die aktuelle Vorgehensweise beim Recycling ist nicht sachgerecht, da sie kein „hochwertiges Recycling“ berücksichtigt, welches einer Schadstoffverschleppung entgegenwirken kann. Schließlich (3) dienen Quoten dann zur Zielerreichung, wenn die Grundgesamtheit (das Abfallaufkommen) bekannt ist, was aktuell nicht immer der Fall ist. Weiters wäre eine Anpassung von Quoten an dynamische Marktgegebenheiten sinnvoll – indem z.B. strategische Rohstoffe festgelegt werden – sowie die Berücksichtigung der Ökoeffizienz alternativer Szenarien über den gesamten Lebenszyklus. Entsprechend ist eine integrierte Sicht von ökonomischen und ökologischen Aspekten über den gesamten Lebensweg und die gesamte Supply Chain von Kunststoffen – von der Produktgestaltung bis hin zur Behandlung mit dazwischengeschalteten Sortier- und Aufbereitungsanlagen – notwendig, um eine nachhaltige, ressourceneffiziente Abfallwirtschaft zu verwirklichen und die Möglichkeiten des Kunststoffrecyclings ökologisch und ökonomisch sinnvoll zu nutzen.

LITERATUR

- Abfallrahmenrichtlinie (2008): Richtlinie 2008/98/EC des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien.
- Abfallwirtschaftsplan (2017): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Teil 1. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- Änderungsrichtlinie (2018): Richtlinie (EU) 2018/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle.
- AWG (2002): Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002), BGBl. I Nr. 102/2002 i.d.F. vom 16.08.2018.
- Bothe, Dietmar (2015): Mengenstromnachweise der Dualen Systeme: Analysen und Ergebnisse. Müll und Abfall 12(2015):664-678.
- Brumme, Doreen (2015): Was ist eine Recyclingquote? Blog-Beitrag. <https://wertstoff-blog.de/2015/07/09/was-ist-eine-recyclingquote/> (Zugriff 14.08.2018).
- Bunge, Rainer (2016): Recycling ist gut, mehr Recycling ist besser – oder nicht? In: Thomé-Kozmiensky, Karl; Goldmann, Daniel: Recycling und Rohstoffe – Band 9. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, S. 79-91.
- Circular Futures – Plattform Kreislaufwirtschaft im Umweltdachverband (2018): Abfall und Recycling: Das „Abfallpaket“ der Europäischen Union. <https://www.circularfutures.at/themen/abfall-und-recycling/> (Zugriff 13.08.2018).
- EU-Kommission (2018): http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-18-6_de.htm Fragen und Antworten: Eine europäische Strategie für Kunststoffe. MEMO/18/6. (Zugriff 14.08.2018).
- Geyer, Roland; Jambeck, Jenna R., Lavender Law, Kara (2017): Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances 3(7): e1700782.
- Hopewell, Jefferson; Dvorak, Robert; Kosior, Edward (2009): Plastics recycling: Challenges and opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society B 364:2115-2126.
- Milios, Leonidas; Holm Christensen, Lena; McKinnon, David; Christensen, Camilla; Rasch, Marie; Hallström Eriksen, Mikael (2018): Plastic recycling in the Nordics: A value chain market analysis. Waste Management 76:180-189.
- Pfennig, Lucas; Kuchta Kerstin (2016): Kunststoffrecycling aus der Perspektive einer modernen Ressourcenwirtschaft. In: Thomé-Kozmiensky, Karl; Goldmann, Daniel: Recycling und Rohstoffe – Band 9. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, S. 516-521.
- Plastics Europe (2017): Plastics – the Facts 2017: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Brüssel: Plastics Europe – Association of Plastics Manufacturers
- Treder, Martin (2017): Wertstofffassung: Was sind ökologische Vorteile und wie kann man sie bewerten? In: Obladen, Hans-Peter; Meetz, Michael (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Strategien für die Abfallwirtschaft und Stadtreinigung. Kassel: kassel university press GmbH, S. 7-27.
- Verpackungsverordnung (2014): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten (Verpackungsverordnung 2014), BGBl. II Nr. 184/2014.
- Wilts, Henning; Lucas, Rainer; von Gries, Nadja; Zirngiebl, Marthe (2014): Recycling in Deutschland: Status quo, Potenziale, Hemmnisse und Lösungsansätze. Studie im Auftrag der KfW Bankengruppe. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- World Economic Forum (2016) The new plastics economy: Rethinking the future of plastics. Industry Agenda REF 080116. Genf: World Economic Forum

Entwicklung eines neuen Aufarbeitsverfahrens für Salzschlacken

T. Angerer

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Nichteisenmetallurgie, Leoben, Österreich

KURZFASSUNG: Die beim Einschmelzen von Magnesiumschrott durch Zugabe von Abdeck- bzw. Raffiniersalz entstehenden Salzschlacken müssen entweder deponiert (sonderdeponiert) oder aufgearbeitet werden. Für diesen gefährlichen Reststoff mit der Abfallschlüsselnummer 31223 wird zurzeit ein neues nasschemisches Verfahren konzipiert. Ziel der Verfahrensentwicklung ist es aus den vorliegenden magnesiumhaltigen Reststoffen (Salzschlacken) sowohl den enthaltenen wiederverwendbaren Salzanteil zu extrahieren als auch durch einen nachfolgenden sauren Aufschluss die restliche Feststofffraktion in ein handelbares Produkt mit hoher Qualität umzuwandeln. Der Gewichtsanteil des bei der Aufarbeitung anfallenden inerten Rückstandes soll dabei so gering wie möglich sein. Diese Recyclingtechnologie wandelt die metallhaltigen Reststoffe fast zur Gänze in verwertbare (handelbare) Produkte um. Bei der in Entwicklung stehenden Technologie handelt es sich somit faktisch um ein „zero-waste“-Verfahren.

1 EINLEITUNG

Bei der Verarbeitung von Leichtmetallschrotten in der Aluminium- und der Magnesiumsekundärmetallurgie werden einerseits Schmelz- und andererseits Abdeck- bzw. Raffiniersalze verwendet. Diese bilden sogenannte Salzschlacken aus, mit einem erheblichen Anteil eluierbarer chemischer Verbindungen wie Metallchloride und -fluoride. Weiters besitzen die Reststoffe ein gewisses Gefahrenpotenzial, da es bei der Lagerung zur Selbstzündung und somit zum Metallbrand kommen kann. Salzschlacken reagieren mit Wasser unter der Bildung von giftigen und/oder explosiven Gasen wie Schwefelwasserstoff (H_2S), Ammoniak (NH_3), Phosphin (PH_3) und Wasserstoff (H_2).

Diese, als gefährlich eingestuften Reststoffe, müssen unter hohem ökonomischen Aufwand sonderdeponiert oder aufgearbeitet werden. Beides ist in Österreich nicht möglich. Die Verwertung bzw. seltener die Deponierung der Salzschlacken erfolgt somit im Ausland. Eine Verbringung dorthin ist mit erheblichen behördlichen Aufwand verbunden.

Magnesiumhaltige Salzschlacken nehmen unter diesen Reststoffen eine Sonderstellung ein, da es hierfür keine spezielle Aufarbeitungstechnologie gibt. Die Verwertung erfolgt oftmals gemeinsam mit den Salzschlacken aus der Aluminiumindustrie, was wiederum zu diversen Problemen führt.

Ein in Entwicklung stehendes nasschemisches Recyclingverfahren für magnesiumhaltige Salzschlacken und Krätzen bietet nun die Möglichkeit, die Reststoffe in handelbare Produkte umzuwandeln.

2 KONZEPTION DES RECYCLINGVERFAHRENS FÜR MAGNESIUMHÄLTIGE SALZSCHLACKEN

Aus der Literatur sind unterschiedliche Verfahren zur Aufarbeitung von magnesiumhaltigen Salzschlacken bekannt. Grundsätzlich unterteilen sich diese Technologien in eine einstufige salzsaure Laugung gefolgt von einer zweistufigen Kristallisation (Scharf 2010), eine zweistufige Laugung (neutrale Laugung mit Wasser und salzsaure Laugung) gefolgt von einer zweistufigen Kristallisation (Dietze & Scharf 2010) und eine zweistufige salzsaure Laugung gefolgt von einer ein- oder zweistufigen Kristallisation (Rohmann & Scherzberg 1996).

Auf Basis der zuvor durchgeführten Charakterisierung der Reststoffe – hierbei standen der Metall-, Salz-, Metalloxid-, Metallhydroxid- und Inertstoffgehalt bzw. die chemische und Phasenzusammensetzung im Fokus – und angelehnt an die in der Literatur dargestellten Verfahren wurde das in der Abbildung 1 ersichtliche Aufarbeitungskonzept vorgeschlagen. Die mechanische Aufbereitung durch Brechen, Mahlen und mehrstufige Siebklassierung sind vorbereitende Maßnahmen und in Abbildung 1 ergänzend angegeben. Die beiden zentralen Prozessschritte der nasschemischen Weiterverarbeitung der sogenannten Salz-Oxid-Fraktion (SOF) sind eine neutrale Laugungsstufe mit Wasser, um die in den Reststoffen enthaltenen Chlorid- und Fluoridsalze der Abdeck- und Behandlungsmittel zu lösen und eine der Fest-Flüssig-Trennung folgende salzsaure Laugungsstufe, welche die im Filterkuchen enthaltenen Metalle, Metalloxide und -hydroxide chemisch umsetzt. Die Abbildung 2 zeigt diese Stoffströme durch den Aufschlussprozess nach den einzelnen Inhaltsstoffen differenziert grafisch, die Abbildung 3 ergänzt diese Darstellung mit Bildern eines repräsentativen Reststoffes und der daraus folgenden Salzprodukte bzw. des anfallenden Reststoffes. Beide Verarbeitungsstufen haben zum Ziel eine Salzlake zu erzeugen, deren Salzgehalt nahe der Löslichkeitsgrenze liegt. Die für den sauren Aufschluss notwendige Salzsäure wird in der zweiten Stufe über eine hochkonzentrierte Salzsäurelösung in den Reaktor eingebracht. Das Verfahrenskonzept sieht in beiden Stufen Rührreaktoren vor. Im sauren Aufschluss benötigt dieser aufgrund der stark exothermen Reaktionsenthalpie eine Kühlungseinheit. Die Reaktionswärme wird abgeführt und stellt dabei bereits Niedertemperaturwärme für die spätere Dampferzeugung bereit. Die sich bei beiden Laugungsstufen ausbildenden Reaktionsgase – diese bestehen hauptsächlich aus den beiden brennbaren Gasen H_2 und CH_4 , sowie aus CO_2 aus den Karbonaten der länger gelagerten Reststoffe und Spuren von NH_3 , H_2S und HCl -Dampf – werden über eine Abgasreinigungsstufe geleitet. Diese nasschemische Behandlung entfernt die Schadgase NH_3 , H_2S und HCl -Dampf. Das Reingas geht anschließend zur thermischen Verwertung für die Erzeugung von Prozessdampf. Die regelbare Zufuhr von Erdgas stabilisiert hierbei die Kesselleistung. Der erzeugte Prozessdampf dient als Heizmedium für die Kristallisation der Salzlaken aus der Neutral- und sauren Laugungsstufe. Alternativ zur Salzbildung ist je nach Verwendungszweck auch eine Flüssiglagerung und -verlieferung der salzsauren Lake möglich.

Die beim Kristallisator anfallenden Kondensate der Erzeugung der Neutrallaugungssalze und der Salze der sauren Laugung werden getrennt voneinander als Prozesswasser in die beiden Laugungsschritte rückgeführt. Befindet sich prozesstechnisch zu viel Wasser im Kreislauf, wird ein Teil der Kondensate ausgeschleust und über eine Abwasserwirtschaft geführt.

Die gewonnenen Salze aus der Neutrallaugung sind im Sinne eines internen Recyclings erneut als Abdecksalze beim Schmelzprozess von Magnesium wiederverwendbar. Das Produkt des sauren Aufschlusses kann als technisch reines

Magnesiumchlorid-Hexahydrat in unterschiedlichen Industriesparten bzw. Anwendungen (Staubbindemittel, Tausalz etc.) eingesetzt werden.

Diverse in der Salzschlacke enthaltene Reststoffe (z.B. Quarzsand, aus dem verarbeiteten Schrott eingeschleuste Fremdstoffe wie Holz etc.) sind auch bei den eingestellten Bedingungen im sauren Aufschluss nicht löslich und bleiben somit als Reststoff (Inertstoff) übrig. Bezogen auf die Gesamtmasse der verarbeiteten magnesiumhaltigen Salzschlacke macht dieser Anteil kleiner fünf Gewichtsprozent aus. Anhand der Beurteilung der chemischen Zusammensetzung und der Phasenanalyse des Inertstoffes ist dieser zu deponieren.

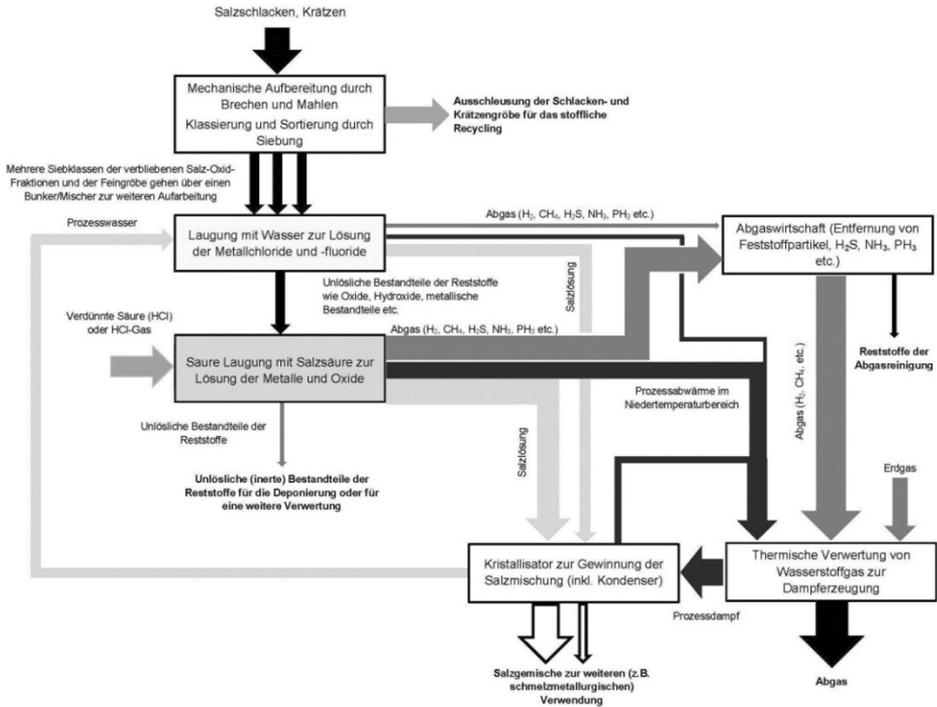


Abb. 1: Flussschema des nasschemischen Recyclingverfahrens.

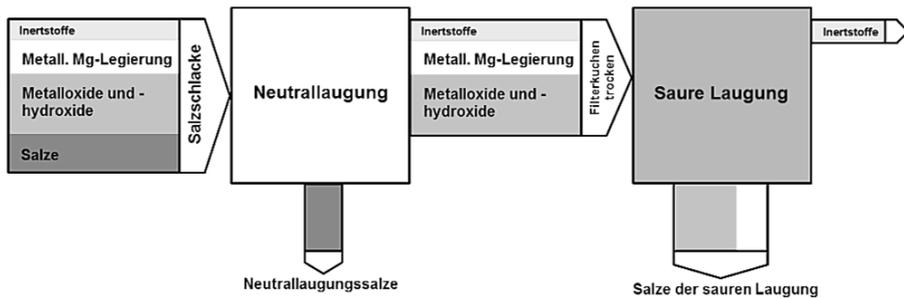


Abb. 2: Stoffströme der beiden Aufschlussprozesse (differenziert nach den einzelnen Inhaltsstoffen).

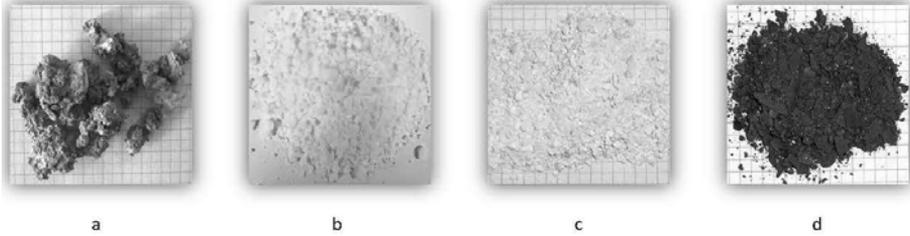


Abb. 3: Bilder eines ausgewählten Reststoffes (Salzschlacke a), der Salzprodukte (Neutrallaugungssalz b, Salz der sauren Laugung c) und des anfallenden Reststoffes (Inertstoff d).

3 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Das vorgestellte Verfahrenskonzept verarbeitet zuvor mechanisch behandelte gefährliche magnesiumhaltige Reststoffe der Magnesiumsekundärproduktion – Salzschlacken und Krätzen – in einem zweistufigen nasschemischen Verfahren. Zentrale Verfahrensschritte hierbei sind eine Neutrallaugung zur Entfernung der wasserlöslichen Salze und ein saurer Aufschluss für das Lösen der im Reststoff enthaltenen Metalle, Metalloxide und -hydroxide. Das Produkt der Neutrallaugung kann erneut als Abdecksalz beim Schmelzen von Magnesiumschrott Verwendung finden, jenes des sauren Aufschlusses (Magnesiumchlorid-Hexahydrat) wäre in verschiedenen Industriesparten einsetzbar.

LITERATUR

- Dietze, A., Scharf, C. (2010) *Utilization of Residues from Fluxless Remelting of Compact Magnesium Scrap*. Magnesium Alloys and their Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim/D, ISBN: 3-527-30282-4.
- Rohmann, M., Scherzberg, H. (1996) EP 0693563A1. Patent.
- Scharf, C. (2010) *Recycling von Magnesium und seinen Legierungen*. Habilitationsschrift, Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften der TU Clausthal.

Leichtbau trifft Circular Economy – Wie entwickelt sich der Kreislauf von Kunststoff- und Verbundwerkstoffen?

D. Schönmayr

Cleantech-Cluster / Business Upper Austria – ÖÖ Wirtschaftsagentur GmbH, Linz, Österreich

KURZFASSUNG: Multimaterialien und Verbundwerkstoffe mit Kunststoffen werden erfolgreich eingesetzt, um negative Umweltauswirkungen in der Nutzungsphase zu reduzieren, und innovative Produkte zu ermöglichen. Als multilateral einsetzbare Leichtbaukomponenten mit universaler Formgebung und hoher Stabilität werden verschiedene Arten von Multi-Materialien und Verbundwerkstoffen in eine breite Palette von Industrieprodukten integriert. Die Nachfrage nach komplexen Werkstoffen mit überlegenen Eigenschaften wird weiter steigen. Sowohl in der Produktions- als auch in der End-of-Life-Phase können Verbundwerkstoffe Probleme verursachen. Speziell faserverstärkte Kunststoffe, allen voran Kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK) ermöglichen umweltfreundlichen Leichtbau für Flugzeuge, Automobile, und Schiffe, gleichzeitig verursachen diese Herausforderungen speziell in der Kreislaufwirtschaft. Aktuelle und zukünftige CFK-Abfallmengen zeigen die steigende Relevanz für Kreislaufwirtschaft. Ein hochqualitativer Kreislauf ist rein technisch bereits möglich, doch weder wirtschaftlich skaliert, noch politisch forciert, oder systemisch implementiert.

1 SCHRÖDINGERS VERBUNDWERKSTOFF

Leichtbau ist nachhaltig. Neben Exoten wie der Raumfahrt, und klassischer im Hochbau ist speziell im Transportwesen der Leichtbau ein signifikanter Hebel um in der Lebensphase der Transportmittel Rohstoffe, Treibstoffe, und Kosten einzusparen. Dafür werden neben Stählen, und Leichtmetallen verstärkt Kunst- und Verbundwerkstoffe eingesetzt, um erfolgreichen Leichtbau und positive Sekundäreffekte im Fahrzeug-, Schiffs-, und Flugzeugbau zu ermöglichen. Der fortwährende Trend zum Leichtbau bewirkt einen noch stärkeren Anstieg von eingesetzten Kunst- und Verbundwerkstoffen, als bisher vermutet. Von 51.000 t CFK 2015 auf 194.000 t 2022 wird global ein jährlicher Anstieg von rund 12 % vermutet (CCeV and AVK 2013, CCeV and AVK 2017).

Leichtbau ist nicht nachhaltig. Sofern man die Produktions- und End-of-Life-Phase in den Fokus rückt, zeigt sich, dass Leichtbau durch Verbundwerkstoffe Nachteile in der Produktions- sowie End-Of-Life (EOL) Phase bewirkt. Beispielsweise CFK (carbonfaserverstärkter Kunststoff) hat ein Global Warming Potential (GWP) bis zu 40 kg CO₂ eq./kg Komponentengewicht (Audi AG 2011), Polypropylen (PP) hat 1,8 (materialbezogen). Darauf aufbauend postulieren Witik et al. (2011), dass in einer holistischen Lebenszyklusanalyse (LCA) Materialien wie CFK oder Magnesium geringe oder keine ökologischen Vorteile gegenüber konventionellen Materialien liefern, und rein dem Konsumenten eine Kosteneinsparung ermöglichen. In der Produktion von CFK fallen aktuell 20-40 % als Abfall an, woraus sich bis zu 36.400 t 2015 und rund 77.600 t für 2022 (mit 40 % Abfallanteil) errechnen lassen, ohne zukünftig anzunehmende Innovationen wie Verschnittoptimierung durch Automatisierung. Zu den zusätzlichen dazukommenden Abfallmengen nach der Nutzung der Produkte in der EOL-Phase liegen keine aktuellen validen Daten vor, doch selbst Mengen anteilmäßig im Promillebereich können Schäden bei bestehenden Entsorgungsanlagen verursachen, da mengenmäßig signifikante, geregelte Kreisläufe noch auf sich warten lassen.

2 GLOBALE MENGEN EINES LEICHTBAUVERBUNDWERKSTOFFES: CFK

Da es sich bei Kunststoffverbundwerkstoffen wie CFK um hochwertige Bauteile handelt, weisen diese eine Lebenserwartung zwischen 10 und 30 Jahren auf (Meiners & Eversmann 2017). Dementsprechend werden in den kommenden Jahren die CFK-Abfallmengen deutlich ansteigen. Aktuell liegen keine validen Daten zu End-Of-Life CFK-Abfall vor, doch lässt sich die aktuelle Produktionsabfallmenge optimistisch mit 20 % und pessimistisch mit 40 % Abfallanteil an der Produktion errechnen, basierend auf den global nachgefragten CFK-Mengen (netto) (CCeV and AVK 2017) (Tabelle 1). Demnach ergibt sich die produzierte Menge inklusive Produktionsabfall (brutto).

Tab. 1: Überblick globale CFK-Produktions- und Produktionsabfallmengen (in tausend Tonnen, gerundet; *geschätzt).

	2010	2012	2014	2016	2018*	2020*	2022*	Summe
CFK-Mengen netto (globale Nachfrage)	51	66	83	101	124	156	194	1114
CFK-Mengen brutto bei 20 % Abfallanteil	64	83	104	126	155	195	242	1393
CFK-Mengen brutto bei 40 % Abfallanteil	85	110	138	168	207	260	323	1 857
CFK Produktionsabfall bei 20 % Abfallanteil	10	13	17	20	25	31	39	153
CFK Produktionsabfall bei 40 % Abfallanteil	20	26	33	40	50	62	78	306

3 HERAUSFORDERUNGEN IN DER CIRCULAR ECONOMY

Auf Grund der steigenden Abfallmengen von kohlefaserverstärkten Kunststoffen steigt die Relevanz für einen funktionierenden, werterhaltenden Kreislauf inklusive Minimierung der negativen Umweltauswirkungen. Basierend auf bestehenden Daten, persönlichen Erfahrungen, und Forschungsergebnissen von Schönmayr (2016, 2017a, 2017b), Umweltbundesamt (2017), Mayyas (2012), CCeV and AVK (2013, 2017) werden aktuelle und zukünftig potentielle Herausforderungen im Verbundwerkstoffkreislauf auf mehreren Ebenen (technisch, logistisch, sozial, finanziell, und rechtlich) ersichtlich (Tabelle 2). Besonders hervorzuheben ist der zeitliche Aspekt, da aktuell noch vergleichbar geringe Mengen als Abfall zurückkommen, als zukünftig erwartet. Übergeordnet über den spezifischen Herausforderungen steht die Notwendigkeit der systemischen Herangehensweise entlang von Wertschöpfungsketten. Hierfür ist es zielführend, externe, neutrale, und so gut es geht objektive Unterstützung für Unternehmen einzubeziehen, um diese neue Form der Kooperation effizient und erfolgreich umsetzen zu können. Des Weiteren ist eine Implementierung der Kreislaufwirtschaft als neue Innovation auch ein „Change“-Prozess, der bis hin zu strukturellen und kulturellen Veränderungen neben der neuen strategischen Ausrichtung externe Unterstützung benötigt. Denn auch der „Change“ zur Kreislaufwirtschaft muss so einfach gestaltet sein wie möglich.

Tab. 2: Aktuelle und potentielle Herausforderungen im Verbundwerkstoffkreislauf (Auswahl).

<i>technisch</i>	Nachrüstbare Detektoren für Störstoffe in Entsorgungsanlagen (z.B. für selbst homöopathische C-Fasermengen im Restmüll)
	Nachrüstbare in-line Vorsortieranlagen für kritische Störstoffe
	Tracer/Marker für kritische Störstoffe
	Prävention von Schäden an bestehenden Shredderanlagen
	Prävention gesundheitsschädlicher Stäuben und Kleinfasern (z.B. geshredderte C-Fasern)
	EcoDesign/Design for Circularity bei Verbundwerkstoffen, kooperativ entlang der Wertschöpfungskette entwickeln
	Recyclingsysteme ohne Downcycling
	Kritische Sondierung der Anwendungen für recycelte Verbundwerkstoffe, ohne möglicherweise Probleme nur zeitlich zu verschieben (z.B.: C-Fasern im Spritzguss)
	Limitierung von potentiellen Störstoffen auf bestimmte Anwendungen (z.B. C-Fasern auf Flugzeugbau und Medizin, unter Betrachtung der Lebenszykluskosten vs. Nutzen; ev. Anwendungsverbot in „Lifestyleprodukten“ wie Handycovers)
	Recyclingfähige Alternativmaterialien sondieren (Thermoplast statt Thermoset, Naturfasern,...)
<i>logistisch</i>	Sortenreine Trennung vor Ort und Lieferung von post-industriellen Abfällen als Monofractionen (z.B. CFK: ausgehärtet, nicht ausgehärtet, Stäube)
	Sortenreine Trennung und Entsorgung von post-consumer Abfällen als Monofractionen
	Transport zu spezifischen Anwendern von Abfällen, Recyclern, Verwertern, Entsorgern
<i>sozial</i>	Erkennung von (kritischen) Verbundwerkstoffen durch Endkonsumenten, z.B. in Sportgeräten und Lifestyleprodukten
	Richtige Trennung/Sortierung/Entsorgung von Verbundwerkstoffabfällen durch Endkonsumenten
<i>finanziell</i>	Investitionsvolumen für Nachrüstungen als größere Herausforderung im Vergleich zu technischer Machbarkeit
	Implementierung von existierenden technischen Lösungen - aus dem Labor in die Wirtschaft
	Übernahme von Entsorgungskosten/Schäden, z.B. durch Inverkehrbringer
<i>rechtlich</i>	Anpassung Gesetze um z.B. ReUse von Produktionsabfällen und out-of-spec Ware zu ermöglichen
	Vorschriften (Push) sowie Anreize (Pull) für realwirtschaftliche Kreislauffähigkeit von Verbundwerkstoffen/Leichtbau

4 NACHHALTIGE ZIELKONFLIKTE IM LEICHTBAU

Aktuell herrscht ein Zielkonflikt zwischen der Entwicklung von Leichtbauprodukten einerseits und der Umsetzung der Recyclingfähigkeit andererseits. Das Erreichen beider Ziele wird im Kompromiss liegen, weniger im Konsens. Ein Hauptproblem hierbei ist, dass sich die Kreislaufwirtschaft in der Industrie ohne finanziellen Vorteil oder Verhinderung von rechtlich negativen Konsequenzen wenn überhaupt nur sehr langsam durchsetzen kann. Speziell im Transportwesen lässt sich der Zielkonflikt wie folgt darstellen. Transportmittelhersteller definieren Nachhaltigkeit mit Leichtbau, der durch Verbundwerkstoffe realisiert wird. Die Abfall- und Kreislaufwirtschaft definiert Nachhaltigkeit durch Kreislauffähigkeit, die Verbundwerkstoffe aktuell unzureichend aufweisen. Ziel ist demnach das finden einer Balance, durch im Idealfall kreislauffähigen Leichtbau.

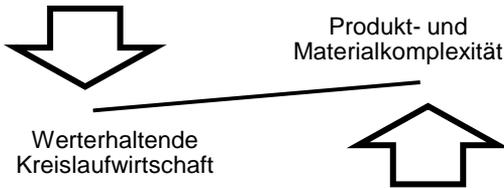


Abb. 1: Zielkonflikt in der Leichtbauverbundwerkstoffkreislaufwirtschaft.



Abb. 2: CFK-Produktionsabfälle aus Österreich (nicht ausgehärtet, ohne Harz) (Foto: Schönmayr 2018).

5 RESUMEE UND AUSBLICK: IST LEICHTBAU KREISLAUFFÄHIG?

Circular Economy und Leichtbau schließen sich nicht aus. Das große Problem sind Verbundwerkstoffe mit immer steigender Materialkomplexität, die nicht nach Circular Design Richtlinien entwickelt wurden, oder ganzheitlichen „Sustainability Checklisten“ für Leichtbautechnologien, zum Beispiel im Automobilsektor von Schögggl (2012). Von absoluter Wichtigkeit ist diesbezüglich den Blick auf den gesamten Produktlebenszyklus zu richten. Dann zeigt sich, dass zum Beispiel CFK selbst mit einer „nur“ rohstofflichen Verwertung bei der Calciumcarbidherstellung, oder als Primärkohleersatz in der Stahlherstellung, bis hin zur rein thermischen Verwertung in Sondermüllverbrennungsanlagen als allerletzte Entsorgungsmöglichkeiten doch die aktuell beste verfügbare Materialoption für ausgewählte Produkte wie Flugzeuge sein kann. Die Nachfrage nach komplexen Werkstoffen mit überlegenen Eigenschaften für verschiedene industrielle Anwendungen wird weiter steigen, und aufgrund ihrer langen Lebensdauer überdauern Verbundwerkstoffe oft die Produkte, für die sie ursprünglich entwickelt wurden.

Demnach liegt die Herausforderung für die Industrie darin herauszufinden, welche Verbundwerkstoffe welche Probleme entlang der gesamten Wertschöpfungskette verursachen, und dementsprechend diese Probleme zu lösen und/oder die Werkstoffe dementsprechend auszuwählen bzw. zu substituieren. Aktuelle Projekte in Österreich, Deutschland, sowie primär in Zentraleuropa können wichtige Lösungen liefern, um ein funktionierendes Kreislaufsystem auch für Leichtbauverbundwerkstoffe in Zukunft zu ermöglichen. Hinsichtlich der Bestrebungen der EU künftig Stoffkreisläufe zu schließen, werden auch Verbundwerkstoffe in den politisch-rechtlichen Fokus kommen, und sofern bis dahin basierend auf Selbstverpflichtung keine signifikanten Kreisläufe implementiert wurden, ist anzunehmen, dass die EU mit Vorschriften steuernd eingreifen wird. Dementsprechend ist nun weitere Innovation für Circular Economy gefordert, durch kooperative Lösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, mit systemisch-holistischer Nachhaltigkeit als übergeordnetes Ziel.

LITERATUR

- Audi AG (2011) *Audi A6 Life Cycle Assessment*. https://www.audi.com/content/dam/com/EN/corporate-responsibility/product/audi_a6_life_cycle_assessment.pdf.
- Carbon Composites e.V. and Federation of Reinforced Plastics (2013) *Composites Marktbericht 2013*. https://www.avk-tv.de/files/20131126_20130917_marktbericht_2013.pdf.
- Carbon Composites e.V. and Federation of Reinforced Plastics (2017) *Composites Marktbericht 2017*. <https://carbon-composites.eu/de/netzwerk/abteilungen/mai-carbon/meldungen/cross-cluster-projekt-mai-ucb-stellt-ergebnisse-vor/>.
- Carbon Composites e.V. (2017) *Cross-Cluster Projekt MAI UCB stellt Ergebnisse vor*.
- Mayyas, A. T., A. Qattawi, A. R. Mayyas, et al. (2013) *Quantifiable measures of sustainability: a case study of materials selection for eco-lightweight auto-bodies*. In: *Journal of Cleaner Production* 40, pp. 177–189.
- Meiners, D., Eversmann, B. (2017) *Recycling von Carbonfasern*. K J. Thomé-Kozmiensky and D. Goldmann, *Recycling und Rohstoffe*, 978-3.
- Schögggl, J. P. (2012) *A checklist for sustainable product development: The example of innovative lightweight technologies in automotive engineering*. Diplomarbeit. Karl-Franzens-Universität Graz.
- Schönmayr, D. (2016) *Plastics Recycling in the Automotive Sector - Rethinking the Industry by Integrative Research and Holistic Solutions for Sustainable Management in the Automotive Plastics Production and Recycling System*. Dissertation. Karl-Franzens-Universität Graz.
- Schönmayr, D. (2017a) *Automotive Recycling, Plastics, and Sustainability – the Recycling Renaissance*. Springer Verlag.

- Schönmayr, D. (2017b) *Industrielles Recycling automotiver Kunststoffe – Wie entwickelt sich der Polymerwerkstoffkreislauf in der Automobilindustrie?*. Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft, 69(11-12), 470-475. Springer Verlag.
- Umweltbundesamt (2017) *Kunststoffabfälle in Österreich – Aufkommen und Behandlung*. Wien. <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0650.pdf>.
- Witik, R. A., Payet, J., Michaud, V., Ludwig, C., Månson, J. A. E. (2011) *Assessing the life cycle costs and environmental performance of lightweight materials in automobile applications*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 42(11), 1694-1709.

Influence of Lead on the Precipitation of Zinc in Synthetic Industrial Wastewater

K. Tandon, S. Heuss-Aßbichler & I. Anagnostopoulos

Ludwig Maximilians Universität München, Department of Earth and Environmental Sciences, Theresienstr. 41, 80333 Munich, Germany

ABSTRACT: Incineration is an efficient method for energy recovery of municipal solid waste. Usually, the resulting toxic fly ash is disposed of as hazardous waste. Consequently, the metals, mainly Zn, but also Pb, Cu, Hg, Cd, Cr, As, and Ni, which occur in the fly ash, get lost for circular economy. A new procedure called SPOP (specific product oriented precipitation) is a novel energy-efficient way to recover the metals. In this study, we present the effect of Pb on the precipitation of Zn in a model system after applying the SPOP process. For this purpose, four different experiments are carried out with Pb-concentrations varying between 0 - 40% Pb of Zn concentration. Therefore, a synthetic aqueous solution was prepared according to the main composition of the wastewater from the municipal solid waste incineration (MSWI) plant in Ingolstadt, Germany. The results show, that Pb has only little effect on the precipitation of Zn. The rate of water purification is even slightly increased in presence of Pb. The formation of the mineral gordaite ($\text{NaZn}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6\text{Cl}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) as main phase in all experiments, is not dependent on the Pb concentration. Laurionite ($\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$) is the only Pb-containing phase; it was observed using XRD at 40% Pb in the solution, and already at 5% Pb using FTIR.

1 INTRODUCTION

An efficient procedure of treating municipal solid waste is incineration which enables reduction of the waste volume, and energy recovery during combustion. During this process, fly ashes are produced. On average, per 1000 kg of waste 20 to 50 kg of fly ash is generated (Youcai et al. 2002). They are classified as hazardous waste due to high amount of leachable heavy metals, mainly Zn (up to 5,9 g/kg) but also Pb, Cu, Hg, Cd, Cr, As and Ni (Tay & Yap 1989, Zhao & Stanforth 2000a, Youcai et al. 2002). In general, the fly ashes are landfilled in order to avoid contamination of the environment (Zhao et al. 2000b).

Ferreira et al. (2002) postulate three main advantages of using fly ash as a source of raw materials: (1) it is a zero-cost raw material, (2) it conserves natural resources, and (3) it helps to reduce waste volume. They presented nine different options on how fly ash can be incorporated into construction products as a substitute for primary raw materials.

But, it should be noted that the high amount of heavy metals in fly ashes also has the potential of a heavy metal resource. FLUWA (washing of fly ash with acids) is a technology developed in Switzerland for efficient removal of heavy metals from fly ash and is already applied in several facilities in Europe (Schlumberger et al. 2007, Weibel et al. 2017). This process is based on the treatment of fly ashes with scrub water from flue gas cleaning system. The easily soluble heavy metals are dissolved by the acidic scrub water, resulting in a heavy metal rich wastewater. This wastewater is afterwards treated with lime milk creating a highly voluminous hydroxide sludge that is likewise disposed of in landfills, which means that the full capacity

of the resource potential is not used. Since Zn is the most abundant element in fly ash, efforts have been made to recover it, resulting in the FLUREC (fly ash recycling) process, as an extension of FLUWA (Schlumberger et al. 2007, Schlumberger & Bühler 2013). In this hydrometallurgical process, Pb, Cd and Cu are first removed by addition of a Zn-powder acting as reducing agent. In a second stage, Zn is bound to an organic phase using solvent extraction. After renewed extraction of Zn from the organic phase, it is recovered by electrolysis. The extensive process steps show that the recovery of heavy metals from fly ash is a complex challenge.

A straightforward, novel process to recover heavy metals is called SPOP – Specific Product-Oriented Precipitation. It is a newly developed method to recover heavy metals from industrial wastewater and is originally based on the ferrite process (Okuda 1975, Tamaura et al. 1991). Depending on the composition of the initial wastewater, it is possible to control the formation of the various phases by adjusting the treatment parameters such as concentration, temperature, pH, and Fe-addition. This method was first developed in a model system containing a certain amount of Cu, Ni, Mn, Pb, Sn, Pd, Ag, or Au. Subsequently, real industrial wastewater was tested with the optimized SPOP conception (Heuss-Aßbichler et al. 2016, John et al. 2016a, John et al. 2016b, John et al. 2016c, John et al. 2017). John et al. (2016d), for example, studied the recovery of Zn as nanocrystalline ZnO from wastewater from zinc plating industry and they achieved a removal efficiency of 99,99 %. This study was the basis for studying the recovery potential of Zn from fly ash (Tandon et al. 2018, Tandon et al., this volume). However, further investigations are needed to understand the influence of trace elements such as Pb and complex solution matrix due to the high salt content on the formation of the product phases of Zn. In this study, we present the results obtained for a model system with a saline aqueous solutions in which the Pb concentration was varied. We present the effect of Pb and salt on the precipitation of the Zn-products and its influence on water purification.

2 EXPERIMENTAL SETTING

2.1 Material

All experiments were performed with a synthetic aqueous solution. The basis for this aqueous solution was a wastewater from the MSWI plant in Ingolstadt, Germany, after the leaching of the fly ash with the FLUWA process (Schlumberger et al. 2007, Weibel et al. 2017). For preparation of the aqueous solution, we have selected only the concentration of the main constituents of the wastewater, Zn, Pb, Na, K, Ca, Cl and SO₄. Table 1 shows the concentrations of the synthetic aqueous solution.

Tab. 1: Composition of the synthetic aqueous solution.

Element	Synthetic Matrix [mg/L]
Na	30000
K	7000
Ca	4000
Cl	70000
SO ₄	2500

The synthetic aqueous solution was made using NaCl, KCl, CaCl₂*2H₂O, CaSO₄*2H₂O, and 32% HCl (Merck, analytical grade) added to water with high purity ($\leq 5\mu\text{S/cm}$) until the concentrations in Table 1 are met.

2.2 Experimental series and Nomenclature

Table 2 gives an overview of the four experiments. They were performed with 2000 mg/L Zn solved in the saline aqueous solution, the concentration of Pb was varied from 0 to 40% of the initial Zn concentration (0 to 800 mg/L Pb), respectively.

The following nomenclature was used: the first part represents the main element "Zn", the second part indicates the amount of Pb in % relative to Zn.

Tab. 2: Composition of the aqueous solutions of the four experiments.

Experiment	Zn [mg/L]	Pb [mg/L]	Matrix
Zn_0Pb		0	
Zn_5Pb	2000	100	saline*
Zn_10Pb		200	
Zn_40Pb		800	

* The concentration of the saline aqueous solution is shown in Table 1.

2.3 Experimental Procedure

First, the synthetic model matrix was heated up to a reaction temperature of 30°C. After that, ZnSO₄*7H₂O and the adequate amount of PbCl₂ (100, 200, or 800 mg/L) were added to the solution. Under continuous stirring, the solution was alkalinized with NaOH to pH > 9 and the pH-value was kept constant ≥ 9 for at least 5 minutes. After the precipitation reaction, the suspension was filtered. One part of the residue was washed, the other was left as it is, and both parts were dried 24 hours at room temperature. For monitoring pH and alkalization we used a titration unit Titrator TL 7000 from SI Analytics.

2.4 Methods

The elemental composition of aqueous solutions was determined before and after treatment via ICP-MS or ICP-OES. Concentrations of Cl⁻ and SO₄²⁻ in the solutions were measured by ion chromatography (IC) according to DIN EN ISO 10304-1 (Deutsches Institut für Normierung, 2009). Phase identification of precipitation products was conducted with X-ray powder diffraction (XRD) using Cu K α 1 radiation. Crystalline phase identification was qualitatively performed by comparing the measured XRD patterns with the Inorganic Crystal Structure Database (ICSD) (Bergerhoff et al. 1987) and the Crystallography Open Database (COD) (Downs & Hall-Wallace et al. 2003, Gražulis et al. 2009, Gražulis et al. 2011, Gražulis et al. 2015, Merkys et al. 2016). Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to spot low crystallinity phases. Data was analyzed with files of the database RRUFF (Lafuente et al. 2016) and with additional literature.

3 RESULTS

3.1 Water purification

The removal efficiency of Zn and Pb is plotted in Fig. 1. After the treatment, the concentration of Zn in the solution was <1,3 mg/l, and of Pb was <1 mg/l, except for experiment Zn_0Pb. Here, the concentration of Zn was 3.2 mg/L, which is also shown

by the slightly lower recovery rate of 99,8% compared to the experiments with Pb addition. The experiments Zn_5Pb, Zn_10Pb, and Zn_40Pb show, that the addition of Pb does not influence the removal efficiency of Zn (> 99,9%). The removal efficiency of Pb increases with increasing Pb-concentration, from 99,3% (5% Pb) to 99,9% (40% Pb).

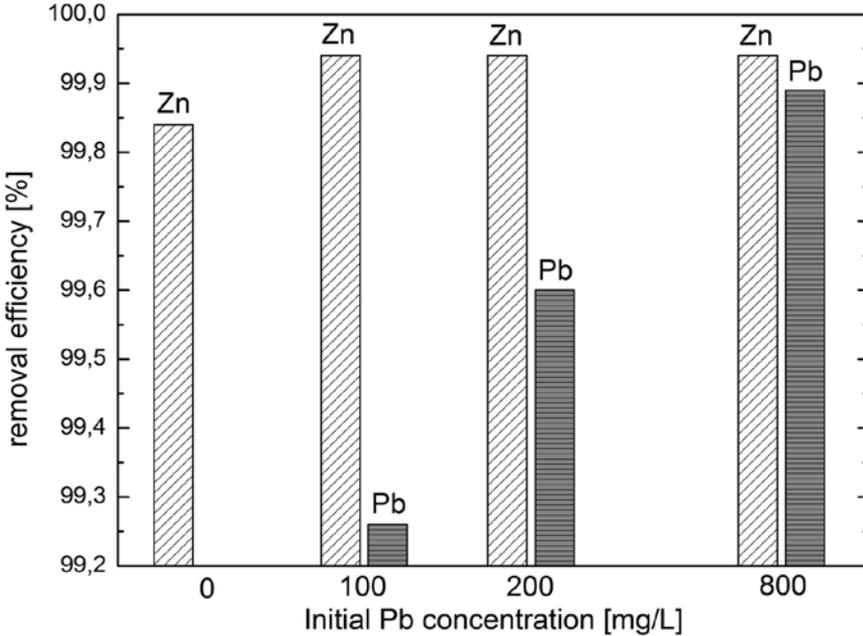


Fig. 1: Removal efficiency of Zn and Pb in dependence of initial Pb concentration in the solution.

3.2 Mineralogical characterization

The X-ray diffraction patterns of the washed precipitates are shown in Figure 2. In all experiments, gordaite ($\text{NaZn}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6\text{Cl}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) with major reflex at $6.84^\circ 2\theta$ represents the main phase. It is the only phase in the experiments without Pb addition (Zn_0Pb) and 5% Pb (Zn_5Pb).

The two experiments Zn_10Pb and Zn_40Pb show a small, broad peak next to the main peak of gordaite at $8.53^\circ 2\theta$ which corresponds to the main reflex of namuwite ($\text{Zn}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6\cdot 4\text{H}_2\text{O}$). In the experiment Zn_40Pb, the relative intensity of this reflex decreased while other reflexes could be detected with major peaks at $22.15^\circ 2\theta$, $27.06^\circ 2\theta$, and $35.49^\circ 2\theta$ matching to laurionite ($\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$).

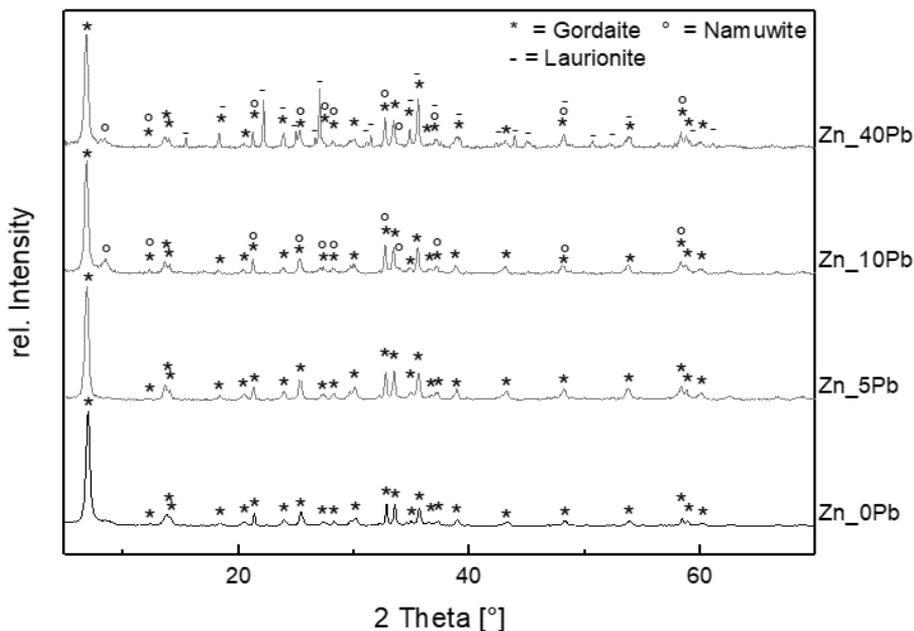


Fig. 2: X-ray diffraction patterns (Cu K α 1) of the washed precipitates of all experiments.

The FTIR spectra of the washed precipitates show similar results. With increasing Pb concentration only a slight increase in namuwite bands was observed. In all samples containing Pb, bands of laurionite appear. However, they show no change in intensity or shift in their position with increasing Pb concentration.

4 INFLUENCE OF LEAD ON THE PRECIPITATION OF ZINK

The removal efficiency for Zn is always better than 99.8%. It is notable, that with increasing Pb concentration, the removal efficiency of Pb increased.

The change in the phase assemblage as a function of the Pb concentration is shown in Fig. 3. Gordaite is main phase in all experiments. As an additional phase namuwite was detected at Pb > 10% Pb. This is an effect of washing the precipitate with pure water (Tandon et al. 2018). Laurionite is the only Pb phase observed in the samples. It was only detected by XRD in the 40% Pb experiment. However, using FTIR, laurionite was already identified in the sample with 5% Pb. This implies, that laurionite is below the detection limit of XRD in samples < 40% Pb, which is at about 3%. However, a substitution of Pb into the structure of mineral phases like gordaite or namuwite is also possible. The sheet-like structure of the hydroxy-salt minerals with hydrogen bonds between the layers allow a high flexibility of the structure and hence high cation exchange capacity (Maruyama et al., 2017).

Pb-content in solution [%]	% Pb	Laurionite $Pb(OH)Cl$	Gordaite $NaZn_4(SO_4)(OH)_6Cl \cdot 6H_2O$	Namuwite $Zn_4(SO_4)(OH)_6 \cdot 4H_2O$
	40	++	+++	+
	10	-	+++	+
	5	-	+++	-
	0	-	+++	-

Fig. 3: Detected phases in dependence of Pb-concentration of the washed precipitates. The relative phase amount is indicated by +, the number equals the relative amount, - stays for absent.

5 CONCLUSION AND OUTLOOK

In this study, we investigated the influence of Pb on the precipitation of Zn in a simplified model system. We were able to apply SPOP to synthetic saline solutions, a completely new field of application. Our results show, that wastewater from MSWI can be treated effectively with SPOP, resulting in residues with properties favorable for recycling. The presence of Pb in the synthetic solution has no negative impact on mineral paragenesis. The critical Pb concentration, above which laurionite can be detected using XRD has not yet been determined. Therefore, further experiments should be performed in the range of 10 to 40% Pb of the Zn concentration. The use of imaging methods, such as REM or TEM are beneficial to characterize the precipitates morphology and elemental distribution. In real wastewater, contaminants such as accessory elements or organic matter can affect the treatment process. A deeper understanding of the formation mechanism in the model system is needed to understand the potential impact of such disruptions on the process.

This study was supported by MSWI plant Ingolstadt, Germany, and partly funded by the Bavarian State Ministry of the Environment and Consumer Protection.

LITERATURE

- Bergerhoff, G., Brown, I., Allen, F. (1987) Crystallographic databases. Int. Union Crystallogr. Chester, 360, 77–95.
- Deutsches Institut für Normierung (2009) Water Quality—Determination of Dissolved Anions by Liquid Chromatography of Ions—Part 1: Determination of Bromide, Chloride, Fluoride, Nitrate, Nitrite, Phosphate and Sulfate, ISO 10304-1:2009-07, German Version. ISO: Geneva, Switzerland, 2007
- Downs, R.T., Hall-Wallace, M. (2003) The American Mineralogist crystal structure database. Am. Mineral. 88, 247–250.
- Ferreira, C., Ribeiro, A., Ottosen, L. (2002) Possible applications for municipal solid waste fly ash. J. Haz. Mat. B96 (2003), 201-216.
- Gražulis, S., Chateigner, D., Downs, R.T., Yokochi, A., Quirós, M., Lutterotti, L., Manakova, E., Butkus, J., Moeck, P., Le Bail, A. (2009) Crystallography open database—An open-access collection of crystal structures. J. Appl. Crystallogr. 42, 726–729.]
- Gražulis, S., Daškevič, A., Merkys, A., Chateigner, D., Lutterotti, L., Quiros, M., Serebryanaya, N.R., Moeck, P., Downs, R.T., Le Bail, A. (2011) Crystallography open database (COD): An open-access collection of crystal structures and platform for world-wide collaboration. Nucleic Acids Res. 40, D420–D427.
- Gražulis, S., Merkys, A., Vaitkus, A., Okulič-Kazarinas, M. (2015) Computing stoichiometric molecular composition from crystal structures. J. Appl. Crystallogr. 48, 85–91
- Heuss-Aßbichler, S., John, M., Klapper, D., Bläß, U.W., Kochetov, G. (2016) Recovery of copper as zero-valent phase and/or copper oxide nanoparticles from wastewater by ferritization. J. Environ. Manag. 181, 1–7.
- John, M., Heuss-Aßbichler, S., Park, S.-H., Ullrich, A., Benka, G., Petersen, N., Rettenwander, D., Horn, S.R. (2016a) Low-temperature synthesis of CuFeO₂ (delafossite) at 70 °C: A new process solely by precipitation and ageing. J. Solid State Chem. 233, 390–396.
- John, M., Heuss-Aßbichler, S., Ullrich, A. (2016b) Conditions and mechanisms for the formation of nano-sized delafossite (CuFeO₂) at temperatures ≤ 90 °C in aqueous solution. J. Solid State Chem. 234, 55–62.
- John, M., Heuss-Aßbichler, S., Ullrich, A., Rettenwander, D. (2016c) Purification of heavy metal loaded wastewater from electroplating industry under synthesis of delafossite (ABO₂) by "it-delafossite process". Water Res. 100, 98–104.
- John, M., Heuss-Aßbichler, S., Ullrich, A. (2016d) Recovery of Zn from wastewater of zinc plating industry by precipitation of doped ZnO nanoparticles. Int. J. Environ. Sci. Tech-nol. 13, 2127-2134
- John, M., Heuss-Aßbichler, S., Tandon, K., Ullrich, A. (2017) Recovery of Ag and Au from synthetic and industrial wastewater by 2-step ferritization and it-delafossite process via precipitation. J. Water Process Eng.
- Lafuente, B., Downs, R.T., Yang, H., Stone, N. (2016) The power of databases: The RRUFF project. Highlights in Mineralogical Crystallography, Walter de Gruyter GmbH, Munich, Germany.
- Maruyama, S. A., Krause, F., Tavares Filho, S. R., Leitão, A. A., & Wypych, F. (2017) Synthesis, cation exchange and dehydration/rehydration of sodium gordaite: NaZn₄(OH)₆(SO₄)Cl·6H₂O. Applied Clay Science 146, 100-105.
- Merkys, A., Vaitkus, A., Butkus, J., Okulič-Kazarinas, M., Kairys, V., Gražulis, S. (2016) COD: CIF: Parser: An error-correcting CIF parser for the perl language. J. Appl. Crystallogr. 49, 292–301.
- Okuda, T. (1975). Removal of heavy metals from wastewaters by ferrite coprecipitation. Filtration and Separation: 472-476.
- Schlumberger, S., Schuster, M., Ringmann, M., Koralewska, R. (2007) Recovery of high purity zinc from filter ash produced during the thermal treatment of waste and inerting of residual materials. Waste Manag. Res.25, 547-555.
- Schlumberger, S., Bühler, J. (2013) Metallrückgewinnung aus Filterstäuben der thermischen Abfallbehandlung nach dem FLUREC-Verfahren. Flaschen-Schlacken-Stäube aus Abfallverbrennung und Metallurgie. TK Verlag Karl Thomé- Kozmiensky. Neuruppin, Germany, 377-398
- Tamura, Y., T. Katsura, S. Rojaryanont, T. Yoshida and H. Abe (1991). Ferrite process: Heavy metal ions treatment system. Water Science and Technology 23(10-12): 1893-1900.

- Tandon, K., John, M., Heuss-Aßbichler, S., Schaller, V. (2018) *Influence of Salinity and Pb on the Precipitation of Zn in a Model System*. Minerals 8(2), 43.
- Tay, J.H., Yap, W.K. (1989) *Sludge ash as lightweight concrete material*. J. Env. Eng. 115 (1), 56-64.
- Weibel, G., Eggenberger, U., Schlumberger, S., Mäder, U.K. (2017) *Chemical associations and mobilization of heavy metals in fly ash from municipal solid waste incineration*. Waste Manag. 62, 147-159.
- Youcai, Z., Lijie, S., Guojian, L. (2002) *Chemical stabilization of MSW incinerator fly ashes*. J. Haz. Mat. B95, 47-63.
- Zhao, Y.C., Stanforth, R. (2000) *Integrated hydrometallurgical process for production of zinc from electric arc furnace dust in alkaline medium*. J. Haz. Mat. 80, 223-240
- Zhao, Y.C., Liu, J.Y., Huang, R.H., Gu, G.W. (2000b) *Long-term monitoring and prediction for leachate concentrations in Shanghai refuse landfill*. Water Air Soil Pollut. 122 (3/4), 281-297.

Entwicklung eines Konzeptes zur Monofermentation von stickstoffhaltigen Substraten

A. Geißler

Technische Universität Dresden, Institut für Abfallwirtschaft und Kreislaufwirtschaft, Dresden, Deutschland

KURZFASSUNG: Biomasse wie beispielsweise Geflügelmist sowie, Abwasser aus kommunalen Kläranlagen weisen die Schwierigkeit auf, dass enthaltener Stickstoff, Antibiotika, sowie hohe CSB (chemischer Sauerstoffbedarf) Frachten eine Prozessstörung bei der anaeroben Vergärung hervorbringen können. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer dreistufigen Hybridanlage für die prozessstabile, mesophile Monofermentation dieser Substrate. Für die Entwicklung dieser Methanstufe, werden drei verschiedene Reaktortypen, Rieselbettreaktor (RB), Schlammbettreaktor engl. Upflow anaerobic sludge bed (UASB) sowie ein Reaktor mit einem Anaerobfilter (AF) miteinander kombiniert. In der nachfolgenden Ausführung wird das Vorhaben erläutert, sowie das Vorgehen für die Entwicklung der Hochleistungsmethanstufe.

1 EINLEITUNG

Für die Entwicklung einer mehrstufigen Methanstufe, sind zunächst die Leistungsparameter der einzelnen Stufen durch schrittweise Anpassung der Raumbelastung zu definieren. Nach Erlangen der Prozessstabilität, werden die einzelnen Stufen, wie nachfolgend im Kapitel 2 Verfahrenskonzept erläutert, zu einer Gärstrecke zusammengeschlossen, mit dem Ziel eine CSB Reinigungsleistung von mindestens 95 % innerhalb von 24 Stunden zu erzielen. Der Schwerpunkt ist somit die Entwicklung einer Hochleistungsmethanstufe, die für die Verwertung der oben genannten Substrate geeignet ist.

2 VERFAHRENSKONZEPT

2.1 Gesamtkonzept

Hinsichtlich des zu entwickelnden Anaerobverfahrens handelt es sich um eine mehrphasige Vergärung. Das Substrat durchläuft zunächst eine Hydrolysestufe in der die Makromoleküle in einfache organische Verbindungen gespalten werden.

Nachgeschaltet befindet sich eine Verfahrenseinheit zur kontrollierten Umsetzung der Stickstofffracht des stickstoffreichen Hydrolysates. Anwendung findet hier die Ammonium-Strippung sowie die Magnesium-Ammonium-Phosphat Fällung.

Nach der Anpassung des Stickstoffgehaltes (Stickstoffgehalt in Abhängigkeit der Versuchsergebnisse), erfolgt die Überführung in die Acidogenestufe. Das Ziel dieser Stufe ist die Umsetzung der Kohlenstofffracht in organische Säuren. Anschließend zur Biogasgenerierung, wird das noch stickstoffhaltige Hydrolysat nach der Acidogenestufe in die angedachte Methanstufe überführt. Die hier beschriebenen Stufen, sollen später in Form eines kompakten Prozesscontainers evaluiert werden, der einen flexiblen Einsatz in der Praxis ermöglicht.

Die Trennung der Hydrolyse- /Acidogenesestufe von der Methanisierung ermöglicht die Optimierung der einzelnen Stufen mit dem Hintergrund eines optimierten Abbaus der Kohlenstofffracht. Hierzu soll eine Fracht von 50 g/l CSB umgesetzt werden, mit dem Ziel einen Abbaugrad von 95 %, bei einer geringen hydraulischen Verweilzeit.

Die Entwicklung der nachfolgend genannten „Hochleistungsmethanstufe“, mit der Herausforderung der erhöhten Stickstofffracht sowie der angestrebten hohen Raumbelastung, bilden den Gegenstand des vorliegenden Forschungsvorhabens. Um die kontinuierlich zugeführte hohe CSB Fracht in Biogas umzusetzen, werden drei Reaktortypen verwendet. Das mehrstufige Verfahren der Hochleistungsmethanstufe beinhaltet einen Rieselbettreaktor, einen Upflow anaerobic sludge bed (UASB) Reaktor, sowie einen Reaktor der einen Anaerobfilter (AF) beinhalten soll, dargestellt in Abbildung 1.



Abb. 1: Verfahrenskonzept bestehend aus links Rieselbett, UASB, rechts Anaerobfilter.

Das Hydrolysat wird mittels eines Verteilersystems zunächst in den Rieselbett- (RB) Reaktor eingebracht. Dieser beinhaltet einen im System verbleibenden Metallkäfig, gefüllt mit Kunststoffpellets, die Aufwuchsfläche für die Mikroorganismen bieten. Die Verwendung der Pelletskörper findet bisweilen vor allem in der aeroben Abwasserbehandlung Anwendung.

Die Wahl des RB-Reaktors als erste Stufe des mehrphasigen Systems, begünstigt die Reduktion einer Hemmung durch eine hohe Konzentration an organischen Säuren. Konzentrationsspitzen können vermieden werden, indem das Hydrolysat durch das Rieselbett in den zweiten Reaktor überführt wird und zunächst einen Teilabbau von 10 % bewirkt.

Die zweite Prozessstufe, besteht aus einem UASB Reaktor, in der die acetogene Methanogenese stattfinden soll. Dieser wird von unten nach oben durchströmt (upflow), sodass sich aufgrund der Absetzeigenschaften ein Schlammbett ausbilden kann. Durch eine potenzielle Selbstaggregation der Mikroorganismen nach Bischofsberger et. al (2005), bilden diese dreischichtigen Pelletkörper welche am Reaktorboden absinken.

Die dritte Stufe ist ein Reaktor mit integriertem Anaerobfilter, in dem die hydrogenotrophe Methanogenese erzielt werden soll. Hierzu wird Hydrolysegas in den Anaerobfilter eingebracht, in dem sich Mikroorganismen (Syntrophic acetate oxidising bacteria) anreichern sollen, damit Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid zu Methan umgewandelt werden kann.

Nach der Etablierung der Biozönose und Ermittlung der Leistungsparameter der einzelnen Stufen (RB, UASB, AF), wird die zweite und dritte Stufe zu einem Hybridreaktor zusammengeschlossen, welcher mit dem RB die Gesamtmethanstufe bildet.

Im Zuge der Validierung soll im Laufe des Projektes zudem auch die Möglichkeit der Prozesswasserrückführung untersucht werden. Hierzu werden die Durchflussgeschwindigkeiten des CSB-armen Prozesswasser in die erste Stufe der Methanstufe variiert.

2.2 Teilkonzept

Für die Entwicklung des oben genannten Gesamtkonzeptes ist die Errichtung einer Hochleistungsmethanstufe für die Arbeiten des Teilkonzeptes angedacht. Für die Definition der Leistungsparameter des Konzeptes Hochleistungsmethanstufe ist zunächst ein Referenzversuch durchzuführen, der die einzelnen Reaktoren bis auf die maximal verträgliche Raumbelastung [kg CSB/m³d] hochfährt. Die baulichen Unterschiede (RB, UASB, AF) und die Variation der Prozessparameter (Perkolationsdauer, unterschiedliche Kunststoffpellets) lassen auf eine unterschiedliche Leistung schließen. Die optimale Betriebsweise gilt es zu ermitteln um die Erkenntnisse anschließend auf die mehrstufige Hochleistungshybridanlage anwenden zu können. Das aktuelle Ziel in dieser Projektetappe ist somit die Beschickung mit einem Substrat welches repräsentativ für das Hydrolysat ist. Mit der schrittweisen Reduzierung der hydraulischen Verweilzeit, bei einer stabilen Gärung wird die Entwicklung der Hochleistungsmethanstufe angestrebt. Für die Entwicklung einer Hochleistungsmethanstufe, soll ferner ein Substrat mit einem hohen CSB-Gehalt zugeführt werden, was trotz der geringen HRT zu mindestens 95 % abgebaut wird. Die Bewertung der Stabilität der Reaktoren erfolgt anhand der Analyse der FOS/TAC-Werte (Flüchtige Organischen Säuren / Totales Anorganisches Carbonat) sowie anhand des Verhältnisses der Essigsäure zur Propionsäure. Weiterhin werden hierfür die Steigerung der CSB-Raumbelastung herangezogen, sowie die CSB Abbaugrade. Die Darstellung der Biogasentwicklung und Zusammensetzung sind bis zum aktuellen Zeitpunkt nicht relevant da ein Steady State status noch nicht erreicht wurde, der auswertbare Datensätze liefert.

3 ABGRENZUNG ZUM STAND DER TECHNIK

Der Einsatz der genannten Pelletkörper ist für stickstoffreiche und salzhaltige Substrate nicht ausreichend erprobt, hier besteht ein Risiko des Zusetzens des Trägermaterials und dessen Inaktivierung. Die Bildungs- und Abbaumechanismen der Stickstoffverbindungen im Verfahren sind nicht geklärt. Weiterhin ist die Methananreicherung mittels externer Wasserstoffzufuhr für die hydrogenotrophe Methanogenese bisweilen nicht betriebssicher. Es ist lediglich bekannt, dass hierfür große Kontaktflächen und eine entsprechende Kontaktzeit erforderlich sind (Bischofsberger et. al 2005).

4 METHODIK

Aktuell werden die oben beschriebenen Reaktoren, täglich mit einem Modellsubstrat beschickt. Um das Maximum an organischer Raumbelastung für die jeweiligen Reaktoren (RB, UASB, AF) zu erreichen ist eine Prozessüberwachung notwendig.

Anhand der Parameter die im Rahmen der Prozessüberwachung erfasst und analysiert werden, lässt sich die Stabilität der Reaktoren bewerten und die organische Raumbelastung schrittweise steigern.

Ein Parameter zur Bewertung der Stabilität der Reaktoren, ist der pH-Wert. Beim Abbau von proteinreichen Substraten werden puffernde Ionen freigesetzt. Weiterhin kann es beim anaeroben Abbau zu einer Akkumulation von organischen Säuren kommen, die eine pH-Wert Absenkung verursacht und somit die Bedingungen für die Methanisierung verschlechtert. Der ideale pH-Wert Bereich liegt zwischen 6,8 und 8. Jedoch sind die absoluten Werte nicht ausreichend für die Beurteilung der Prozessstabilität. Die Beobachtung der zeitlichen Entwicklung, kann viel mehr einen Hinweis geben, ob die Reaktoren stabil sind. (Fachverband Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2013)

Die wöchentliche Analyse des Verhältnisses FOS/TAC, der CSB-Abbaugrade sowie auch das Verhältnis zwischen der gebildeten Essigsäure und Propionsäure im Output dienen weiterhin der Prozessbewertung.

Die Steigerung der Raumbelastung und die Bewertung der Prozessstabilität werden aktuell durchgeführt, weshalb auf detaillierte Ergebnisdarstellungen verzichtet wird.

5 AUSBLICK

Die Steigerung der maximalen organischen Raumbelastung wird voraussichtlich bis Ende August 2018 durchgeführt. Die Ergebnisse für den Referenzversuch, sollen unter dem Aspekt der stabilen Gärung dargestellt werden.

Hierbei bilden die Detektion der maximalen Ammoniumbelastung und der Vergleich mit dem Stand in Wissenschaft und Technik ein Schwerpunkt.

Sind die Leistungsparameter anhand des Referenzversuches definiert, werden wie im Kapitel 2.1 die Reaktoren zu einer Gärstrecke zusammengeschlossen um die Leistungsparameter der gesamten Methanstufe ermitteln zu können.

LITERATUR

- Bischofsberger, W., Dichtl, N., Rosenwinkel, K.-H., Seyfried, C.-F., Böhnke, B. (Hrsg.) (2005) Anaerobtechnik, Springer Verlag
 Fachverband Nachwachsende Rohstoffe e. V. (Hrsg) (2013) Leitfaden Biogas – Von der Gewinnung zur Nutzung, 6. Auflage

Einsatz von Ballistikseparatoren als Vorsortieraggregat in schweren Materialströmen

C. Nordmann & U. Sigmund

Stadler Anlagenbau GmbH, Konstruktion und Entwicklung, Altshausen, Deutschland

KURZFASSUNG: Im vorliegenden Beitrag werden Möglichkeiten für den Einsatz von Ballistikseparatoren in schweren, nicht vorzerkleinerten oder vorsortierten Materialströmen aufgezeigt. Ausgehend von den nötigen Voraussetzungen und der konstruktiven Umsetzung an der Maschine selbst und der weiteren Anlagenbestandteile, werden Vorteile bei der möglichst frühen Verwendung der ballistischen Sortierung im Aufbereitungsprozess beschrieben. Ein mögliches Prozessschema und bisherige Sortierergergebnisse von Materialströmen im Bereich Deponieaushub und Gewerbeabfall zeigen die möglichen Potentiale des Ballistikseparators vom Typ STT6000.

1 EINLEITUNG

Ballistikseparatoren werden bislang hauptsächlich in Recyclinganlagen für die Sortierung von Papier/Pappe, Leichtverpackungsmaterialien und Hausmüll eingesetzt. Dabei wird der Abfallstrom in drei Fraktionen separiert, eine hauptsächlich zweidimensionale oder weiche Fraktion (2D oder flächige Fraktion), eine hauptsächlich dreidimensionale oder harte Fraktion (rollende oder 3D Fraktion) und eine Absiebfraktion. Für einen fehlerfreien Einsatz ist eine Vorsortierung bzw. Vorzerkleinerung des Aufgabematerials notwendig, um zu große bzw. zu schwere Objekte zu entfernen (Martens 2011). Diese führen bei marktüblichen Ballistikseparatoren zu Beschädigungen bzw. Verstopfungen.

2 BALLISTISCHE SORTIERUNG ZUR VORSORTIERUNG

2.1 Voraussetzungen und Umsetzung

Für den Einsatz in Abfallströmen, welche weder vorzerkleinert noch vorsortiert werden, sind Ballistikseparatoren mit speziellen Konstruktionsmerkmalen nötig. Am Ballistikseparator Typ STT6000 kommen Wellen mit einem Hauptdurchmesser von 280 mm ohne zusätzliche Abstützung im Maschineninneren zum Einsatz. Die Absiebfraktion kann so ungehindert ausgeschleust werden. Die Auslassöffnungen für die 2D und 3D Fraktion sind groß genug um Objekte mit einem Kantenmaß von 2 m x 1 m x 1 m passieren zu lassen. Durch stabile, in einem Stück geschweißte Paddel können Einzelpartikel bis zu 200 kg auf die Maschine aufgegeben werden. Paddellochungen von 200 mm, 120 mm und minimal 90 mm verhindern ein Zusetzen der Paddelbeläge bei feuchtem Aufgabematerial. Schmierbohrungen in den Wellen erlauben eine ständige Schmierung von außen, um Schmutz und Feuchtigkeit während des Betriebs von der Lagerung fern zu halten (Abbildung 1).

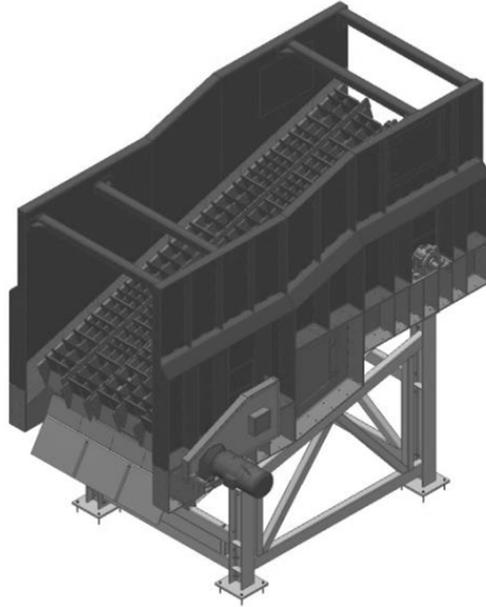


Abb. 1: Ballistikseparator STT6000.

2.2 Prozessvorteile

Durch einen stabil ausgelegten Ballistikseparator kann dessen Sortierprinzip auf Stoffströme mit großem Einzelkorn angewandt werden. Beispielhaft hierfür sind Gewerbemüll, Deponieaushub und Sperrmüll. Durch die Aufkonzentration von Wertstoffen in den typischerweise erzeugten Fraktionen ergeben sich Vorteile. In der 3D Fraktion kann eine werkstoffliche Sortierung bei größeren Einzelstücken erfolgen, damit erhöht sich Ausbringung und Reinheit. In der 2D Fraktion kann bei Bedarf ebenfalls eine Sortierung bei größeren Einzelstücken erfolgen, außerdem ist für den Fall einer Brennstoffherzeugung eine spezifischere und damit kostengünstigere Nachzerkleinerung möglich, da mögliche Störstoffe bereits im ersten Prozessschritt als komplettes Einzelkorn entfernt werden.

2.3 Folgeprozesse

Bei der weiterführenden Prozesstechnik für die 2D und 3D Fraktion müssen die möglichen hohen Abmaße und Gewichte einzelner Objekte beachtet werden. Abbildung 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer möglichen Aufgabe- und Vorsortierlinie. Der Aufgabeförderer benötigt eine Gurtbreite nahe an der Arbeitsbreite des Ballistikseparators, um eine optimale Materialverteilung auf der Paddeloberfläche zu gewährleisten und gleichzeitig das grobstückige Aufgabematerial transportieren zu können. Die Ausführung als Kettengurtförderer mit stabilen Quertraversen ist ratsam, um den hohen Schüttgewichten zwischen 200-1000 kg/m³ gerecht zu werden. Besonders im Bereich der rollenden Fraktion ist eine zusätzlich Prallplatte vorzusehen. Die Aufprallenergien der so sortierten Objekte kann so reduziert werden, damit Schäden am weiterführenden Förderer weitestgehend vermieden werden. Der weitertransportierende Förderer im Bereich der flächigen Fraktion sollte in einer Linie zum Ballistikseparator weitergeführt werden, um das Einhängen großer Folien am Maschinenrahmen zu vermeiden, welches bei 90 Grad Übergaben auftritt.

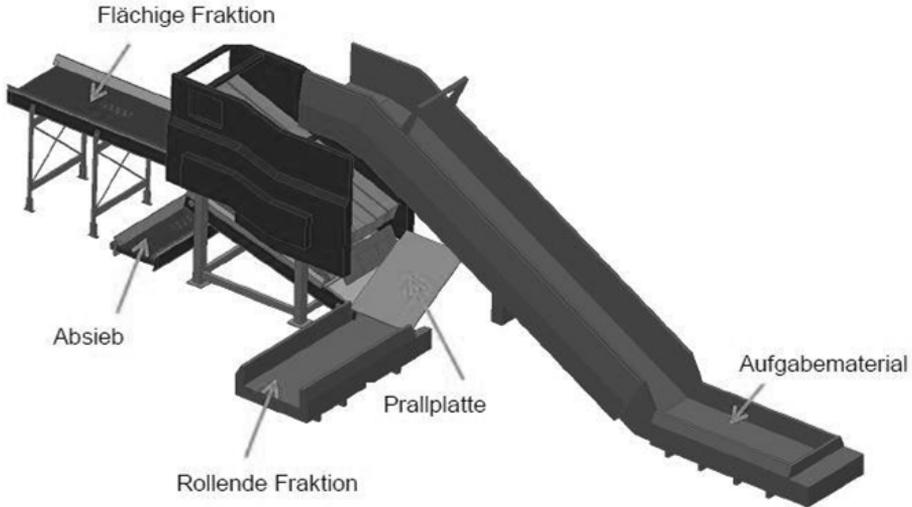


Abb. 2: Vorsortierung mittels Ballistikseparator STT6000.

Aus der 3D Fraktion können mittels Roboter-Sortier-Systemen große Objekte, wie Steine, Holz oder Metalle entfernt werden. Bei der 2D Fraktion ist eine Separierung mittels NIR-Technik (Nahinfrarot), oder je nach zu erwartender Korngröße auch eine händische Nachsortierung möglich. Dabei ist zu beachten, dass je nach Aufgabematerial, auch große weiche Objekte in der flachen Fraktion zu erwarten sind. In Abbildung 3 ist ein beispielhaftes Prozessschema für Gewerbemüll dargestellt

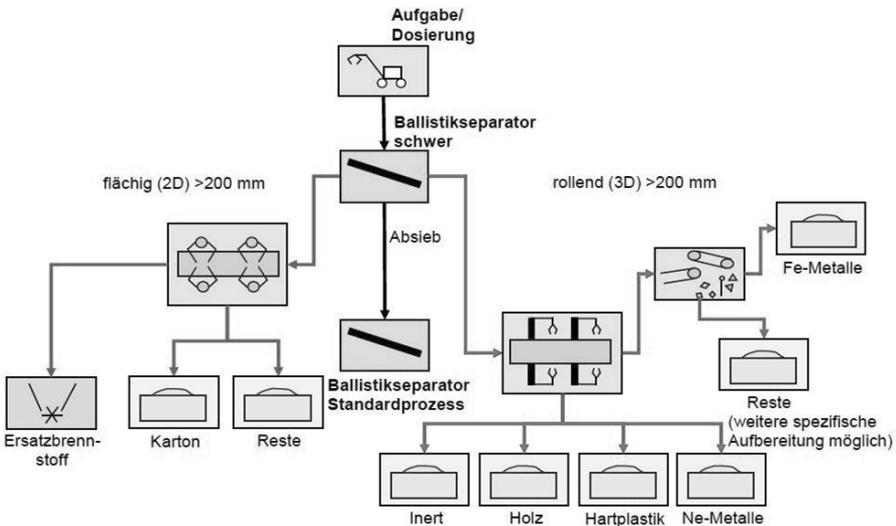


Abb. 3: Prozessschema Gewerbemüll.

Nach der händischen Abreinigung der flächigen Fraktion größer 200 mm können die großflächigen Folien zerkleinert werden. Durch die vorherigen Prozessschritte ist an dieser Stelle kaum mehr mit Störstoffen zu rechnen, welche zusätzlichen Verschleiß

am Zerkleinerungsaggregat hervorrufen. Der rollenden Fraktion größer 200 mm werden zunächst mittels verschiedener sensorbasierter Sortiermechanismen (NIR, Kameras, Metalldetektoren) und robotergestützten Greifarmen Fraktionen wie Steine/Beton, Holz, Hartkunststoffe und Nichteisenmetalle entnommen (ZenRobotics 2017). Hier liegt der Fokus auf großen und schweren Objekten, welche händisch nur schwer bewegt werden können. Anschließend kann mittels Überbandmagnet eine eisenhaltige Metallfraktion erzeugt werden. Die Restfraktion kann noch, je nach Gehalt an Wertstoffen und Korngrößenverteilung mittels NIR-Technik weiter aufbereitet werden oder der eigentlichen Hauptsortierlinie zugeführt werden. Die Absiebfraktion kleiner 200 mm wird zur weiteren Aufbereitung auf weitere Ballistikseparatoren aufgegeben. Die Vorsortierung durch eine Siebtrommel entfällt in diesem Schema.

2.4 Typische Sortierergebnisse

Auch in schweren Materialströmen werden bei der Sortierung mittels Ballistikseparatoren eine hauptsächlich zweidimensionale oder weiche Fraktion (2D oder flächige Fraktion), eine hauptsächlich dreidimensionale oder harte Fraktion (3D oder rollende Fraktion) und eine Absiebfraktion erzeugt. Typische Aufgabematerialien sind in Abbildung 4 zu sehen. Besonders im Gewerbemüll sind große Einzelpartikel wie Matratzen oder großflächige Folien zu sehen. Der dargestellte Deponieaushub beinhaltet einen großen Anteil Bauschutt, mit Mauerwerksresten, Ziegeln, Betonbruch und Holzbalken.



Abb. 4: Aufgabematerialien, links: Deponieaushub, rechts: Gewerbemüll.

Da das Aufgabematerial nicht vorzerkleinert oder vorsortiert wird, können Objekte in die jeweiligen Fraktionen gelangen, welche in der Regel bei bisherigen Sortierprozessen mit Ballistikseparatoren nicht auftreten. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Paddelausführung, welche besonders massive Querrippen aufweist und so einerseits das Material stärker in Richtung flächige Fraktion schiebt, andererseits dreidimensionale aber weiche Objekte am Abrutschen Richtung rollende Fraktion hindert (Pifko 2007).

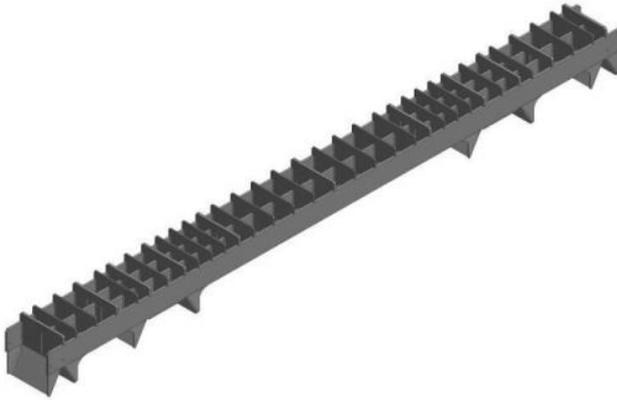


Abb. 5: Geschweißtes Paddel mit 200 mm Sieblochung.

In Abbildung 6 sind typische, sortierte Fraktionen eines Ballistikseparators STT6000 dargestellt. Typische Bestandteile der rollenden Fraktion sind Steine, Beton, Mauerwerksreste, Metalle, dreidimensionale Kunststoffobjekte, vorwiegend aus Hartplastik und Holz in Form von Balken und Brettern. In der flächigen Fraktion sind vorwiegend Folien zu finden. Besonders bei Gewerbemüll kommt der im vorherigen Abschnitt beschriebene Effekt zu tragen, sodass beispielsweise Matratzen, geschlossene Säcke, oder Objekte mit weichen Oberflächen, wie alte Polstermöbel aus Sperrmüllsammungen in diese Fraktion gelangen können (Abbildung 7).

Im Absieb sind die Partikel kleiner der Sieböffnung der Paddel zu finden. Besonders bei bauschuttähnlichem Aufgabematerial kann hier ein hoher Anteil an Ziegeln oder Steinen die nachfolgenden Sortieraggregate beanspruchen. Durch die große Paddellochung und die hohe Abwurfhöhe vom Aufgabeförderer auf die Paddeloberfläche ist es langen, aber schmalen Objekten, wie Holzleisten oder Metallstangen möglich in die Absiebfraktion zu gelangen.



Abb. 6: Sortierte Fraktionen, oben: Deponieaushub, unten: Gewerbemüll (jeweils 3D, 2D, Absieb).



Abb. 7: Beispiele für aussortierte Objekte, links: Steine und Beton, mittig: Altholz, rechts: Altmöbel.

3 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit einem entsprechend ausgelegten und dimensionierten Maschinendesign ist die Verarbeitung von nicht vorzerkleinerten und nicht vorsortierten Materialströmen mittels eines Ballistikseparators möglich. Zusätzlich müssen Maßnahmen getroffen werden, um auch die nachfolgenden Sortierschritte, besonders im Bereich der anfallenden flächigen und rollenden Fraktionen größer als 200 mm für eine Weiterverarbeitung ausreichend zu dimensionieren und zu gestalten.

Durch diese Maßnahmen kann großes Einzelkorn separat sortiert werden, eine kostengünstigere Nachzerkleinerung wird möglich und es kann eine Fraktion kleiner 200 mm für die weitere Sortierung erzeugt werden.

Erste Tests mit verschiedenen Gewerbeabfällen und Deponieaushub wurden erfolgreich durchgeführt (Garcia Lopez et al. 2018). Der erste Ballistikseparator vom Typ STT6000 ist in einer Aufbereitungsanlage für Gewerbeabfall und schweren Hausmüll als Vorsortieraggregat vorgesehen. In Kombination mit robotergestützter Nachsortierung der rollenden Fraktion dieser Maschine können dort weitere Erkenntnisse über den Einsatz von Ballistikseparatoren in schweren Materialströmen gewonnen werden.

LITERATUR

Garcia Lopez, C., Hernández Parrodi, J.C., Küppers, B., Clausen, A. Pretz, T. (2018) *The potential of a ballistic separator type STT6000 as a first step for the recovery of refused derived fuel from landfill material: a case study at Mont Saint Guibert landfill*. In: Proceedings of the 4th International Symposium on Enhanced Landfill Mining. Fachtagung, 5.-6.2.2018, Mechelen, Belgien

Martens, H. (2011) *Recyclingtechnik*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg

Pifko, A. (2007) *Untersuchung von Einflussparametern bei Ballistik Separatoren*. Weingarten

ZenRobotics (2017) Datenblatt ZenRobotics Heavy Picker und Sensor Fusion

Katalog zu Bodenproben aus der Steiermark mit geogener Metallbelastung

M. Brechlmacher & M. Wellacher

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Leoben, Österreich

KURZFASSUNG: Das Projekt ReSoil wird unter Mitfinanzierung der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) am Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft in Zusammenarbeit mit dem Institut für Pflanzenbau an der Universität für Bodenkultur und dem Komposterdenhersteller Franz Poschacher in Krauth/Mur durchgeführt. Die Zielsetzung dieses Projekts liegt in der Entwicklung von Qualitätssicherungsmethoden zur Wiederverwendung und dem Recycling von Bodenaushub mit geogen bedingten Metallgehalten, u.a. in Bodensubstraten. Dabei wird mittels Laborversuchen sowie Klein- und Großgefäßtests der Zusammenhang zwischen Gesamtgehalt ausgewählter Metalle und ihrer Toxizität untersucht. Sämtliche Ergebnisse zu ausgewählten steirischen Böden wurden in einem Katalog zusammengefasst, Literaturdaten gegenüberstellt und hinsichtlich möglicher Verwertungs- und Ablagerungsmöglichkeiten bewertet.

1 EINLEITUNG

Eine nachhaltige Ressourcennutzung und Kreislaufführung eingesetzter Stoffe beinhaltet neben den durch Menschenhand geschaffenen Produkten, auch die natürlichen Ressourcen, die im Zuge menschlichen Handelns erst zu „Abfällen“ werden. Eine dieser „natürlichen Abfallfraktionen“ bildet die Gruppe der Aushubmaterialien, die mehrere unterschiedliche Schlüsselnummern beinhaltet und zum Teil zur Gruppe der Baurestmassen zählt. Die EU Abfallrahmenrichtlinie (Europäische Union 2008) zieht gemäß den Grundsätzen der Abfallhierarchie eine Wiederverwendung grundsätzlich einer Deponierung vor, ohne im Fall der Aushubmaterialien eine Recyclingquote vorzuschlagen. Die Anforderung bei der Herstellung rezyklierter Produkte ist es, dass aus Abfällen hergestellte Sekundärrohstoffe kein größeres Gefahrenpotential aufweisen dürfen als vergleichbare Primärrohstoffe. Die Geologie Österreichs hält für die stoffliche Verwertung von Bodenaushub einige Herausforderungen bereit, die es bei der Verwertung potentieller kritischer Böden und der Weiterverarbeitung zu kommerziellen Rekultivierungssubstraten zu beachten gilt. Der Gesetzgeber hat für Bodenaushubmaterialien mit geogener Hintergrundbelastung von Metallen eine eigene Kategorie geschaffen.

2 AUSGANGSLAGE

Laut Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) betrug das österreichische Gesamtabfallaufkommen im Jahr 2015 59,8 Millionen Tonnen, wobei die Gruppe der Aushubmaterialien mit 32,8 Millionen Tonnen die mengenmäßig größte Abfallkategorie (BMNT 2018) einnahm. Der Anteil von Bodenaushub mit geogen bedingter Hintergrundbelastung am gesamten Aufkommen von Aushubmaterialien schwankte im Laufe der letzten Jahre, wobei das Gesamtaufkommen von Aushubmaterialien bedingt durch große Infrastrukturprojekte (u.a. Koralmtunnel) und verbesserte statistische Erfassung kontinuierlich steigt bzw. voraussichtlich noch weiter steigen wird (Abb.1). (BMNT 2018)

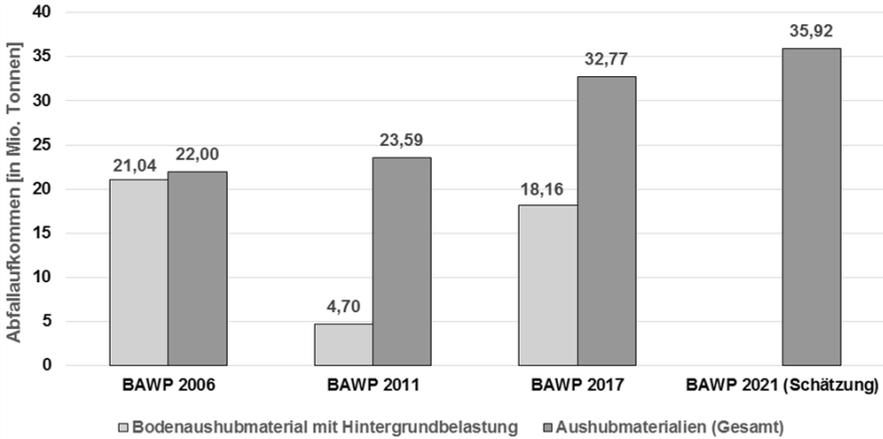


Abb. 1: Entwicklung des Abfallaufkommens von Aushubmaterialien (nach BMLFUW/BMNT).

Der Anteil der verwerteten Menge an Bodenaushubmaterial mit Hintergrundbelastung lag zuletzt bei knapp 16 %, die Verwertungsquote der Aushubmaterialien insgesamt bei ca. 29 % (BMNT 2018) (Abb.2).

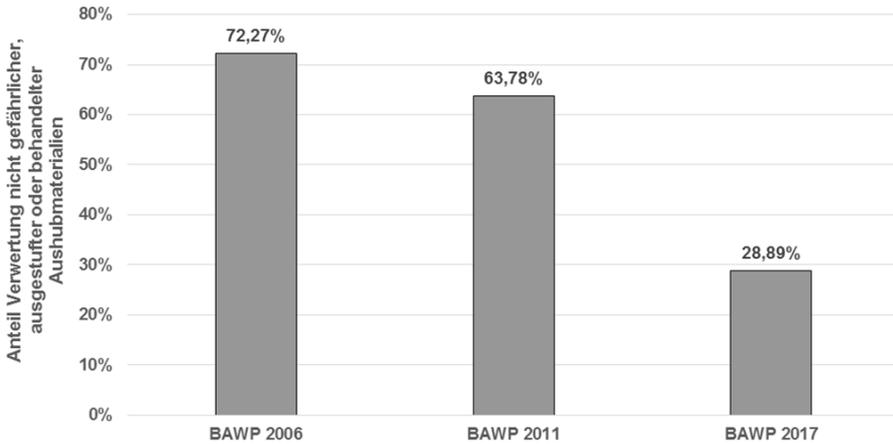


Abb. 2: Entwicklung Verwertungsquote von Aushubmaterialien (nach BMLFUW/BMNT).

In erster Linie orientiert sich die Verwertung von Aushubmaterialien in Österreich an der geltenden Gesetzgebung (u.a. Deponieverordnung 2008) sowie dem als objektiviertem generellen Gutachten eingestuften Bundesabfallwirtschaftsplan. Diese Regelungen beziehen sich überwiegend auf die Gesamt- und Eluatgehalte ausgewählter Elemente und Verbindungen. Bodenaushub und daraus hergestellte Produkte werden darin hinsichtlich ihrer Verwertungseignung insbesondere schadstoffseitig bewertet, wobei dabei einige ausgewählte Metalle zur Beurteilung herangezogen werden. Eine Unterscheidung zwischen Schadstoffgehalt und Schadstoffwirkung wird nicht vorgenommen. Hier setzt das Projekt ReSoil an.

3 METHODIK

Zur Dokumentation und Überwachung der Umweltbelastung von Böden wird seitens des österreichischen Umweltbundesamts in Kooperation mit den Bundesländern das Bodeninformationssystem BORIS betrieben. Über diese Plattform können vergleichbare und qualitätsgeprüfte Bodendaten der Bundesländer und des Bundes aus einem Untersuchungsraaster für ausgewählte Schadstoffe online abgerufen werden.

Auf Grundlage der Gesetzgebung zum Bodenschutz wird seitens des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung seit Mitte der 1980er Jahre in wiederkehrenden Überprüfungen der Zustand des Bodens in der Steiermark dokumentiert. Die ausgewählten Standorte in diesem Untersuchungsraaster sind über das gesamte Bundesland verteilt. Auf Basis dieser Daten wurden im Rahmen von ReSoil 14 Untersuchungsstandorte ausgewählt, die hinsichtlich bekannter Metallgehalte in den jeweiligen Oberböden als potentiell kritisch bezüglich der Verwertung von Bodenaushubmaterial erachtet wurden.

Dazu wurden an diesen Standorten Proben entnommen (Abb. 3) und für eine Schadstoffbeurteilung die Gehalte der Metalle Nickel, Blei, Chrom, Cadmium, Arsen, Kupfer und Quecksilber analysiert. Neben der Betrachtung von Bodenaushub wurden auch Rekultivierungssubstrate aus einigen dieser entnommen Bodenproben hergestellt sowie für eine gesamtheitliche Betrachtung auch kommerzielle Produkte österreichischer Substrathersteller untersucht und für eine vergleichende Beurteilung herangezogen. Neben den ausgewählten Metallgehalten wurden die Proben zusätzlich bodenkundlich (u.a. Nährstoffcharakteristik, bodenbildende Mineralphasen) analysiert. Für die Untersuchungsstandorte wurden zudem auch Überlegungen zur Unterscheidung zwischen anthropogener und geogener Umweltbelastung getroffen.



Abb. 3: Probenahme mit der Pürckhauer-Methode.

In weiterer Folge wurden alle gesammelten Ergebnisse und Daten den gesetzlichen bzw. normativen Rahmenbedingungen gegenübergestellt und mögliche Verwertungsoptionen bzw. Deponierungskonsequenzen je Standort formuliert (Wellacher & Brechlmacher 2018).

4 KATALOG

Neben dem Vergleich mit gesetzlichen und normativen Rahmenbedingungen werden im Katalog auch Publikationen und Literaturdaten anderer Autoren für eine ganzheitliche Betrachtung herangezogen. Im ersten Teil des Katalogs finden sich gesetzliche Grenzwerte (u.a. Deponieverordnung 2008) und Werte gutachterlichen Charakters (Bundesabfallwirtschaftspläne) sowie Daten zum Bodenschutzprogramm des Landes Steiermark. In einem weiteren Abschnitt werden die unterschiedlichen Probenahme- und Analysenmethoden der Bodenproben ausgeführt. Zudem werden Kriterien zur Unterscheidung zwischen geogener und anthropogener Belastung definiert.

Der eigentliche Bodenkatalog umfasst die Charakterisierung der Proben 14 unterschiedlicher steirischer Standorte. Neben der geologischen und geografischen Beschreibung wird mit Ergebnissen und geologischen Kartierungen des Bodenschutzprogramms Steiermark referenziert. Die Ergebnisse der chemischen und bodenkundlichen Untersuchungen werden interpretiert und diskutiert. In dieser Diskussion wird dabei insbesondere auf den Vergleich mit den Werten des Bodenschutzprogramms Steiermark, den Vergleich mit Grenzwerten, die Beurteilung geogener oder anthropogener Belastung und allgemeine Aussagen zum Boden (u.a. Nährstoffgehalt) eingegangen.

5 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Die Zusammenstellung in Form dieses Katalogs zielt darauf ab, sämtliche Messergebnisse des Projekts ReSoil nachvollziehbar zu dokumentieren und zu interpretieren. Die Interpretation ermöglicht die Aussage ob bei den betrachteten Böden im Falle, dass sie in Zukunft im Zuge einer Bautätigkeit als Bodenaushub anfallen, eine geogene oder eine anthropogene Belastung vorliegt. Dadurch können Fragen zur möglichen Verwertungsoptionen bereits im Vorhinein getroffen werden.

6 DANKSAGUNG

Die Autoren danken der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sowie dem Komposterdenhersteller Franz Poschacher für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projekts ReSoil sowie dem Institut für Pflanzenbau an der Universität für Bodenkultur für die Zusammenarbeit.

LITERATUR

- Europäische Union (2008) Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie)
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2006) Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2016. Stubenbastei 5, 1010 Wien
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2011) Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011. Stubenring 1, 1010 Wien
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) (2018) Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Stubenring 1, 1010 Wien
- Umweltbundesamt (2018) Bodeninformationssystem BORIS, <http://www.umweltbundesamt.at/boris>
- Wellacher, M. & Brechlmacher, M. (2018) Katalog Bodenproben aus der Steiermark mit geogener Metallbelastung – Projekt ReSoil. Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Projektbericht.

Thermoprozesstechnik – Wertstoff- und Wärmerückgewinnung aus Eisenhüttenschlacken

K. Doschek, M. Hohenberger, B. Mühlbacher, C. Ponak, & H. Raupenstrauch

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik (TPT), Leoben, Österreich

KURZFASSUNG: Um den aktuellen Anforderungen aus Politik und Gesellschaft gerecht zu werden, gilt es Wertstoffkreisläufe zu schließen und ungenutzte Energiequellen nutzbar zu machen. Bei der Hochtemperaturprozesstechnik als Arbeitsgebiet der Thermoprozesstechnik werden metallurgische und verfahrenstechnische Problemstellungen bei hohen Temperaturen behandelt. Die gegenwärtigen Schwerpunkte der Arbeitsgruppe liegen in der Entwicklung von Sekundärrohstoff- und Wärmerückgewinnungsprozessen für Eisenhüttenschlacken. Aktuelle Forschungsprojekte sind dabei die Trockenschlackengranulation (Rotationszerstäubung) von Hochofenschlacken und die reduzierende Behandlung von Stahlwerksschlacken (InduRed). In diesen Bereichen wird aktuell an den Grundlagen im Technikumsmaßstab gearbeitet.

1 EINLEITUNG

Ausgangspunkt zur Bearbeitung der genannten Forschungsfragen im Technikumsmaßstab liegt in der Verwendung eines selbstentwickelten induktiven Schmelztaggregats (InduMelt), welches die Behandlung und das Erschmelzen verschiedener mineralischer Materialien im Kilomaßstab ermöglicht, siehe Abb. 1. (Hohenberger in Bearbeitung; Obererlacher 2017)

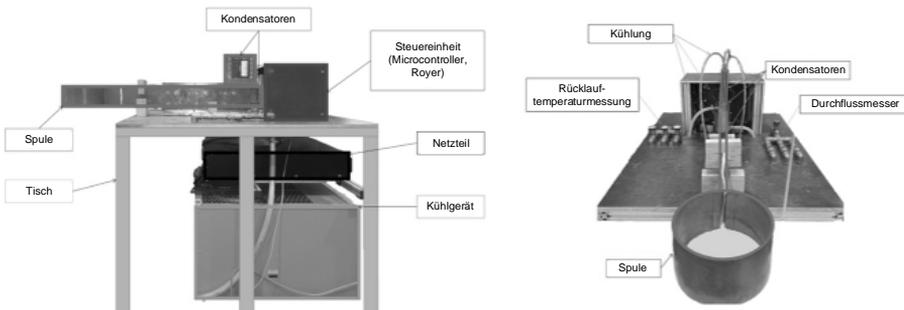


Abb. 1: InduMelt Technikumsanlage am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik (MUL/TPT) (Obererlacher 2017).

Aufgrund der Flexibilität der Anlage sind die Anwendungsmöglichkeiten vielfältig. Einerseits liegt das Interesse im verfälschungsfreien Wiederaufschmelzen von verschiedenen Schlackenproben, um diese anschließend zu behandeln. Andererseits ist es möglich die Schlacke durch Zuschlagstoffe oder Reduktionsmittel zu modifizieren.

Aktuell liegt der Schwerpunkt in der Verarbeitung von Hochofen- und Stahlwerksschlacke. Dabei steht die Wertstoff- und Wärmerückgewinnung im Fokus.

2 TECHNIKUMSANLAGEN

Gleichzeitig wurde auch die induktiv beheizte Graphitschüttung zur Behandlung von Stahlwerksschlacken, abgeleitet aus dem RecoPhos-Prozess (Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen), weiter optimiert. Für die Rotationszerstäubung wird die InduMelt als Schmelzaggregat für die Untersuchungen von Schlacken bis zu drei Kilogramm herangezogen. (Ponak et al. 2018; Schönberg et al. 2018)

2.1 Hochofenschlacke – Rotationszerstäubung – InduMelt (Technikumsmaßstab)

Im Bereich der Hochofenschlacke wird an der Wärmerückgewinnung durch Verwendung eines Rotationszerstäubers mit Luft gearbeitet, um einerseits hochqualitativen Hüttensand zu erzeugen und andererseits die in der heißen, schmelzflüssigen Schlacke gespeicherte thermische Energie zur Wärmerückgewinnung zu nutzen. Im Rahmen von bereits durchgeführten Projekten konnte die Anwendbarkeit und Produktqualität für die Behandlung von Hochofenschlacke bereits bestätigt werden. Aktuell wird im Rahmen von FORWÄRTS 2.0 eine Pilotanlage direkt am Hochofen und eine Technikumsanlage betrieben, um die Grundlagen für die weitere Etablierung dieser Technik am freien Markt zu forcieren.

Durch die stetige Weiterentwicklung der Rotationszerstäubung von Schlacken ist es aktuell möglich im Technikumsmaßstab bis zu drei Kilogramm einzuschmelzen und zu behandeln, siehe Abb. 2. Dies ermöglicht die Untersuchung der Einflussgrößen der Zerstäubung. (Doschek 2017)

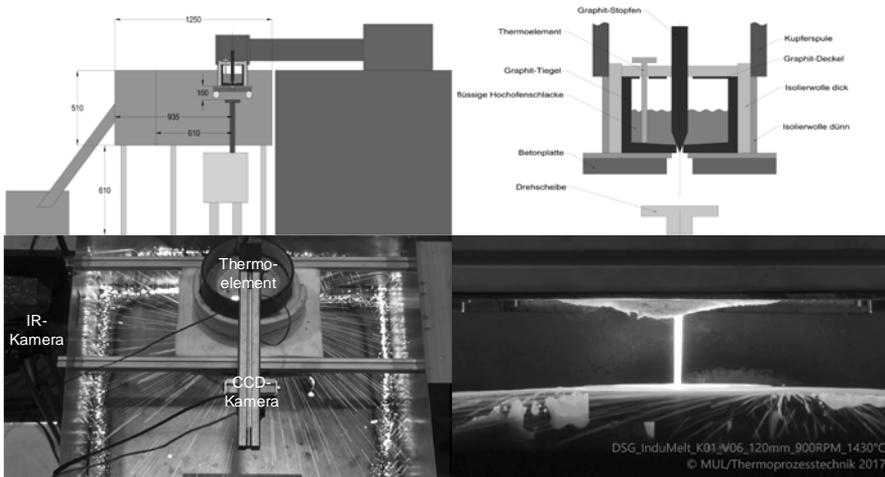


Abb. 2: Aufbau der Technikumsanlage zur Rotationszerstäubung am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik (MUL/TPT) (Hohenberger in Bearbeitung).

Mit Hilfe von Technikumsversuchen am Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik konnte bereits die grundsätzliche Funktionalität und Durchführbarkeit des Trockengranulationsverfahrens hinsichtlich einer Wärmerückgewinnung nachgewiesen werden. In weiterer Folge wurde der Fokus auf die Untersuchungsmöglichkeit der Einflussgrößen (Schlackentemperatur, Drehzahl, Rotationskörperdurchmesser, ...) und deren Wechselwirkung mit den Qualitätsmerkmalen (Korngrößenverteilung, mittlere Korngröße, ...) der Rotationszerstäubung verlagert. Dazu wurde eine neue Technikumsanlage gebaut, welche es ermöglicht die Schlacke unter reproduzierbaren Bedingungen zu verarbeiten. Ziel dabei ist die Entwicklung von empirischen Kenngrößen

(Schichtdicke am Rotationskörpertrand, Fadenanzahl und -länge) zur Charakterisierung des Zerstäubungsvorganges. Besonderer Fokus wird dabei auf die Onlineauswertung des Zerstäubungsvorganges mit Hilfe einer optischen Bildanalyse zur Fadenanzahl- und Tropfengrößenbestimmung, siehe Abb. 3, gelegt. (Doschek 2017)

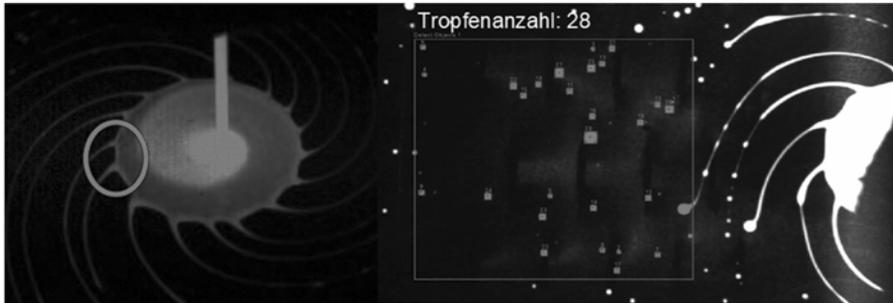


Abb. 3: Optische Bilderfassung zur Bestimmung der Fadenanzahl und des mittleren Tropfendurchmessers als Regelgröße bei der Rotationszerstäubung von Schlacke (Doschek 2017; Hohenberger 2017).

2.2 Stahlwerksschlacke - InduRed

Im Rahmen des K1-MET-Projektes 1.3 „Steelmaking Slag and Product Development“ wird an der sekundärrohstofflichen Verwertung von Stahlwerksschlacken gearbeitet. Die Zielsetzung besteht in der Entwicklung von Produkten aus Stahlwerksschlacke mit deutlicher Wertsteigerung. Die Hauptstoßrichtungen sind dabei einerseits die Rückführung der Wertmetalle, insbesondere Eisen, Mangan und Chrom, in den hütteninternen Produktkreislauf bei entsprechender Minderung der störenden Begleitelemente und andererseits die Verwendung der metallarmen Fraktion als Einsatzmaterial in der Baustoffindustrie unter marktkonformen Bedingungen. Um dieses Ziel zu erreichen bearbeitet der Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik folgende Fragestellungen,

- Umsetzbarkeit einer reduzierenden Behandlung von flüssiger Stahlwerksschlacke in einer induktiv beheizten Graphitschüttung zur Abtrennung einer Metallfraktion und einer mineralischen Fraktion.
- Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften von Stahlwerksschlacken nach einer Reduktion der Metalloxide, insbesondere der Fließfähigkeit, sowie des Rotationszerstäubungsverhaltens.
- Analyse der Anreicherung von Phosphor in der erzeugten Metallphase.

Darüber hinaus sind Anwendungen für Elektroofenschlacken und Nichteisenschlacken angedacht. Zusätzlich werden bei den Versuchen Daten zur Weiterentwicklung der induktiven Beheizung von Graphitschüttungen gesammelt, welche als Basis für die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen in einem carbothermischen Reaktor dienen.

3 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Die aktuell behandelten Punkte im Bereich der Eisenhüttenschlacken haben eine hohe Zukunftsrelevanz hinsichtlich der Rohstoffsicherung und Energieeffizienzsteigerung in Europa. Sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht ist die Bearbeitung dieser Thematik sinnvoll und liefert einen wichtigen Beitrag zur Abfallvermeidung, Wertstoff- und Wärmerückgewinnung. Der Lehrstuhl für

Thermoprozesstechnik an der Montanuniversität ist stetig bemüht die Forschung in diesem Bereich voranzutreiben und marktfähige Problemlösungskonzepte in Kooperation mit Industriepartnern zu forcieren.

4 DANKSAGUNG

Das Forschungsvorhaben zur Wärmerückgewinnung mittels Trockenschlackengranulation mit dem Akronym FORWÄRTS 2.0 wird aus Mitteln des Klima- und Energiefond gefördert und im Rahmen des Programms „Energieforschung“ durchgeführt. Die aktuellen Projektpartner sind Primetals Technologies Austria GmbH, voestalpine Stahl GmbH, FEhS – Institut für Baustoff-Forschung.

Das Forschungsprogramm des Competence Center for Excellent Technologies in „Advanced Metallurgical and Environmental Process-Development“ (K1-MET) wird im Rahmen des österreichischen Kompetenzzentren-Programmes COMET (Competence Center for Excellent Technologies) gefördert. Für die Förderungen sei an dieser Stelle ausdrücklich gedankt.

LITERATUR

- Doschek, K. (2017): Trockenschlackengranulation - Bewertung der Scheibenzerstäubung von Hochofenschlacke mittels interaktiver Bilderfassung. Dissertation. Montanuniversität Leoben, Leoben. Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik.
- Hohenberger, M. (in Bearbeitung): Arbeitstitel: Optimierung einer Rotationszerstäubungsanlage zur Behandlung von Hochofenschlacke im Technikumsmaßstab. Masterarbeit. Montanuniversität Leoben, Leoben. Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik.
- Hohenberger, M. (2017): Trockenschlackengranulation. Messbare Qualitätsmerkmale der Rotationsscheibenzerstäubung von Hochofenschlacke. Bachelorarbeit. Montanuniversität Leoben, Leoben. Thermoprozesstechnik.
- Ponak, C.; Windisch, S.; Raupenstrauch, H.; Schönberg, A. (2018): Methoden und Verfahren der Klärschlammbehandlung. In: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH (Hg.): Energie aus Abfall, Bd. 15. Unter Mitarbeit von S. Thiel, E. Thomé-Kozmiensky, P. Quicker, A. Gosten. Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz. Berlin. 15 Bände, S. 669–678. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2018_eaa/2018_EaA_669-678_Raupenstrauch.pdf, zuletzt geprüft am 07.05.2018.
- Obererlacher, E. (2017): Induktives Erwärmen von Suszeptoren in hochfrequenten Magnetfeldern. Bachelorarbeit. Montanuniversität Leoben, Leoben. Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik.
- Schönberg, A.; Raupenstrauch, H.; Ponak, C. (2018): Verfahren und Produkte der Phosphorrückgewinnung. In: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH (Hg.): Energie aus Abfall, Bd. 15. Unter Mitarbeit von S. Thiel, E. Thomé-Kozmiensky, P. Quicker, A. Gosten. Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz. Berlin. 15 Bände, 679-691. Online verfügbar unter http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2018_eaa/2018_EaA_679-692_Schoenberg.pdf, zuletzt geprüft am 07.05.2018.

Konditionierung von Laborabfällen zur stofflichen Verwertung

H.M. Menapace & F. Rossmann

Peter Seppela Gesellschaft m.b.H., Feistritz/Drau, Österreich

KURZFASSUNG: Bei der Übernahme von Labor- und Chemikalienresten zur Entsorgung kommt es oftmals vor, daß restentleerte Glasverpackungen zur Entsorgung übernommen werden. Bei der Entsorgung von Laborabfällen gibt es exakte Vorgaben zu Gewichtsbeschränkungen und Dokumentation bei der Übernahme und Weitergabe, zudem steht dabei die thermische Beseitigung von chemischen Substanzen im Vordergrund. Eine stoffliche Verwertung der Wertstoffe spielt hierbei keine Rolle. Durch die Abtrennung von kontaminierten Glasgebinden (Glasverpackungen mit geringen Restinhalten) als eigene Abfallfraktion sowie einer nachfolgenden Reinigung ist die Weitergabe der Glasverpackung als Wertstoff zur stofflichen Verwertung möglich. Das bei der Reinigung anfallende Waschwasser wird einer Behandlungsanlage für Flüssigabfall zugeführt; nachgereinigte Wässer aus der Anlage lassen sich dann wiederum als Spülwasser für die Gebindereinigung einsetzen. Neben der einfachen stofflichen Verwertung ist somit in mehrfacher Hinsicht eine Kreislaufschließung realisiert.

1 EINLEITUNG

In den letzten Jahren erfolgte ein sukzessiver Anstieg der Entsorgungskosten für die thermische Behandlung von Laborabfällen. Zudem nahm auch der logistische Aufwand für die Übernahme, Charakterisierung und Verpackung dieser Laborabfälle deutlich zu. Neben der Beilage einer detaillierten Packliste gilt es etwa die Anforderung einer Gewichtsbeschränkung von maximal 80 kg pro Spannringfaß mit Laborabfall zu berücksichtigen (Leitner et al. 2018). Weiters ist ein stetiger Bedarf an Fässern für die Weitergabe der Labor- und Chemikalienreste gegeben, da die Aufgabe der Abfälle in das Verbrennungsaggregat (Drehrohröfen) im Faß erfolgt. Bedingt durch diese Nachteile und der fehlenden stofflichen Verwertungsmöglichkeit bei dieser Entsorgungsschiene erfolgten Überlegungen zu einer alternativen Aufbereitung eines Teilstromes (restentleerte Laborglasflaschen) am Standort der Peter Seppela GmbH. durch Reinigung und Weitergabe in das Glasrecycling.

Im konkreten Fall wird ein Verfahren zur Konditionierung eines Teilstromes dieser Abfallfraktion (kontaminierte Glasgebinde aus Laboratorien) vorgestellt, welches in weiterer Folge eine stoffliche Verwertung der gereinigten Verpackungsgläser ermöglicht. Die Anlage ist vorerst für eine Jahresmenge an Glas von 10 bis 20 t ausgelegt.

2 ABLAUF DER FLASCHENREINIGUNG

Der eigentlichen Flaschenreinigung geht die Eingangskontrolle, nach erfolgter Übernahme vom Kunden, voraus (vgl. Abb. 1). Hierbei wird geprüft, ob die Anforderungen für die Übernahme als kontaminiertes Verpackungsglas erfüllt sind. Ist dies nicht der Fall, so werden die Glasverpackungen als unsortierte Laborabfälle und Chemikalienreste mit der Schlüsselnummer 59305 übernommen. Für die Reinigung wird eine mobile Flaschenreinigungsanlage eingesetzt, die im Übernahmebereich der Behandlungsanlage für Flüssigabfälle aufgestellt ist.



Abb. 1: Übernommene Glasflaschen auf der Sperrfläche der Peter Seppel GmbH vor der Eingangskontrolle.

2.1 Übernahme und Eingangskontrolle

Die von den Laboratorien getrennt gesammelten und restentleerten Flaschen (Volumina 0,5 bis 2,5 l) werden als Buntglas- oder Weißglas/Verpackungsglas gefährlich kontaminiert übernommen (31468 Sp. 77 und 31469 Sp. 77). Da es sich in der Regel um die Anlieferung von kleineren Mengen (ca. < 100 kg pro Anlieferung) in regelmäßigen Abständen handelt, werden die kontaminierten Glasabfälle auf einer Sperrfläche zwischengelagert und dann einer Eingangskontrolle unterzogen. Für die Kontrolle wird eine Kriterienliste herangezogen (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Kriterienkatalog für die Übernahme der Glasabfälle in die Waschanlage

Kriterium	Reinigung möglich	Reinigung nicht möglich
Übergeber	Die Flaschen stammen von einem bekannten Kunden, die Zusammensetzung ist bekannt (Besprechung und Freigaben mit dem AGF)	Die Flaschen stammen von einem Kunden, für den es noch keine Freigabe durch den AGF gibt.
Volumen	Glasflaschen > 0,5 l bis 2,5 l	Glasflaschen < 0,5 l bzw. > 2,5 l
Etikett	Originaletikettierung vorhanden und lesbar	Etikett nicht vorhanden, keine Kenntnis über früheren Inhalt
Restinhalt	Glasflaschen sind restentleert bzw. im Inneren nur mit geringen Restanhaftungen an wasserlöslichen Substanzen behaftet	Glasflaschen sind nicht restentleert
Konsistenz	Flüssigkeitsreste bzw. lösliche Salze	Pastöse Rückstände, Arzneimittelrückstände wie Diclofenac
Unversehrtheit	Die Flaschen weisen keine Beschädigungen (z.B. Sprünge, Risse, Löcher) auf, die eine Reinigung beeinträchtigen	Die Flaschen sind beschädigt (z.B. Sprünge, Risse, Löcher), wodurch eine Reinigung beeinträchtigt wird (z.B. keine Fixierung am Dorn möglich, weitere Beschädigung durch Reinigungsvorgang oder Ähnliches).

Ergibt die Kontrolle, daß die Gebinde gereinigt werden können, so erfolgt die Überstellung in dichten Gebinden in den Übernahmehereich der Flüssigabfallbehandlungsanlage.

2.2 Reinigung

Nach erfolgter Eingangskontrolle und Freigabe werden die Flaschen durchgespült und somit von etwaig vorhandenen Restkontaminationen im Inneren der Glasflaschen gereinigt. Hierzu wird eine mobile Flaschenwaschanlage der Firma ebatec (Typ GS21) herangezogen. Die Flaschen werden manuell in einen Spülkorb eingeschleitet und für die anstehende Reinigung fixiert. Durch unten angeordnete Sprühdüsen erfolgt eine Reinigung des Flascheninneren, während über einen beweglichen Spülarm von oben eine Außenreinigung erfolgt. Für die Reinigung kann optional Reinigungsmittel zudosiert werden. Das Waschwasser wird für die Reinigung – durch im Tanks verbaute Heizelemente – auf 57 °C erhitzt und während des Spülvorganges mit einer Durchsatzleistung von etwa 330 l/min umgewälzt geführt (Baumgartner 2017).



Abb. 2: Flaschenwaschanlage GS21 (links), Blick in den Spülraum mit den Reinigungsdüsen (mitte), befüllter Spülkorb in der Flaschenwaschanlage (rechts).

Da keine direkte Nutzung der Glasgebilde im Lebensmittelbereich erfolgt, ist eine sichere Entfernung von Restanhaftungen und Flüssigkeitsresten in den Gebinden ausreichend und eine Zudosierung von Reinigungsmittel in der Regel nicht erforderlich. Neben einem automatischen Reinigungsprogramm (Reinigung, Nachspülen) für eine Dauer von 6 Minuten 30 Sekunden ist auch eine Grundreinigung (etwa bei Vorliegen von gröberen Verschmutzungen) ohne zeitliche Vorgabe möglich. Nach dem Spülvorgang erfolgt jeweils eine Nachreinigung, wofür über den Spülkreislauf der Nachspüldüsen ca. 9 Liter Frischwasser in das Anlageninnere gepumpt wird. Hierdurch werden die Gebinde nochmals, sowohl innen als auch außen, gespült. Das kontaminierte Waschwasser sammelt sich im Tank der Maschine und kann nach dem Ende des Reinigungsvorganges kontrolliert, durch das Entfernen des Überlaufrohres, abgelassen werden. Im Zuge der Reinigungskontrolle (Prüfung auf Restanhaftungen) werden die GHS-Piktogramme auf den Flaschen entfernt bzw. mittels Sprühfarbe unkenntlich gemacht. Die solcherart gereinigten und nachkontrollierten Gebinde werden anschließend in Boxen verstaubt und in das Lager für Glasabfälle verbracht. Vor dort erfolgt bei Erreichen einer frachtbaren Menge die Weitergabe der Glasabfälle an einen befugten Behandler. Dieser sorgt letztlich für eine stoffliche Verwertung.

2.3 Behandlung des Spülwassers

Das aus dem Reinigungsprozess anfallende Waschwasser ist vorwiegend mit Säuren, Laugen sowie diversen Lösungsmittelresten versetzt. Zur Behandlung durchläuft es eine chemisch-physikalische Reinigungsstufe (Fällung, Flockung, Neutralisation) für Flüssigabfälle. Dieser Behandlungsanlage ist ein Polzeifilter (RO-Modul, Aktivkohle) für eine optionale zweite Reinigungsstufe nachgeschaltet. Hierdurch werden die gelösten Schadstoffe sicher aus dem Wasser abgetrennt.



Abb. 2: Behandlungsschema

3 WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG

Bei der Entsorgung von Labor- und Chemikalienresten (Verbrennung) muß mit Kosten um die 1.400 bis 1.900 € pro t gerechnet werden (Wien Energie 2018). Hierbei kommen allerdings noch Kosten für die Verpackung (Spannringfässer als Einweg-Transportgebinde) (sowie der Personalaufwand für eine Eingangs- und Nachkontrolle (Sortierung, Ausstellung einer Packliste) hinzu. Auf Basis der Verbrauchsdaten des Anlagenbauers, der Personalkosten für die Bedienung der Anlage, der Implementierungskosten in den bestehenden Anlagenverbund (CP-Anlage) und unter Berücksichtigung der möglichen Verkaufserlöse für das Verpackungsglas ist eine Einsparung von weit über 90 % möglich.

4 VORTEILE GEGENÜBER DER ÜBERNAHME ALS LABORABFALL

Durch die Reinigung der kontaminierten Gebinde und anschließender Weitergabe der Gläser in das stoffliche Recycling können nachfolgend aufgelistete Vorteile erzielt werden:

- Die Waschanlage ist ein Verbraucher für Prozeßwasser aus der betrieblichen Flüssigabfallbehandlung (Kreislauführung des Waschwassers möglich – kein Frischwassereinsatz).
- Da nur eine Abtrennung von Restanhaftungen erfolgt, ist kein Chemikalieneinsatz bei der Gebindereinigung erforderlich.
- Steigerung der Wertschöpfung beim Entsorgungsbetrieb (Behandlungsschritt), mit einer Weitergabe der reinen Gebinde in die Wertstoffschiene.
- Outputseitige Erlöse anstatt Kosten (vgl. Übernahme als Laborabfall).
- Geringerer Verwaltungs- und Logistikaufwand (keine Packliste wie bei der Entsorgung von Laborabfällen, kein Verpackungsaufwand – Weitergabe in loser Schüttung möglich).

LITERATUR

- Baumgartner, E. (2017) Bedienungsanleitung GS21. Erich Baumgartner - Gastronomiemaschinengroßhandel.
- Leitner, T., Fazekas, S., Seidl, P., Grollnigg, W. (2018) Leistungsdefinition und Allgemeine Geschäftsbedingungen Abfallwirtschaft für die Anlage Simmeringer Haide. Wien Energie GmbH. S. 23
- Wien Energie (2018) Preisliste Abfallwirtschaft 2018. https://www.wienenergie.at/media/files/2018/2018%20preisliste_233900.pdf

Erfahrungsbericht zur Verwertung des Teilstoffstroms erdenähnlicher Substanzen aus Restmüll HM/HMG

W. Felber
Graz, Österreich

KURZFASSUNG: In einem erweiterten Splitting-Verfahren (2013-2017) mit einer „Biologie- und Wertstoffrückgewinnungsanlage“ separiert und reinigt der Autor den Hauptstoffstrom „Erdenähnliche“. Er schließt zur Wiederbelebung der toten Substanz der gereinigten Feinfraktion (ca. 50% des Restmüllgewichts) eine Impfung durch eine mycelreiche Impfmasse an. Während die Rest-Schwermetallbelastung der Feinfraktion sinkt, reichern sich die Schwermetalle im Wurzelraum innerhalb von 5 Jahren an. Die Wurzeln werden zur Verwertung einem Metallurgie-Prozess zugeführt, die Pflanzen als Energiepflanzen abgeerntet.

1 RESTMÜLL-ZUSAMMENSETZUNG

Die Restmüll-Zusammensetzung von HM und HMG hat sich seit den Anfängen der Verwertungsgesinnung in Europa Ende der achtziger Jahre um einiges geändert, im Wesentlichen aber nicht gewandelt.

Man sieht in der Tortengrafik, dass das Gewicht der Rest-Biologie, der Erden und der erdenähnlichen Substanzen („Erdenähnlichen“) sich stets um die Hälfte des Restabfallgewichts (40% min. bis 63% max.) bewegt.

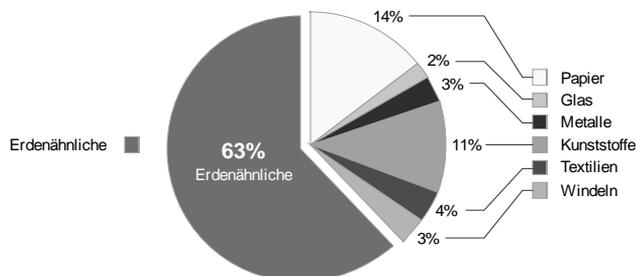


Abb. 1: Restmüllzusammensetzung (90-er Jahre).

2 RESTABFALLGRUPPEN UND TEILGRUPPEN

Man kann vier Abfallgruppen der zwölf bis dreizehn Abfallstoffe umfassenden HM/HMG mit verschiedenen nutzungsbezogenen Abfalleigenschaften feststellen und unterscheiden, nämlich neben

- den Erdenähnlichen (45–55% des Restabfallgewichts von HM/HMG mit weitgehender Feinkorneigenschaft nach den Sieb- und Abscheideaggregaten mit Heizwert H_u zwischen ca. 4.000 und 7.000 MJ/t),
- die „Hochtemperaturbrennstoffe“ (HT-Brennstoffe), i.W. Kunststoffe mit 10–15% des Restabfallgewichts von HM/HMG mit einem Heizwert H_u von 20.000–25.000 MJ/t,

- die „Wertstoffe“ (i.W. Steine, Keramik, Porzellan, Glasbruch, Metalle) mit etwa 10–15% des Restabfallgewichts von HM/HMG mit vorrangig stofflicher Verwertungsmöglichkeit und einem Heizwert H_u von 0 MJ/t und
- der „Junk“ (stofflich schwierig zu definierendes, heterogenes Gemisch mit etwa 25% des Restabfallgewichts von HM/HMG mit durchschnittlichem Heizwert H_u von ca. 8.000-12.000 MJ/t.

■ Wertstoffe	cca 10–15%	sofort
■ HT-Brennstoffe	cca 10–15%	sofort
■ Erdenähnliche Substrate für Energiepflanzen	cca 55%	nach 5–6 J.
■ Unverwertbare Reste (NT-Junk)	cca 25%	sofort

Abb. 2: Aus: „Biologie- und Wertstoffrückgewinnungsanlage. System Felber“, 2016.

Auf dem Poster soll nicht über die vielen stofflichen oder thermischen Verwertungsmöglichkeiten der drei letzteren Gruppen gesprochen werden. Sondern es werden hier vorrangig Charakteristika und Verwertungsmöglichkeiten der bisher zu Unrecht vernachlässigten „Erdenähnlichen“ nach Sieb- und Abscheidungsaggregaten beschrieben und im Vordergrund stehen.

Diese Eigenschaften sind

- feinstkörnig bis rieselfähig
- mäßig trocken
- erdenähnlich, weitgehend aber ohne Mycel, „reaktionsarm“, biologisch „tot“
- Störstoffe kleinstkörnig (\varnothing 2,5 mm), überwiegend Steinchen, Kleinstglassplitterteile, Metalle, Verbundteile, o.ä. Mikroplastik (Def. < 5 mm) (PE-, PP-, PS- und PU-Schaumteile o.ä.)

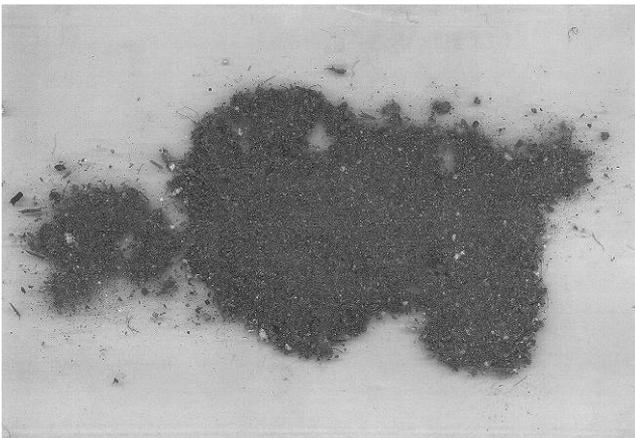


Abb. 3: „Erdenähnliche“ nach Wert- und Störstoffabscheidung sowie nach Siebschnitt 80/20/4 mm. Brennstoff – Alternativen Graz, (Untersuchung FAKUTECH 2005)

3 SEPARIERUNG DURCH ERWEITERTE SPLITTINGTECHNOLOGIE „BIOLOGIE- UND WERTSTOFFRÜCKGEWINNUNGSANLAGE“

Biologie- und Wertstoffrückgewinnungsanlage für Restmüll

(System Felber®)

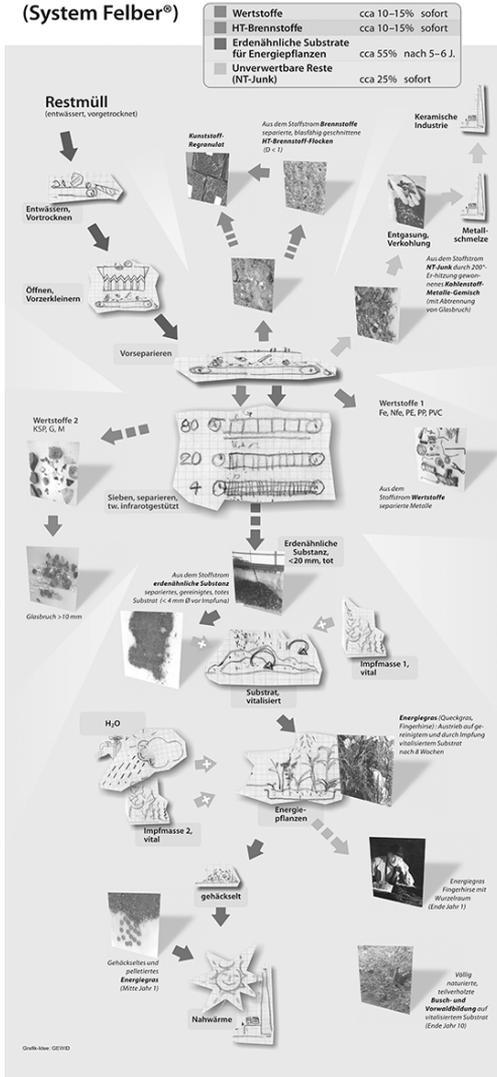


Abb. 4: Biologie- und Wertstoff-rückgewinnungsanlage für Restmüll (System Felber).

Je nach Anzahl und Intelligenz der Anordnung der Aufbereitungsaggregate wird der Restabfall aus HM/HMG geöffnet, schonend vorzerkleinert (Öffner statt Shredder!), Metallkleinteile, PVC mit Infrarot-PVC-Abscheider abgetrennt, Leichtstoffe abgesaugt und werden die Sieb-Unterläufe jedenfalls mehrfach abgesiebt (Siebschnitt 80/20/4 mm!).

4 IMPFUNG DER „ERDENÄHNLICHEN“

Die zur Revitalisierung erforderliche Impfung der toten „Erdenähnlichen“ erfolgt mit mycelhaltigen IMPFMASSEN. Sie sind nicht gerottete, eher abgerastete Bioabfälle aus Küchen, Gärten und Waldrand einer standortbezogenen Klimaxpflanzengesellschaft („Wald/Garten-Abfällen 2“) mit geringem Feuchtigkeitsgehalt. Sie werden den „Erdenähnlichen“ in einem Verhältnis von ca. 1 zu 1 beigefügt.

Herstellung und Kontrolle (Hilfsstoffe!) erfordern Einiges an Know-how.

Besonders im 1. Jahr während ca. 22–25 Wochen Vegetationszeit zwischen Ende April und Ende Oktober / Mitte November ist wöchentlich auf Feuchtigkeitsgehalt und regelmäßige Beigabe von kohlenstoffhaltigen kohlenstoffreichen „Grün- und Gartenabfalls 2“ genau zu achten:

An 8 unterschiedlichen Wochen des 1. Jahres ohne Regen wurden pro m² geimpfter Auflage je Woche 9 Liter Dachwasser aus einer Betonwanne zugeführt. Dagegen wurden aber zusätzlich in jeder Woche des 1. Jahres 2–3 kg/m² geimpfter Auflage kohlenstoffreichen „Grün- und Gartenabfalls 3“ aufgebracht.

Der Betreuungsaufwand betrug pro Woche des 1. Jahres nur je ca. 15 Minuten. Danach aber endet die Betreuungszeit und entfällt praktisch ab dieser Zeit in den folgenden Jahren bis zur Ernte am Ende des fünften Jahres.

5 PFLANZENWUCHS

Der PFLANZENWUCHS beginnt schon wenige Wochen nach der Impfung. In der Gegend von Graz und des Grazer Hügellandes treiben auf den gereinigten und geimpften „Erdenähnlichen“ des Auflagematerials die schilfgrasähnlichen Pionierpflanzen des 1. Jahres (Queckgras und Blutrote Fingerhirse) als Bodendecker aus. Vereinzelt traten auch Hemizellulosen auf, setzten sich aber nicht durch.

Die beiden Pionierpflanzen Queckgras und Fingerhirse stellten 90% des Pflanzenwachstums des 1. Jahres dar und erreichten eine horizontale Länge bis zu 192 cm bei enormer Größe der Wurzelmasse bis zu Kinderkopfumfang.

Im 2. Jahr gesellte sich als erste Blattpflanze *Potentilla reptans* als bald flächendeckender Bodendecker dazu, im Jahr 3 zog Efeu ein, Queckgras und Fingerhirse vom Jahr 1 wurden zurückgedrängt. Im Jahr 4 diversifizierte sich die Bodendeckerpflanzengesellschaft und erste Zellulosen (v.a. Feldahorn) zeigten sich. Im 5. Jahr rückten langstielig-hochwüchsige Wiesengräser mit über einen halben Meter Höhe nach.



Abb. 5: (links) Im Jahr 1 dominieren die Pionierpflanzen Queckgras und Fingerhirse; (rechts) Im Jahr 2 gesellt sich als erste Blattpflanze *Potentilla reptans* hinzu. Links im Bild verkohlter Rückstand aus dem Teilstoffstrom „Junk“.

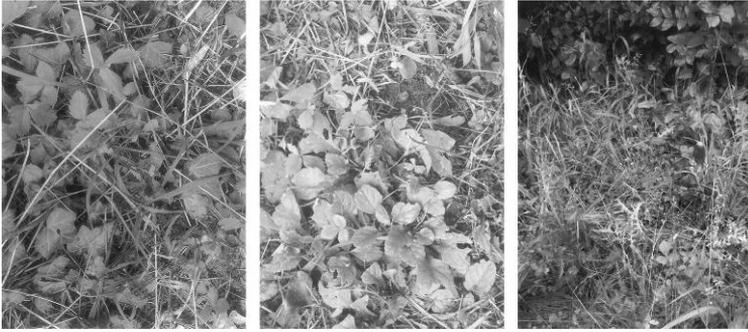


Abb. 6: *Potentilla reptans* und Efeu waren die Leitpflanzen des 3. Jahres (links); Jahr 4 – Dominanz von *Potentilla reptans* und Diversifizierung der Krautschicht (Mitte); Jahr 5 – zur Diversität der Krautschicht im Jahr 4 gesellen sich hochwüchsige Wiesengräser von bis zu einem halben Meter Höhe (rechts).

6 SCHWERMETALLSPEICHER?! NEUE BÖDEN MIT SCHWERMETALLRÜCKGANG

Parallel zu den **BLATTMASSEN** auf den „Erdenähnlichen“ verändert sich der **WURZELRAUM** des 1. Jahres von beinahe haardünn-dichten Wurzelfasern zu einem festen Wurzelstrunkgebilde im 5. Jahr mit Durchmessern von 3–5 mm.



Abb. 7: Wurzelmasse im Jahr 1 (links) und im Jahr 5 (rechts).

Synchron zu Blatt- und Wurzelmassewachstum sinkt der **SCHWERMETALLGEGHALT** in den „NEUEN BÖDEN“. Eine parallel durchgeführte chemische Analyse der Schwermetallbelastung und der abgeernteten Pionierpflanzen des 1. Jahres (Queckgras und Fingerhirse) zeigt, dass z.B. bis max. 27% des Zinks zwischen Erstwert und Ende des 1. Jahres von Stamm und Blattmasse aufgenommen wurden. Jedoch wird der zulässige Höchstbelastungsgrenzwert für verfeuerbare Biomassen nicht erreicht (Richtlinie Biomasseverband). Die schwermetallangereicherten Wurzelstöcke hingegen werden gesondert den **NEUEN BÖDEN** entnommen („mining“) und der Metallurgie zugeführt.

Folgerichtig muss angenommen werden, dass

- die Schwermetalle vorrangig in der terrestrischen Einlagerung der Wurzel verbleiben aber
- damit auch eine Nutzung von Blattmasse und Stamm als Energiepflanze möglich ist.

Ein Ausschwemmen flüssiger Schwermetalle ins Versuchsgelände kann dagegen so gut wie ausgeschlossen werden. Es traten keine Hinweise durch veränderte Anzeigerpflanzen auf geneigtem Hang auf. Weiters verhinderte eine kleine Vertiefung in der Aufbringungsfläche ein Ausschwemmen flüssiger Schwermetalle in die Umgebung. Darüber hinaus zeigte ein extrem ekel-bitterer Geschmack der Wurzel bereits die Funktion als Schwermetallsammler an.

Eine umfangreichere Migrationsfeststellung von Schwermetallen in weitere Teile von Anzeigerpflanzen ist für den Folgeabschnitt „Biotech 2“ ab 2019 vorgesehen. Die Menge der „Erdenähnlichen“ aus HM/HMG in Österreich dürfte 200.000 Jahrestonnen betragen. Die Menge „Erdenähnlicher“ aus den Baurestmassen wird dagegen auf 5 Mio Tonnen geschätzt.

Abb. 8 zeigt den SCHWERMETALLRÜCKGANG z. B. bei Blei zwischen Jahr 1 und 4 für die NEUEN BÖDEN im Vergleich zur Kompostqualität A+.

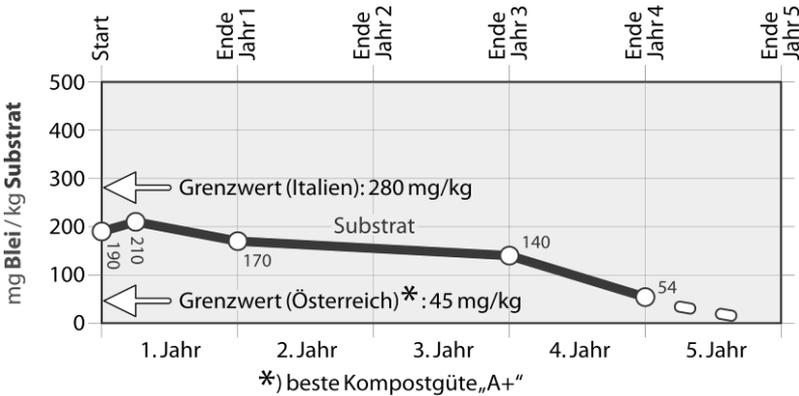


Abb. 8: Schwermetallrückgang im geimpften Material zwischen Jahr 1 und Jahr 4 am Beispiel von Blei. Die gesondert abzuernende, angereicherte Wurzel ergeht zur Metallurgie.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wurde mit dem Programm BIOTECH1 demonstriert, dass bereits innerhalb von 5(!) Jahren durch in sich katalytische und biologische Verfahrensweisen die Reduzierung der Restschwermetallbelastung von „Erdenähnlichen“ gelingen kann – sogar auf das Niveau der Kompostgüte A+ nach KOMPVO.

Diese Einleitung eines eigendynamisch-biologischen Prozesses für den letzten Abschnitt einer drastischen Reduktion von Restabfall ließe sich sicherlich auch auf Erden und „Erdenähnliche“ in Baurestmassen ausdehnen. Erstversuche dazu liegen schon längere Zeit zurück, jedoch wurde auf Grund einzelwirtschaftlicher Überlegungen bisher davon Abstand genommen.

Dass das österreichische AWG gerade in Zeiten explodierenden technischen Fortschritts von Naherkennung durch Infrarottechnologie und des Chemical Identification (CIS) seit nunmehr 10 Jahren die eigendynamische biologische Behandlung dieser Art faktisch mit gebührender gesetzlicher Berücksichtigung ausgeschlossen hat, stellt ein retro-technisches Paradoxon dar.

WALTER FELBER ist als Autor seit Mitte der 80er Jahre in der Abfallwirtschaft Österreichs und des Auslandes (Ungarn, Luxemburg, Deutschland, Italien ...) und an der Entwicklung von Verfahrenstechnik im Abfallbereich tätig.

Chemical Current Sources Management in the European Union and Russia in the Context of Extended Producer Responsibility

V.G. Zilenina & O.V. Ulanova

Irkutsk National Research Technical University (INRTU), Irkutsk, Russian Federation

C. Dornack

Technical University Dresden, Institute of Waste Management and Circular Economy, Dresden, Germany

ABSTRACT: The rapid development of the electronic industry in the post-industrial society contributes to the increase in the production volumes of chemical current sources (CCS). This article is concerned with the extended producer responsibility (EPR) concept and the mechanisms of its implementation in the spent chemical current sources (SCCS) management in Russia and in the EU countries. The EPR organization models for greening the SCCS lifecycle in these countries using the existing legal basis of the European Union and Russia are presented.

1 INTRODUCTION

In Europe, EPR is known as an efficient tool for managing different waste flows and reducing their disposal to solid municipal waste landfills. In addition, EPR contributes to the hierarchical sequence in the waste management (Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive)) with the priority of waste prevention. At the EU level, three Directives introduce EPR as a political approach: Directive ELV 2000/53/EC, new Directive WEEE 2012/19/EU, and Directive on accumulators 2006/66/EC. The EPR concept is also widely used in support of the implementation of Directive on packaging and packaging waste (94/62/EC) though Directive itself does not establish this principle.

2 COMPARATIVE EVALUATION OF TREATMENT WCCS

2.1 Chemical current sources management in the European Union

At the EU level, the three Directives introduce the EPR as a policy approach: ELV Directive 2000/53 / EC, the new WEEE Directive 2012/19 / EU and the Battery Directive 2006/66 / EC. The EPR is also widely used to support the implementation of the Packaging and Packaging Directive (94/62 / EC), although the Directive itself does not establish this principle. In addition, Article 8 of the Waste Framework Directive 2008/98 contains some principles concerning the implementation of the ERA by European Member States. Proceeding from the fact that individual goods have similar characteristics and properties that determine the conditions for collection and processing, the waste is divided into groups: paper, packaging, electrical and electronic equipment, glass, etc. However, it should be remembered that in addition to these types of wastes, in some countries, extended producer responsibility schemes may cover additional products, in particular: waste oils, used tires, graphic paper and textiles, and many other products such as: medicines, fluorinated refrigerants, agricultural films, furniture, etc. Also, waste chemical current sources (WCCS) are allocated to a separate group.

In the case of Germany, the chemical current sources (CCS) management is regulated by the Batteries Act (BattG), which was accepted by Bundestag in 2009, and the BattGDV.

In 2014, the activities dealing with the reception of portable batteries in Germany were performed by four systems: GRS, REBAT, ERP, and Öcorecell. More than 170,000 reception points in trade institutions and waste management companies were equipped with transport containers for the portable batteries return system. In 2015, around 19,678 tons of spent batteries in total were collected by the four return systems, which was 536 tons more than in 2014. The standard requirements for the collection were reached and exceeded of 45% in 2016.

In Austria since the mid-nineties, collection rates of 40-50% have been achieved. Between 2011 and 2015, the rates increased from 50% to 55%. Collection volumes have increased steadily since 2010 by an annual average of over 7%, while placed on marked batteries increased steadily by 5%. The ARA (Altstoff Recycling Austria AG) system (in particular, ERA Elektro Recycling Austria GmbH) provides about 40% of the total collected amount.

EPR for CCS in Denmark functions as part of the EPR system for WEEE. In the case of batteries, the Danish Tax and Customs Administration collects data on the number of portable CCSs that are then transferred to the DPA system (Dansk Producentansvars System), in contrast to the WEEE system where data is sent directly by the DPA system to the manufacturers. The DPA system is controlled by the EPA (Environmental Protection Agency) Denmark and is financed by fees for production. Notably, there are significant discrepancies in performance indicators at the level of 28 member states for the implementation of EPR in the context of OCHIT. Collection levels range from 5% (Malta) to 72% (Cyprus). The average payment paid by manufacturers ranges from € 240 (France) to € 5,400 (Belgium) per ton of batteries launched on the market, the unit used to compare different tariff types (fees are set by the product unit in some MS and depending on weight in others).

2.2 Chemical current sources management in Russian Federation

In 2014, the EPR principle was first introduced in the Russian Federation in the new edition of the Federal Law of June 24, 1998 № 89-FZ on the production and consumption waste aimed at solving the problem of the SMW collection and recycling. Producers and importers may directly organize their own infrastructure facilities for the collection, processing, and utilization of waste of used products. Also, the utilization can be performed by contracting with a SMW management operator or by establishing associations of producers and importers.

In the Order of the Government of the Russian Federation of September 24, 2015 N 1886-r approving the list of ready products, including package, subject to the utilization after the loss of consumer properties, 36 groups of goods are enlisted; they do not include food and raw materials. SCCS are presented in the groups 28 and 29: "Accumulators" (27.20) and "Accumulator Batteries" (27.20.23), respectively. In the Federal Waste Classification Catalog (the version of July 20, 2017), SCCS together with accumulators refer to waste of the hazard class 2 (class 1 is highly hazardous, class 5 is non-hazardous).

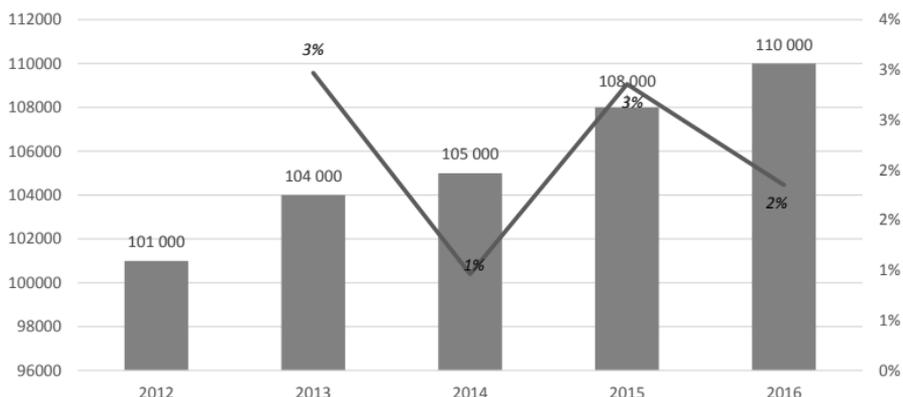


Fig. 1: Volumes and growth rates of the CCS recovery market in Russia in 2012-2016 in terms of value and percentage.

According to the established SCCS utilization norms in the Russian Federation (for the period until January 01, 2018), the utilization shall be 15% of the total amount of produced and imported goods for the domestic consumption subject to the utilization after the loss of consumer properties until 2017.

According to the statistical data, the volume of placed on market batteries in Russia is 20,000 tons per year, which does not correlate with the decreased recycling rates.

3 RESULTS OR CONCLUSION

Within the “Geoecological Evaluation of the Migration of Heavy Metals in Technogenic Soils and Groundwater of SMW Landfills of the Baikal Region” scientific project, which was supported by the “Scientific Research Scholarships for Young Scientists” program of the German Academic Exchange Service (DAAD), aimed at the experimental study of the leaching capacity of heavy metals into landfill leachate at the Dresden University of Technology (The Institute of Waste Management and Circular Economy), the laboratory studies were performed for modeling the SMW degradation processes in landfills located in the Irkutsk city and at the Lake Baikal, which is a UNESCO World Heritage Site (the Irkutsk region, Russia).

Based on the empirical research, the leachate forecast was made for leaching of the CCS components into a solid municipal waste (SMW) landfill body. The leachate forecast was simulated by the program SiWaPro DSS (developed at TU Dresden, Institute of Waste Management and Circular Economy).

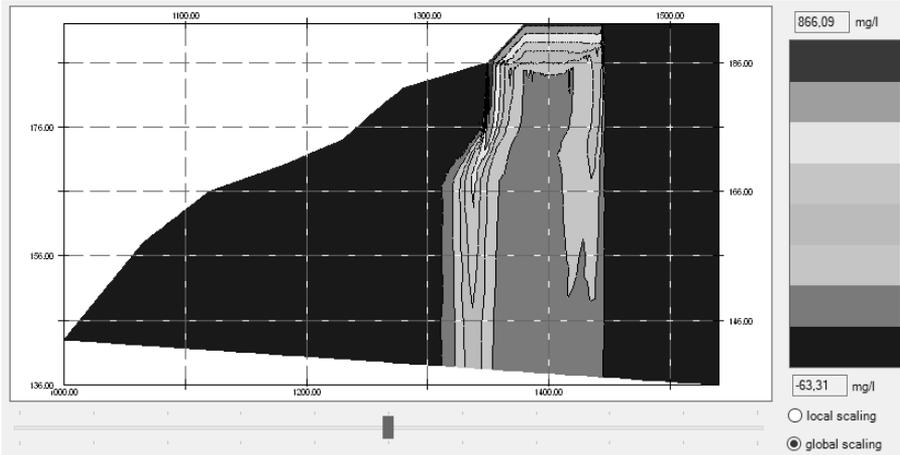


Fig. 2: Flow and transport of Zink simulation in the unsaturated soil zone.

The results show that in spite of the indicated indicators of low saturated hydraulic conductivity level of soils (min $6,94E-10$), after 25 years of functioning of the testing grounds, Zinc infiltrate into the first underground aquifer at a depth of 45 m.

According to the degree of contamination (risk class) of technogenic soil from heavy metals follow the next trend of exceeding limit values: Pb (51-1863) > As (25-192) > Zn (61-546) > Cu (25-66) > Ni (20- 49) > Co (2-5) > Hg. The results of leachate have shown elevated concentrations to all examined parameters.

In addition, the current and expected

It is also noteworthy that one of the main problems concerned with the organization of the SCCS recycling system in Russia is the low environmental awareness of people and their low level of involvement into the separate waste collection system. Thus, there is a need in the sociological analytical studies and the development of the separate waste collection program that would be convenient and possibly easy for consumers. In the article, the results of the sociological study performed in the regions of the Russian Federation are presented and the environmental and resource background of involving SCCS into the closed economic cycle are discussed in the context of the implementation of the extended producer responsibility principles and the development of the waste recycling industry in Russia

REFERENCES

- Analytical report DISCOVERY RESEARCH GROUP Analysis of the market for the processing of chemical power sources (batteries, batteries) in Russia. 2016.
- Development of Guidance on Extended Producer Responsibility (EPR). FINAL REPORT. European Commission – DG Environment 2014.
- Monier, V., M. Hestin and J. Cavé (2014a), WEEE in Denmark. in Development of Guidance on Extended Producer Responsibility (EPR), European Union, Environment Directorate, Brussels, Belgium.

United Nations Framework Classification for Resources (UNFC)

U. Kral

Technische Universität Wien, Forschungsbereich Abfall- und Ressourcenmanagement, Wien, Österreich

S. Heuss-Aßbichler

Ludwig-Maximilians-Universität München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften, München, Deutschland

KURZFASSUNG: Der Bedarf an Rohstoffen ist weiterhin steigend, und es ist absehbar, dass er in bestimmten Branchen nicht nur mit Hilfe von Primärlagerstätten gedeckt werden kann. Sekundärrohstoffe können daher als zusätzliche Ressource einen wichtigen Beitrag bieten. Investoren, Aufsichtsbehörden, Regierungen und Verbraucher benötigen ein gemeinsames Konzept, um die Verfügbarkeit von verschiedenen geogenen und anthropogenen Ressourcen auf Projekt-, Länder- und globaler Ebene vergleichen und bewerten zu können. UNFC ist ein globales, prinzipienbasiertes und benutzerfreundliches System zur Klassifizierung, Verwaltung und Berichterstattung von Mineral- und Energievorräten. Im April 2018 wurde ein Dokument zur Anwendung von UNFC auf Anthropogene Ressourcen in Genf vorgestellt, um eine Vorratsklassifikation für Sekundärrohstoffe zu ermöglichen. Dies stellt die Grundlage für die Erstellung von Leitfäden und Fallbeispielen zur Ausweisung von Vorräten an Sekundärrohstoffen dar.

1 EINLEITUNG

Mit dem traditionellen Bergbau werden weiterhin große Mengen an Primärrohstoffe von der Geosphäre in die Anthroposphäre verschoben. Diese Materialien akkumulieren entlang der Produktionskette als anthropogene Bestände wie beispielsweise Autos oder Gebäude, oder landen als Abfall auf Deponien. In den letzten Jahren gewinnt der Ansatz, diese Materialien als Sekundärrohstoffe, zurückzugewinnen zunehmend an Gewicht. Hierbei steht der Begriff anthropogene Materialressource übergeordnet für physikalische Materie, ohne a) eine Zuordnung aus einer ökonomischen, sozialen oder ökologischen Perspektive, b) ohne Angabe des Aggregatzustandes (fest, flüssig, gasförmig) und c) eine Beziehung zu einer bestimmten Stufe in der Produktionskette.

Diese anthropogenen Materialbestände sind ein integraler Bestandteil des anthropogenen Materialkreislaufs, und theoretisch umfassen sie die gesamte Materialmenge innerhalb der Anthroposphäre. In Wirklichkeit ist die Menge, die zur Wiederverwendung, Recycling und Verwertung verfügbar ist, deutlich eingeschränkt. Daher ist es wichtig, die Menge an nützlichen Ressourcen zu bestimmen, die realistisch aus anthropogenen Materialbeständen und -strömen abgeleitet werden können.

2 ANWENDUNG VON UNFC UND IHRE SPEZIFIKATIONEN AUF ANTHROPOGENE RESSOURCEN

Die Information über die erzielbaren Mengen ist nicht nur für Unternehmen, sondern insbesondere für Regierungen und der Gesellschaft von größter Relevanz. Das Klassifikationsschema nach UNFC bietet einen Rahmen, um die Verfügbarkeit von

Mineral- und Energieressourcen weltweit verständlich zu kommunizieren (UNECE 2013). In den letzten Jahren wurde die Spezifikation, die ursprünglich für Primärrohstoffe entwickelt wurde, auf andere Sektoren wie erneuerbare Energien übertragen. Nunmehr liegt auch ein Dokument zur Spezifikation vor, mit dem die Vorratsklassifikation von anthropogenen Ressourcen auf Basis einer einheitlichen Terminologie möglich ist (UNECE 2018). Im Folgenden wird erstens, auf die Kategorisierung der Vorräte im Sinne von UNFC und zweites, auf die erforderlichen Informationen zur Quantifizierung der Vorratsmengen eingegangen.

2.1 Konzept zur Kategorisierung der anthropogenen Vorratsmengen

Bei UNFC werden die Vorratsmengen (=Potential an zukünftigen Produktionsmengen) entlang von drei Achsen kategorisiert und visualisiert (Abb. 1). Die Achsen lauten wie folgt:

- Zuverlässigkeit der Informationen über die anthropogene Ressource und deren abbauwürdigen Mengen (G-Achse).
- Status und Machbarkeit des Projektes zur Rückgewinnung der abbauwürdigen Mengen (F-Achse).
- Abbauwürdigkeit der Mengen unter Berücksichtigung ökonomischer, technologischer, ökologischer und sozialer Rahmenbedingungen (E-Achse).

Entlang den Achsen wird zwischen einer unterschiedlichen Anzahl an Kategorien unterschieden: entlang der G-Achse befinden sich vier Kategorien (G1 bis G4), auf der F-Achse vier Kategorien (F1 bis F4) und auf der E-Achse drei Kategorien (E1 bis E3). Eine bestimmte Vorratsmenge mit entsprechende Kriterien wird jeweils einer Kategorie auf jeder Achse zugeordnet. Die Kombination der Kategorien wird „Klasse“ genannt. Der Zusammenhang zwischen den Klassen und den Kategorien zeigt Tabelle 1. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die im vorliegenden Beitrag verwendeten Begriffe von den Autoren gewählt wurden und im deutschen Sprachraum nicht einheitlich anerkannt sind. Dies liegt daran, dass aktuell keine deutschsprachige Version von UNFC vorliegt.

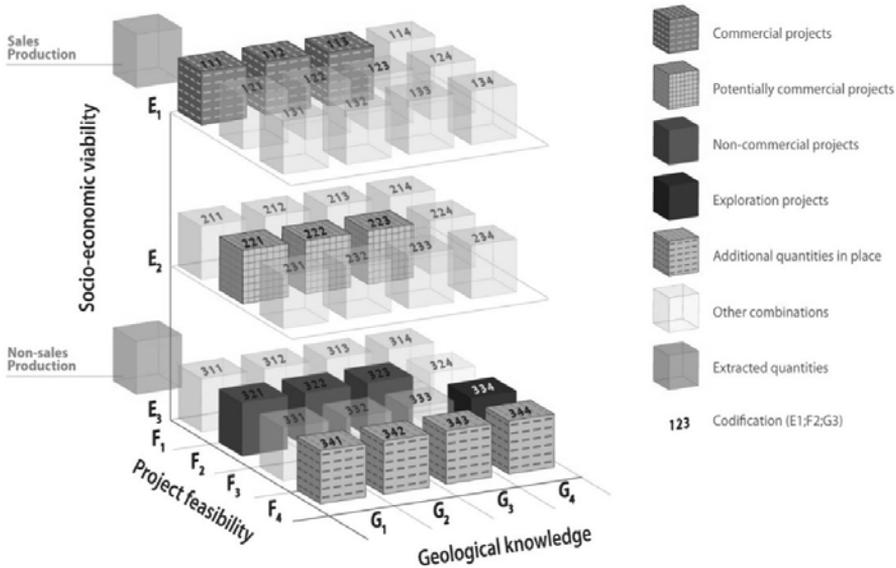


Abb. 1: Dreidimensionale Darstellung von UNFC.

Tab. 1: Kategorisierung und Klassifizierung der anthropogenen Ressourcen.

		Vergangene Produktion	Verkaufte Produktionsmengen				
		Zukünftige Produktion	Nicht verkaufte Produktionsmengen				
Gesamtmenge an erkundeten Ressourcen	Bekannte Quellen	Beschreibung der Klasse	Klasse	Kategorien auf der jeweiligen Achse			
				E	F	G	
			Zukünftige Rückgewinnung und Verwertung im Rahmen wirtschaftlich darstellbarer oder bereits laufender Projekte.	Wirtschaftlich	1	1	1, 2, 3
			Potentiell zukünftige Rückgewinnung und Verwertung im Rahmen wirtschaftlich darstellbarer oder bereits laufender Projekte.	Potentiell wirtschaftlich	2	2	1, 2, 3
		Zusätzliche Mengen, die bekannten Quellen zugeordnet werden.	Nicht wirtschaftlich	3	2	1, 2, 3	
	Potentielle Quellen		Potentiell zukünftige Rückgewinnung und Verwertung nach erfolgreicher Exploration potentieller Quellen.	Exploriert	3	3	4
			Zusätzliche Mengen, die potentiellen Quellen zugeordnet werden.		3	4	4

2.2 Erarbeitung von Informationsgrundlagen zur Kategorisierung der Vorratsmengen

UNFC selbst bietet einen Rahmen, der die Terminologie und funktionelle Anforderungen an die Kategorisierung von Vorratsmengen festlegt. Es werden keine Regelungen für die eigentliche Quantifizierung der Vorratsmengen gegeben. Dies erfolgt durch qualifizierte Experten und wird von den lokalen Gegebenheiten bestimmt. In jedem Fall sind folgende Schritte erforderlich: (1) die Definition von Rückgewinnungsprojekten, (2) die Charakterisierung der Materialbestände und -flüsse innerhalb der Projektgrenzen, (3) die technologische, ökonomische, ökologische und soziale Bewertung einer möglichen Rückgewinnung und Verwertung.

2.3 Definition von Rückgewinnungsprojekten

Bei UNFC steht das in Planung befindliche oder laufende Projekt zur Rückgewinnung und Verwertung von Sekundärrohstoffen im Zentrum der Betrachtung. Für die Analyse und Bewertung der anthropogenen Ressourcenvorkommen gilt es in der Planungsphase die Laufzeit und die räumliche Abgrenzung des Projekts festzulegen. Die Materialbestände und -flüsse innerhalb des Projektes sind in das generelle anthropogene Materialsystem eingebettet (Abb. 2). Dies umfasst anthropogene Materialbestände (Stocks) und anthropogene Stoffflüsse (Flux) sowie anthropogene Prozesse, die die Transformation, Speicherung und den Transport von Materialien darstellen. Die Abgrenzung der Projekte innerhalb des anthropogenen Materialsystems hängt von den Interessen der Projektbetreiber ab.

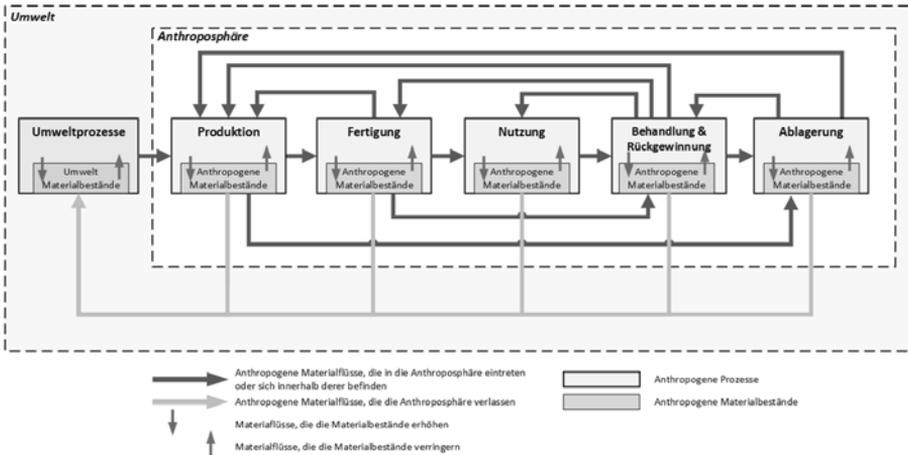


Abb. 2: Abgrenzung des anthropogenen Materialsystems durch die gestrichelte Linie. Kästen repräsentieren die anthropogenen Prozesse einschließlich anthropogener Materialien. Pfeile repräsentieren die anthropogenen Stoffströme. Die Grafik wurden den Spezifikationen entnommen und übersetzt (UNECE 2018).

2.3.1 Zuverlässigkeit der Informationen über die anthropogene Ressource und deren abbauwürdigen Mengen (G-Achse)

Der Kenntnisstand über die anthropogene Ressource geht mit den aufeinander folgenden Untersuchungsstadien Suche, Prospektion und Übersichts- und Detailexploration einher (Tab. 2). Die Ergebnisse der einzelnen Stadien erlauben die Beurteilung der Zuverlässigkeit über die erkundeten und verwertbaren Mengen und somit deren Kategorisierung. Optional können auch jene Unsicherheiten berücksichtigt werden, die sich durch die Kategorisierung auf der E- und F-Achse ergeben.

Tab. 2: Kategorien auf der G-Achse.

Kategorie	Definition
G1	Mengen, die einer bekannten Quelle zugeordnet und mit einem hohen Grad an Zuverlässigkeit geschätzt werden können.
G2	Mengen, die einer bekannten Quelle zugeordnet und mit einem moderaten Grad an Zuverlässigkeit geschätzt werden können.
G3	Mengen, die einer bekannten Quelle zugeordnet und mit einem niedrigen Grad an Zuverlässigkeit geschätzt werden können.
G4	Mengen, die einer potentiellen Quelle zugeordnet und überwiegend mit indirekter Evidenz geschätzt wurden.

2.3.2 Status und Machbarkeit des Projektes (F-Achse)

Der Status und die Machbarkeit des Projektes hängen vorrangig vom Wissenstand über die technologischen und infrastrukturellen Möglichkeiten zur Rückgewinnung und Veräußerung der Materialien ab. Gemäß Tab. 3 werden der Kategorie F1 jene Mengen zugeordnet, deren Rückgewinnung und Verwertung bereits stattfindet oder wo die Umsetzung eines Projektes unmittelbar bevorsteht. Unter F2 fallen Mengen, bei denen in Studien die Quantität und Qualität der Ressourcen sowie deren Rückgewinnung im Rahmen eines Projektes zu erwarten ist. Der Kategorie F3 sind jene Mengen zuzuordnen, deren Quantität und Qualität sowie deren Rückgewinnung mangels Informationsgrundlagen noch nicht hinreichend beurteilt werden können. Unter F4 fallen Mengen, die zukünftig durch keinerlei Projekte rückgewinnbar sind.

Tab. 3: Kategorien auf der F-Achse.

Kategorie	Definition
F1	Machbarkeit wurde im Zuge eines Projektes in der Entwicklungsphase oder im Zuge eines laufenden Projektes bestätigt.
F2	Die Machbarkeit wurde im Zuge eines Projektes in der Entwicklungsphase oder im Zuge eines laufenden Projektes ist Gegenstand aktuell laufender Studien.
F3	Die Machbarkeit wurde im Zuge eines Projektes in der Entwicklungsphase oder im Zuge eines laufenden Projektes kann mangels technischer Daten nicht beurteilt werden.
F4	Es wurde kein Projekt in der Entwicklungsphase oder laufendes Projekt identifiziert.

2.3.3 **Abbauwürdigkeit der Mengen unter Berücksichtigung ökonomischer, technologischer, ökologischer und sozialer Rahmenbedingungen (E-Achse)**
 Die Abbauwürdigkeit der erkundeten Ressourcen hängt einerseits von der Wirtschaftlichkeit der Rückgewinnung und Verwertung (Kosten versus Erlöse) ab, andererseits zeichnet sich deutlich ab, dass politische, ökologische und soziale Faktoren zunehmend Einfluss auf die Verwertbarkeit von Sekundärrohstoffen haben. Die aktuell gültige Version von UNFC sieht bei der Definition dieser Kategorien die sozioökonomische Machbarkeit eines Projekts vor (Tab. 4). Es ist zukünftig von einem erweiterten Begriffsverständnis auszugehen, dass ökologische, soziale, politische und weitere Faktoren stärker berücksichtigt und diese dann in der Einstufung in verschiedene Kategorien abgebildet werden (UNECE 2017).

Tab. 4: Kategorien auf der E-Achse.

Kategorie	Definition
E1	Die Rückgewinnung und der Verkauf der produzierbaren Mengen wurde als wirtschaftlich durchführbar bestätigt.
E2	Die Rückgewinnung und der Verkauf der produzierbaren Mengen wird für die näheren Zukunft als wirtschaftlich machbar eingestuft.
E3	Die Rückgewinnung und der Verkauf der produzierbaren Mengen wird für die näheren Zukunft als wirtschaftlich nicht machbar eingestuft oder die aktuelle Bewertung ist in einer zu frühen Phase um die Wirtschaftlichkeit zu beurteilen.

3 SCHLUSSFOLGERUNG

UNFC ist ein prinzipienbasiertes System, das eine transparente Einstufung der anthropogenen Rohstoffe hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit, sowie den gegebenen ökonomischen, technologischen, ökologischen und sozialen Rahmenbedingungen ermöglicht.

Die Anwendung von UNFC auf anthropogene Ressourcen erlaubt Unternehmen und staatlichen Einrichtungen somit einen differenzierten Überblick über die aktuelle Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen. Vorteile dieser Klassifikation sind: Erstens werden die Barrieren und Chancen bei der zukünftigen Produktion von Sekundärrohstoffen aufgezeigt. Dies ermöglicht es, diese Projekte durch öffentlich-private Partnerschaften zu entwickeln, in dem Politik und Verwaltung die Rahmenbedingungen gestalten und die Industrie das Wissen für die Implementierung von Recyclingprojekten einbringt. Zweitens können auf nationalstaatlicher oder europäischer Ebene die Vorratsmengen an Sekundärrohstoffe ausgewiesen und im Rahmen der umweltökonomischen Gesamtrechnung berichtet werden. Diese Informationsgrundlagen sind essentiell für die Optimierung der zukünftigen Rohstoffversorgung.

LITERATUR

- UNECE (2013) United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 incorporating Specifications for its Application. UNECE Energy Series No. 42. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Geneva.
- UNECE (2017) Draft guidance on accommodating environmental and social considerations in the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009: Concepts and Terminology (ECE/Energy/GE.3/2017/7). United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Geneva.
- UNECE (2018) Draft Specification for the application of UNFC for Resources to Anthropogenic resources (ECE/ENERGY/GE.3/2018). United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Geneva.

Reslag - Recycling von Stahlwerksschlacken

K. Nothacker & G. Homm

Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS, Alzenau, Deutschland

KURZFASSUNG: Nach Schätzungen von USGS (2018) betrug die weltweite Produktion an Stahlschlacke im Jahr 2017 zwischen 170 und 250 Millionen Tonnen. Ungefähr 76 % der innerhalb Europas produzierten Stahlschlacke finden in verschiedenen Anwendungen wie z.B. Zuschlagstoffen für Bau- oder Straßenmaterialien Wiederverwendung. Etwa 24 % werden jedoch nicht recycelt, was ein zunehmendes Umweltproblem darstellt (Euroslag 2010). Das Projekt „Reslag“ (gefördert durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union, unter der Fördervereinbarungsnr. 642067) stellt sich der Herausforderung, die Stahlschlacke durch vier öko-innovative, industrielle Alternativenanwendungen einer Verwertung zuzuführen. Dabei dient die Schlacke u.a. als Ausgangsstoff für die Rückgewinnung hochwertiger Metalle und für Wärmeenergiespeichersysteme.

1 EINLEITUNG

Vor dem Hintergrund der knapper werdenden Rohstoffe stellt die optimierte und nachhaltige Nutzung sekundärer Rohstofflager einen wichtigen Ansatz für eine gesicherte Rohstoffversorgung dar. Am Ende der Wertschöpfungskette steht die Recyclingphase, die Aufschluss darüber gibt, in welchem Umfang Rohstoffe sekundär gewonnen und somit einer erneuten Nutzung zugeführt werden können. Im Rahmen des Forschungsprojekts Reslag werden die Stahlschlacken nach erfolgter Aufbereitung industriellen Alternativenanwendungen zugeführt, wodurch sich neue Märkte eröffnen.

Die Fraunhofer-Projektgruppe IWKS analysiert die aus den Schlacken extrahierten Metalle hinsichtlich ihrer Rohstoffkritikalität. Im Rahmen einer Marktrecherche, unterstützt durch ein entwickeltes ICT-Tool (Information Communication Technology Tool), werden im Anschluss potentielle Akteure für die Aufbereitung sowie Wiederverwertung der Schlacke innerhalb der europäischen Stahlindustrie identifiziert und miteinander verknüpft. Somit wird die Voraussetzung für eine zukünftige Umsetzung der entwickelten Alternativenanwendungen im großen Maßstab geschaffen.

2 VERWERTUNGSSTRATEGIEN

Das Ziel des Projekts Reslag, stellt die effiziente Verwendung der Stahlwerksschlacken dar. Dabei dient die Schlacke als Ausgangsmaterial für vier innovative Anwendungen, die im Rahmen des Projekts auf industrieller Pilotenebene technisch demonstriert werden. Neben der Rückgewinnung der wertvollen Metalle steht die Verwertung als Ausgangsstoff für thermische Energiespeichersysteme im Mittelpunkt des Forschungsvorhabens (Abb. 1).

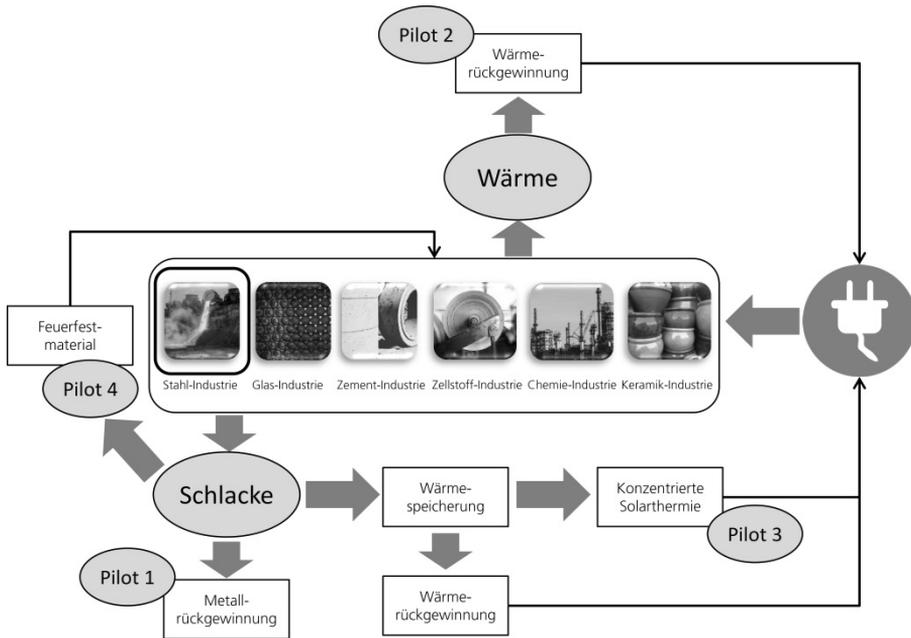


Abb. 1: Unterschiedliche Verwertungsstrategien für Stahlwerksschlacke.

2.1 Schlacke als Ausgangsstoff für hochwertige Metalle

Stahlschlacken enthalten je nach Zusammensetzung einen gewissen Teil wertvoller Metalle, wie z.B. Cu, Cr, Ni, Zn und weitere kritische Metalle. Im Rahmen des Projekts wird eine neue, selektive hydrometallurgische Methode zur Gewinnung hochwertiger Nichteisenmetalle entwickelt. Diese wertvollen Metalle werden aktuell keinem gesonderten Recycling zugeführt und müssen an anderer Stelle durch Primärmaterialien ersetzt werden. Durch eine selektive Rückgewinnung können nachhaltige Nutzungsmodelle im Sinne der Kreislaufwirtschaft entwickelt werden. Das entwickelte Verfahren besteht zunächst aus einer Trockenbehandlung der Schlacke, in der diese zerkleinert, gemahlen und gesiebt wird. Durch anschließende Auslaugung und einer selektiven Extraktion der Metalle in Lösung werden Metallsalze- oder hydroxide gewonnen. Die selektive Rückgewinnung erfolgt dabei mittels eines kontinuierlichen Verfahrens der Säulenchromatographie (SMB – Simulated Moving Bed).

2.2 Schlacke als Ausgangsstoff für thermischen Energiespeichersysteme

Innerhalb der Stahlindustrie und weiteren energieintensiven Industrien wie z.B. der Glasindustrie, Zementindustrie oder Keramikindustrie wird während der einzelnen Verfahrensschritte, wie etwa dem Schmelzprozess, Wärme erzeugt, die an die Atmosphäre abgegeben wird und somit ungenutzt bleibt. Die Entwicklung eines kostengünstigen Wärmerückgewinnungssystems bei hoher Temperatur und hoher thermischer Leistung, die ebenfalls Bestandteil des Forschungsprojektes ist, kann hierbei Abhilfe schaffen. Bislang lag der Schwerpunkt der Abwärmenutzung auf der Stromerzeugung in einer Dampfturbine. Dies gestaltete sich jedoch aufgrund von Schwankungen der Abgastemperaturen- und volumina problematisch, da der Einsatz von Dampfturbinen eine kontinuierliche Strömung in einem sehr engen Temperaturbereich erfordert. Bisherige technologische Lösungen, wie etwa die Schmelzsalztechnologie, haben häufig Einschränkungen, so z.B. ein begrenzter Temperaturbereich oder hohe

Kosten für die Herstellung der Ausgangsstoffe. Die Reslag-Forschungsgemeinschaft zielt darauf ab, die Energieeffizienz innerhalb der Stahlindustrie durch die Integration eines Hochtemperatur-Wärmespeichersystems mit dem Einsatz von Stahlschlacken als Speichermedium zu verbessern. Dabei stellt der Wärmehalt, der aus dem Elektrolichtbogenofen (EAF) kommenden Abgase, das primäre Rückgewinnungsziel dar. Stahlschlacke ist ein starkes, dichtes, kostengünstiges, nicht poröses Gestein und hat eine gute Beständigkeit gegenüber heißer Luft, was es zu einem idealen Material für die Wärmespeicherung bei hohen Temperaturen (bis zu 1.200 °C) macht. Diese rückgewonnene Wärme könnte z.B. zur Erzeugung von Elektrizität (mit einer Turbine) oder zum Vorheizen von Materialien vor dem Eintritt in den Ofen verwendet werden. In beiden Fällen wird ein bedeutender Energieverbrauch eingespart.

2.3 Schlacke als Ausgangsstoff für thermische Energiespeichersysteme in konzentrierter Solarthermie

Neben dem Einsatz der Stahlschlacke als Wärmespeicher innerhalb der energieintensiven Industrien gewinnt der Sektor der konzentrierten Solarthermie (CSP - concentrated solar power) zunehmend an Bedeutung. Dieser Sektor hat die Entwicklung von Wärmespeichern in den letzten Jahren hauptsächlich mit vorangetrieben. Auch hier ist der Einsatz von Schlacke anstelle von geschmolzenem Salz als Wärmeträger denkbar, wodurch sich der Temperaturbereich auf > 600 °C erhöht. Aufgrund des hohen Wachstumspotentials des CSP-Sektors und der Eignung der Schlacken für diese Anwendung wird das Reslag-Projekt spezifische Lösungen für diesen Sektor entwickeln. So wird im Rahmen des Projektes ein kostengünstiges Hochtemperatur-Wärmespeichersystem auf Basis von Stahlschlacke als Speichermedium entwickelt. Die in diesem Projekt vorgeschlagene Innovation umfasst die Verwendung der Schlacke in direktem Kontakt mit verschiedenen Wärmeübertragungsflüssigkeiten wie geschmolzenem Salz oder Gas (Luft) in verschiedenen Temperaturbereichen.

Die CSP-Industrie hat ein hohes Wachstumspotential und ist maßgeblich auf eine integrierte Wärmespeicherung angewiesen, um wettbewerbsfähig zu sein. Thermische Energiespeichersysteme in CSP-Anlagen könnten eine flexible Energiebereitstellung ermöglichen, sodass diese ebenfalls in die Netzregelung einbezogen werden könnten. Der Wärmespeicher ermöglicht eine konstante Stromproduktion auch in sonnenlosen Stunden.

2.4 Schlacke als Ausgangsstoff für die Herstellung von feuerfestem und keramischem Material

Ein weiteres innovatives Anwendungsgebiet der Stahlschlacken stellt die Verwendung bei der Herstellung von Keramik und anderen feuerfesten Materialien dar. Aufgrund der hohen Temperaturbeständigkeit der Schlacken eignen sie sich für den Einsatz als Zuschlagstoff bei deren Herstellung. Feuerfeste Materialien werden u.a. in allen energieintensiven Industrien für den Bau von Öfen, Verbrennungsanlagen oder Reaktoren benötigt. Durch den Einsatz von Schlacke könnte der Einsatz von Primärmaterialien reduziert werden, wodurch sich ein ökologischer Vorteil ergibt.

3 RESLAG MARKET

Durch die Entwicklung eines ICT-Tools im Rahmen einer Marktrecherche wird die Voraussetzung für eine Umsetzung der Alternativenanwendungen im großen Maßstab geschaffen. Das ICT-Tool identifiziert und verknüpft potentielle Akteure für die Aufbereitung sowie Verwertung von Schlacken innerhalb Europas. Es ist eine Plattform, um Anbieter von Schlacken mit potentiellen Abnehmern zu verbinden.

Das ICT-Tool besteht im Wesentlichen aus einer interaktiven Karte, die vollständig im Browser integriert ist. Sowohl Anbieter als auch Abnehmer von Schlacken können sich mit einem Benutzerprofil registrieren und das ICT-Tool somit aktiv nutzen. Die Einrichtung eines Benutzerprofils ermöglicht es den Nutzern, sowohl Angebote als auch Gesuche für unterschiedliche Schlackentypen zu erstellen und somit ihre Sichtbarkeit in der europäischen Schlackengemeinschaft zu steigern. Dabei besteht die Möglichkeit, detaillierte Informationen über Menge, Art, Ort und zeitliche Verfügbarkeit der gesuchten bzw. angebotenen Schlacke zu hinterlegen, wodurch ein spezifizierter Datensatz an Gesuchen und Angeboten entsteht. Durch die vielfältigen Suchparameter, können potentielle Partner für die Zusammenarbeit identifiziert und kontaktiert werden. Die Suchfunktionen stehen auch nicht-registrierten Besuchern zur Verfügung. Ein Administrationsbereich mit separatem Zugang und separater Authentifizierung dient zur Verwaltung von Grundeinstellungen, Stammdaten und Benutzern, sodass eine Aktualität und Pflege des ICT-Tools gewährleistet wird. Zusammenfassend bietet das im Reslag-Projekt entwickelte ICT-Tool die Chance, das Marktpotential im Bereich der Schlackeindustrie darzustellen und Marktteilnehmer miteinander zu vernetzen. Markteigenschaften, wie Angebots- und Nachfragestrukturen werden sichtbar, sodass eine strategische Ausrichtung innerhalb der Schlackeindustrie begünstigt wird.

Projekthomepage: www.reslag.eu
Reslag Market: www.reslag-market.eu

4 ZUSAMMENFASSUNG

Deponierung von Schlacken ist häufig mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden, sodass Alternativenanwendungen hier ein besonderes Augenmerk gilt. Das Projekt Reslag zielt auf die Umsetzung einer effektiven Verwertung und Nutzung von Stahlschlacke ab. Hierfür werden im Rahmen des Projekts vier innovative Verfahren entwickelt und im technischen Maßstab umgesetzt. Neben der Verwendung der Stahlschlacke für thermische Energiespeichersysteme u.a. für den Einsatz im Bereich der konzentrierten Solarthermie, findet die Schlacke bei der Herstellung von feuerfestem und keramischem Material Anwendung. Durch ein mehrstufiges Verfahren wird zudem eine Lösung entwickelt, hochwertige Metalle zu recyceln und so den Einsatz an Primärmaterialien nachhaltig zu senken. Durch das ICT-Tool „Reslag Market“ ergeben sich vielfältige Optimierungsoptionen im Bereich Logistik, Handel und Produktion, die nachhaltig auf eine steigende Recyclingrate der Schlacken abzielt.

LITERATUR

Euroslag (2010) *Statistical Data*, Statistics 2010.
U.S. Geological Survey (USGS) (2018) *Iron and Steel Slag*. Mineral Commodity Summaries.

Vermeidung von Lebensmittelabfällen in der Außer-Haus-Verpflegung in Österreich

M. Hrad, R. Ottner & G. Obersteiner

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Abfallwirtschaft, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Das Vermeidungspotential von Lebensmittelabfällen wurde bisher in 74 österreichischen Küchenbetrieben aus den Bereichen Gastronomie, Beherbergung, Großküchen (Betriebskantinen und Gesundheitswesen) sowie Eventcatering erhoben. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Großteil der untersuchten Betriebe ein erhebliches Vermeidungspotential aufweisen. Dieses wird anhand der Verlustquote – also dem Anteil vermeidbarer Lebensmittelabfälle am Lebensmitteloutput (konsumierte Speisen) – dargestellt. Vor allem im Gesundheitswesen und Eventcatering ist die Verlustquote mit 24 – 27 % deutlich höher als in Beherbergungs- und Gastronomiebetrieben sowie Betriebskantinen (13 – 18 %). In Abhängigkeit des Betriebstyps konnten unterschiedliche Hauptanfall- und damit potentielle Vermeidungsorte für Lebensmittelabfälle identifiziert werden. Die Ergebnisse werden in einer Guideline zur Lebensmittelabfallvermeidung in der Außer-Haus-Verpflegung zusammengefasst und für die breite Öffentlichkeit bzw. interessierte Stakeholder zur Verfügung gestellt.

1 EINLEITUNG

In der EU-28 werden etwa 88 Millionen Tonnen Lebensmittel pro Jahr, oder 173 kg pro Kopf, entlang der Wertschöpfungskette verschwendet, was den Druck auf wertvolle Ressourcen wie Land, Wasser und Energie erhöht (Stenmarck et al. 2016). Die Außer-Haus-Verpflegung wurde – mit fast 11 Millionen Tonnen Lebensmittelabfällen in der EU-28 im Jahr 2012 (Stenmarck et al. 2016) – als eine der Hauptquellen von Lebensmittelabfällen identifiziert. Österreichweit entstehen jährlich hochgerechnet rund 45.000 Tonnen vermeidbare Lebensmittelabfälle in der Gastronomie, 50.000 Tonnen in der Beherbergung, 61.000 Tonnen in der Gemeinschaftsverpflegung sowie 19.000 Tonnen in sonstigen Betrieben wie z.B. Kaffeehäusern. Diese Daten basieren auf der Gemeinschaftsinitiative "United Against Waste" (UAW), die das Lebensmittelabfallaufkommen von 50 österreichischen Küchenbetrieben untersuchte (Hrad et al., 2016). Um Datenlücken zu schließen, wird im Rahmen des EU-Projektes STREFOWA („Strategies to reduce and manage food waste in Central Europe“) die Anzahl der österreichischen Betriebe im Beherbergungssektor erhöht bzw. mit Eventcateringbetrieben ein weiterer Sektor analysiert, wobei vor allem bei letzteren das Vermeidungspotential von Lebensmittelabfällen noch weitgehend unbekannt ist. Grundlage für gezielte Abfallvermeidungsmaßnahmen liefern dabei Sortieranalysen, in denen die Menge bzw. Herkunft sowie die Zusammensetzung des Lebensmittelabfallaufkommens nach Vermeidbarkeit und Produktgruppen erhoben wird. Die Ergebnisse der Analysen sollen als Basis für ein Benchmarking für unterschiedliche Betriebstypen dienen und eine valide Datenbasis hinsichtlich Lebensmittelabfälle für die Außer-Haus-Verpflegung in Österreich schaffen.

2 MATERIAL UND METHODE

2.1 Erhobene Betriebe im Überblick

In Summe konnte bisher das Lebensmittelabfallaufkommen in 74 österreichischen Küchenbetrieben aus den Bereichen Gastronomie, Beherbergung, Großküchen und Eventcatering erhoben werden. Im Zeitraum von 2014 bis 2018 wurden in 30 Großküchen (davon 17 Betriebskantinen und 13 Krankenhäuser, Rehakliniken bzw. Pflegeheime), 22 Beherbergungsbetrieben, 17 Gastronomiebetrieben und 5 Cateringbetriebe alle Lebensmittelabfälle an jeweils einem typischen Erhebungstag gesammelt, sortiert und verworfen.

2.2 Sortieranalysen Lebensmittelabfälle

Die Lebensmittelabfälle wurden nach dem Ort der Entstehung in fünf Bereiche (Lager, Zubereitung, nicht ausgegebene Speisen, Buffet- sowie Tellerreste) und nach acht Produktgruppen (Fisch und Fleisch, Gemüse und Obst, Salat, Suppen, Stärke- und Sättigungsbeilagen, Süßspeisen, Milchprodukte, Sonstiges) sortiert. Die Lagerverluste beinhalten alle Lebensmittel, welche direkt aus dem Lager bei Kontrollen aussortiert und weggeworfen werden. Zubereitungsreste treten bei der Zubereitung von Speisen auf und setzen sich hauptsächlich aus nicht vermeidbaren Abfällen wie Knochen, Schalen, Kernen, Strünken etc. zusammen. Der dritte Bereich der Lebensmittelabfälle umfasst die nicht ausgegebenen Speisen, welche die Fehl- und Überproduktion in den Küchen beinhaltet. Den vierten Bereich stellen vom Buffet zurückkommende Lebensmittel dar, welche von den Kunden nicht gegessen wurden. Der letzte Bereich umfasst die Tellerreste, welche direkt mit dem Teller des Kunden abserviert werden. Mit Ausnahme der Zubereitungsreste werden die angefallenen Lebensmittelabfälle als potentiell vermeidbar eingestuft. Die ermittelten Abfallmengen wurden danach in Relation mit den am jeweiligen Erhebungstag konsumierten Essensmengen gesetzt, um unterschiedliche Betriebsarten miteinander vergleichen bzw. die Effizienz eines Betriebes bewerten zu können.

3 ERGEBNISSE

Insgesamt wurde ein Lebensmittelabfallaufkommen von rund 8.600 kg für alle Betriebe erhoben. Abb. 1 vergleicht die Zusammensetzung der Lebensmittelabfälle nach dem Ort der Entstehung für die unterschiedlichen Betriebstypen. Abb. 2 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung der vermeidbaren Lebensmittelabfälle (exkl. Zubereitungsreste) nach Produktgruppen. Nachdem Betriebe teilweise vermischte Lebensmittelabfälle bereitstellten und diese nicht mehr eindeutig einem Bereich bzw. einer Produktgruppe zugeordnet werden konnten, wurde die Kategorie „nicht zuordenbar“ bzw. „nicht sortiert“ eingeführt. Der überwiegende Teil der Lebensmittelabfälle entsteht beim Eventcatering im Bereich der nicht ausgegebenen Speisen (44 %), also der Überproduktion, aufgrund schwieriger Rahmenbedingungen bei der Produktionsplanung. Besonders oft bleiben Sättigungsbeilagen (25 %), Gemüse und Obst (16 %) sowie Süßspeisen (14 %) übrig. Im Gesundheitswesen (Krankenhäuser, Rehakliniken bzw. Pflegeheime) bestehen die Lebensmittelabfälle zur Hälfte aus Tellerresten (56 %), die durch entsprechend kleine Portionsgrößen vermieden werden könnten. Insgesamt handelt es sich zumeist um Suppen (21 %) oder Stärkebeilagen (14 %), die entweder von den Tellern retour kommen oder nicht ausgegeben werden. In Betriebskantinen stammt der größte Anteil der Lebensmittelabfälle aus nicht ausgegebenen Speisen (33 %) bzw. Tellerreste (30 %), die sich vorwiegend aus Stärkebeilagen (21 %), Salat (15 %) oder Suppen (14 %) zusammensetzen. In der Gastronomie fallen mit 47 % vergleichsweise hohe Zubereitungsreste an, die jedoch als unvermeidbar

einzustufen sind. Doch auch hier sind immerhin noch 37 % der Lebensmittelabfälle den vermeidbaren Tellerresten zuzuordnen. Gastronomiebetriebe zeigen einen vergleichsweise hohen Anteil an Fleisch- und Fisch (14 %) bzw. Beilagen (24 %) und Salat (21 %) auf den retournierten Tellern. In den Beherbergungsbetrieben konnte der Buffetbereich (28 %) als Hotspot identifiziert werden. Dabei sind speziell Stärkebeilagen (15 %) sowie Gemüse und Obst (14 %) ein Thema.

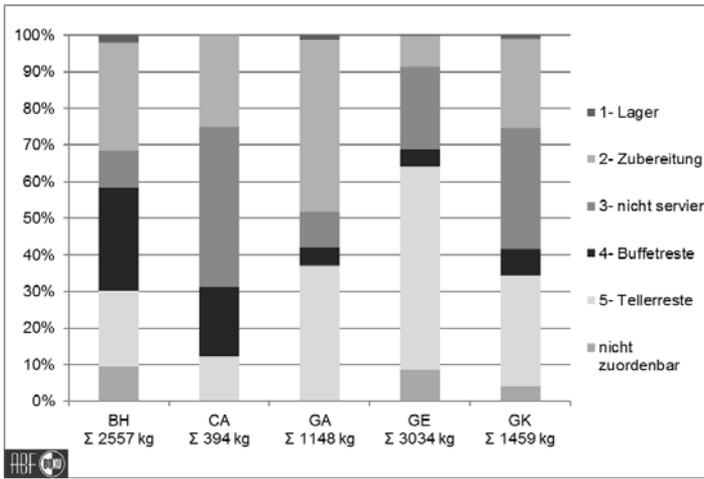


Abb. 1: Zusammensetzung der Lebensmittelabfälle nach dem Ort der Entstehung in Masse-% – Vergleich nach Betriebstyp (BH...Beherbergung, CA...Catering, GA...Gastronomie, GE...Gesundheitswesen, GK...Betriebsrestaurants).

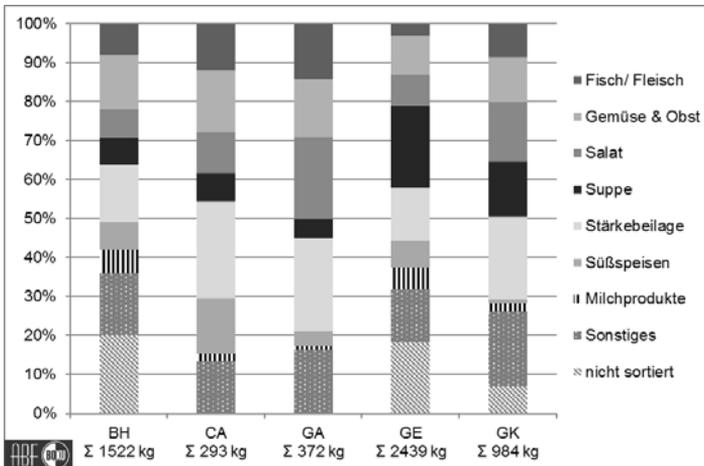


Abb. 2: Zusammensetzung der vermeidbaren Lebensmittelabfälle (exkl. Zubereitungsreste) nach Produktgruppen in Masse-% – Vergleich nach Betriebstyp (BH...Beherbergung, CA...Catering, GA...Gastronomie, GE...Gesundheitswesen, GK...Betriebsrestaurants)

Der Anteil der vermeidbaren Lebensmittelabfälle (exkl. Zubereitungsreste) in Relation zu den konsumierten Speisen (Verlustquote) bewegt sich in den Betrieben zwischen 5 - 55 % (siehe Abb. 3). Im Mittel wurden für Großküchen im Gesundheitswesen und Cateringbetriebe deutlich höhere Verlustquoten (Median 27 % und 24 %) im Vergleich

zu Beherbergungs- und Gastronomiebetrieben sowie Betriebskantinen (Median 13 – 18 %) berechnet. Es ist jedoch zu beachten, dass die Stichprobe – insbesondere im Eventcatering-Bereich statistisch nicht repräsentativ ist. Die vorhandene Datenbasis gibt jedoch einen Einblick hinsichtlich der Vermeidbarkeit von Lebensmittelabfällen in der Außer-Haus-Verpflegung in Österreich.

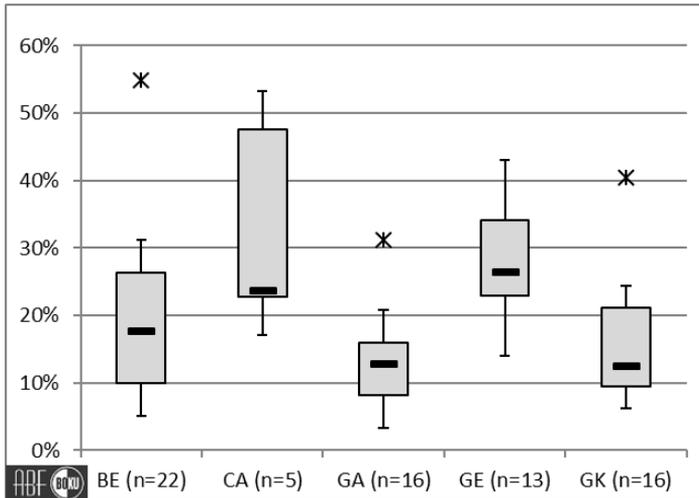


Abb. 3: Verhältnis der vermeidbaren Lebensmittelabfälle (exkl. Zubereitungsreste) zu konsumierten Speisen – Vergleich nach Betriebstyp (BH...Beherbergung, CA...Catering, GA...Gastronomie, GE...Gesundheitswesen, GK...Betriebsrestaurants).

4 AUSBLICK

Neben einer detaillierten Lebensmittelabfallanalyse werden in professioneller Begleitung durch unabhängige Küchenprofil[t]-Berater (z.B. Haubenkoch Siegfried Kröpfl) die wesentlichsten Bereiche für Einsparmaßnahmen identifiziert und praxistaugliche Reduktionsmaßnahmen abgeleitet. Nach rund einem Jahr (im Herbst 2018) wird in ausgewählten Küchenbetrieben eine erneute Abfallerhebung zur Wirkungskontrolle der Reduktionsmaßnahmen durchgeführt. Die Ergebnisse werden in einer Guideline zur Lebensmittelabfallvermeidung in der Außer-Haus-Verpflegung zusammengefasst und für die breite Öffentlichkeit bzw. interessierte Stakeholder zur Verfügung gestellt.

5 DANKSAGUNG

Die Analysen wurden im Rahmen des EU-Interreg Projektes STREFOWA (Strategies to reduce and manage food waste) durchgeführt, welches durch den European Regional Development Fund (ERDF) finanziert wird.

LITERATUR

- Hrad, M.; Ottnet, R.; Lebersorger, S.; Schneider, F. und Obersteiner, G. (2016) *Vermeidung von Lebensmittelabfall in Gastronomie, Beherbergung und Großküchen – Erweiterung weitere Betriebe* – Endbericht. Wien: Selbstverlag. Online verfügbar unter: <https://united-against-waste.at/>
- Stenmarck, A., Jensen, C., Quedsted, T. & Moates, G. (2016) *Estimates of European food waste levels*, FUSION EU project report supported by the European Commission (FP7), Coordination and Support Action – CSA, March, Stockholm, Sweden.

Identifizierung von Einflussfaktoren auf das Obst- und Gemüseabfallaufkommen aus Haushalten

S. Schwödt & G. Obersteiner

Universität für Bodenkultur, Institut für Abfallwirtschaft, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Die Identifizierung von Einflussfaktoren auf das Aufkommen von Lebensmittelabfällen ist für die Entwicklung von Abfallvermeidungsmaßnahmen unerlässlich. Mittels 82 Abfalltagebüchern sowie zusätzlich 291 ausgewerteten Fragebögen einer Online-Umfrage konnten die wichtigsten Einflussfaktoren auf das Obst- und Gemüseabfallaufkommen aus Haushalten identifiziert und in drei verschiedene Gruppen unterteilt werden. Einerseits zeigen sich jene, die direkt mit dem "Wissen und den Gewohnheiten" der KonsumentInnen in Zusammenhang stehen, andererseits jene, die auf herausfordernde Eigenschaften im Umgang mit verschiedensten Sorten zurückzuführen sind. Die dritte Gruppe steht mit verschiedenen von KonsumentInnen genutzten Vertriebswegen in Zusammenhang, die Obst- und Gemüseabfallaufkommen positiv und negativ beeinflussen können.

1 EINLEITUNG

Bei Betrachtung der Zusammensetzung vermeidbarer Lebensmittelabfälle im österreichischen Restmüll zeigt sich, dass Obst und Gemüse neben Brot und Gebäck sowie Milchprodukten besonders häufig entsorgt wird (Schneider et.al, 2012). Diese Ausgangssituation stellte die Grundlage für eine ausführliche Analyse der Einflussfaktoren auf das Obst- und Gemüseabfallaufkommen aus Haushalten dar.

2 METHODIK

Eine Erhebung des Lebensmittelabfallaufkommens aus Haushalten gestaltet sich aufgrund verschiedener Aspekte herausfordernd. Daher wurden zwei verschiedene Methoden gewählt, die sich gegenseitig unterstützen und sicherstellen, dass eine große Anzahl von TeilnehmerInnen motiviert werden kann und Fehler in der Dokumentation des Abfallaufkommens minimiert. Um Rückschlüsse auf den Einfluss des Vertriebsweges ziehen zu können wurden drei verschiedene Gruppen von KonsumentInnen untersucht: Jene, die ihren Obst und Gemüsebedarf vorwiegend im Supermarkt kaufen, jene die am Bauernmarkt kaufen und jene die ihren Obst- und Gemüsebedarf über die Online-Bestellung eines sogenannten "Obst- und Gemüsekistls" decken.

2.1 Abfalltagebücher

Mittels Abfalltagebüchern wurde unter anderem der bevorzugte Vertriebsweg, das Einkaufsdatum, die gekauften Sorten, die gekaufte und verworfene Menge sowie der Zeitpunkt und der Grund für die Entsorgung erhoben.

2.2 Online-Umfrage

Eine Online-Umfrage wurde erstellt um zusätzliches Wissen (derzeit genutzte Vermeidungsstrategien, problematische Obst- und Gemüsesorten) zu generieren aber auch um Vergleichsmöglichkeiten (geschätztes Abfallaufkommen) zu schaffen.

3 ERGEBNISSE

Es wurden in weiterer Folge 82 Tagebücher sowie 291 vollständig beantwortete Online-Umfragen ausgewertet. Dabei konnten verschiedene Einflussfaktoren identifiziert werden, die in drei Gruppen unterteilt wurden.

3.1 Einfluss von Wissen und Gewohnheiten

Die Onlineumfrage zeigt, dass jene KonsumentInnen, welche regelmäßig mehr einkaufen als geplant auch ein höheres geschätztes Abfallaufkommen angaben. Die Onlineumfrage hat außerdem gezeigt, dass "Vergessen" die häufigste Ursache für Obst- und Gemüseabfälle darstellt, gefolgt von fehlenden Kochideen und kurzer Haltbarkeit dieser Produkte. Die Auswertung der Essenstagebücher zeigt, dass besonders die falsche Lagerung in den Haushalten ein Problem darstellt, das von den KonsumentInnen nicht wahrgenommen wird. Lediglich 13 Prozent der Befragten in der Onlinebefragung gaben an regelmäßig unsicher zu sein, wie bestimmte Produkte richtig gelagert werden müssen. Die am häufigsten entsorgten Obstsorten der Untersuchung (Äpfel und Orangen) wurden von dem Großteil der teilnehmenden Personen jedoch fälschlicherweise bei Raumtemperatur gelagert. Mit der Ausnahme von Beeren und Zitronen werden alle Obstsorten häufiger bei Raumtemperatur gelagert - dies verkürzt ihre Lagerungsfähigkeit teilweise um mehrere Wochen.

3.2 Einfluss von Produkteigenschaften

Es konnten Obst- und Gemüsesorten identifiziert werden, die aufgrund ihrer Eigenschaften häufig Probleme bei der Verarbeitung verursachen. Besonders die Größe der Frucht (z.B. Ananas, Kohlsorten) und der Verarbeitungsaufwand (z.B. Kürbis schälen) führten dazu, dass bestimmte Obst- und Gemüsesorten als problematisch empfunden werden. Allerdings sind auch Sorten betroffen, die besonders rasch verderben wie z.B. Beeren oder Salate.

3.3 Einfluss des Vertriebsweges

Als dritte Gruppe können jene Faktoren zusammengefasst werden, die mit dem Vertrieb des Produktes direkt in Zusammenhang stehen wie beispielsweise zu große Verkaufseinheiten in Supermärkten und entsprechende Angebote beim Kauf größerer Mengen (z.B. Paprika).

4 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Hauptursachen für das Aufkommen von Obst- und Gemüseabfällen in Haushalten stehen in direktem Zusammenhang mit dem Verhalten und dem fehlenden Wissen der KonsumentInnen. Wissen ist ein Schlüsselfaktor beim Umgang mit Lebensmitteln, insbesondere bei Obst und Gemüse, da sich die KonsumentInnen auf ihre Sinne verlassen müssen. Weiteres können Produkteigenschaften sowie der Vertriebsweg einen Einfluss auf das Obst- und Gemüseabfallaufkommen haben.

LITERATUR

Schneider, F; Part, F; Lebersorger, S; Scherhaufen, S; Böhm, K (2012) Sekundärstudie Lebensmittelabfälle in Österreich. Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land-, Forst-, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Universität für Bodenkultur, Wien.

Untersuchungen an ausgewählten Abfallströmen zur gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 „ökotoxisch“

W. Wruss, K. Wruss, O. Mann & A. Dvorak

ESW Consulting WRUSS ZT GmbH, Forschung & Entwicklung, Wien, Österreich

J. Kraus & S. Löw

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT), Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Die Einstufung von Abfällen als gefährliche Abfälle soll gemäß der Richtlinie 2008/98/EG u.a. auf den Rechtsvorschriften der Union über Chemikalien erfolgen. Die Vorgaben zur Beurteilung der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 „ökotoxisch“ wurden in der EU Verordnung 2017/997 festgelegt, welche sowohl das ozonschichtschädigende Potential als auch die Gewässergefährdung berücksichtigt. EPS- und XPS-Platten, sowie Shredderleichtfraktionen wurden in Bezug auf die Einstufung zur gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 untersucht. In den Polystyrol-Platten wurde der Gehalt an fluorierten und chlorierten Kohlenwasserstoffen sowie Hexabromcyclododecan analysiert. Bei den Shredderleichtfraktionen wurden zusätzlich die Schwermetallgehalte bestimmt und beurteilt. Außerdem wurden vier Biotests zur Beurteilung der gewässergefährdenden Eigenschaften durchgeführt. Bei den XPS-Platten mussten 44 % als ökotoxisch im Sinne der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 (ozonschichtschädigend) und 17 % als reproduktionstoxisch aufgrund hoher HBCD-Gehalte eingestuft werden. Von den Shredderleichtfraktionen musste keine als gefährlicher Abfall eingestuft werden. Keine der untersuchten Proben erfüllte bei den durchgeführten Biotests die gefahrenrelevante Eigenschaft gewässergefährdend nach HP14.

1 EINLEITUNG

Die EU Verordnung 2017/997 vom 8. Juni 2017 regelt, ab wann Abfälle in Bezug auf die gefahrenrelevante Eigenschaft HP14 „ökotoxisch“ als gefährlich einzustufen sind, wobei zwischen der Gewässergefährdung und dem ozonschichtschädlichen Potential unterschieden werden muss. Die Einstufung „ozonschichtschädigend“ ist bei Vorhandensein eines Stoffes, der den Gefahrenhinweis H420 trägt, mit einem Grenzwertvergleich vorzunehmen: $c(H420) \geq 0,1 \%$. In Österreich gilt außerdem für die Summe an FCKWs/HFCKWs/HFKWs/FKWs und Halonen ein Grenzwert von 0,2 % (BMNT 2018).

Die Gewässergefährdung ist entweder mit einem Berechnungsmodell, oder mit Biotests zu beurteilen. Dabei gilt:

- $\sum c(H400) \geq 25 \%$,
- $100 \times \sum c(H410) + 10 \times \sum c(H411) + \sum c(H412) \geq 25 \%$ und
- $\sum c(H410) + \sum c(H411) + \sum c(H412) + \sum c(H413) \geq 25 \%$.

Gemäß dem Beschluss 2014/955/EU und der EU-Verordnung 2017/997 sind, wenn eine gefahrenrelevante Eigenschaft eines Abfalls sowohl durch eine Prüfung als auch anhand der Konzentrationen gefährlicher Stoffe gemäß Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG bewertet wurde, die Ergebnisse der Prüfung ausschlaggebend. Bei der Durchführung einer Prüfung zur Beurteilung der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP 14 „ökotoxisch“ sollten die in der Verordnung (EG) Nr. 440/2008 festgelegten

einschlägigen Methoden oder andere international anerkannte Methoden und Leitlinien angewendet werden.

2 UNTERSUCHUNGEN AN XPS- UND EPS-PLATTEN

EPS (Expandiertes Polystyrol) setzt sich aus einzelnen kugelförmigen Strukturen zusammen, ist recht kostengünstig, leicht bearbeitbar und wird als Decken-, Wand-, Dach- und Trittschalldämmung und in der Verpackungsindustrie eingesetzt. XPS (Extrudiertes Polystyrol) besitzt eine gleichmäßige Schaumstruktur, eine höhere Feuchtigkeitsresistenz und Druckfestigkeit und wird als Perimeterdämmung, Umkehrdachdämmung und Dämmung unter Industrie-Estrich eingesetzt.

2.1 Fluorierte und chlorierte Kohlenwasserstoffe (FCKW)

Zum Aufschäumen von XPS-Platten wurden früher fluorierte und chlorierte Kohlenwasserstoffe (FCKW und HFCKW) als Treibmittel eingesetzt, die sehr häufig den Gefahrenhinweis H420 tragen. Heute wird als Ersatz entweder CO₂ oder R134a bzw. R152a verwendet. Zur Einstufung des ozonschichtschädlichen Potentials muss daher der Gehalt an FCKWs, HFCKWs und HFKWs in den XPS-Platten bestimmt werden. In der Literatur werden für XPS-Platten sehr hohe Werte von 7 bis 11 % FCKW als Ausgangskonzentrationen bei der Schäumung angeführt.

Bei EPS-Platten wird zum Schäumen Pentan als Treibmittel eingesetzt, welchem kein ozonschichtschädliches Potential zugeschrieben wird. Auch in der Vergangenheit wurden gemäß den Herstellerangaben EPS-Platten nicht mit fluorierten/chlorierten Treibmitteln geschäumt.

Die Bestimmung von FCKWs, HFCKWs und HFKWs wurde an 81 Proben mittels Headspace-Gaschromatographie mit einem massenselektiven Detektor (GC-MS) durchgeführt.

2.2 Hexabromcyclododecan (HBCD)

Hexabromcyclododecan (HBCD) ist ein bromiertes Flammschutzmittel mit sehr geringer Wasserlöslichkeit, welches zur Behandlung von Polystyrol-Platten eingesetzt wurde (EPA 2014). In EPS-Platten kann ca. 0,5-0,7 %, in XPS-Platten ca. 1,0-2,5 % HBCD enthalten sein. Laut EU Verordnung 1272/2008 (CLP) ist HBCD ab 3 % als „reproduktionstoxisch“ Kat. 2 (HP10) eingestuft, da es die H-Sätze H361 und H362 besitzt. α - und γ -HBCD sind zusätzlich mit H410 „chronisch gewässergefährdend“ Kat. 1 klassifiziert, womit diese Isomere auch für das Gefahrenmerkmal HP14 relevant sind. Jedoch wird in technischen Prozessen meist das Isomerengemisch eingesetzt, welches wiederum nur für das Kriterium HP10 relevant ist. Außerdem wurde HBCD in die Liste der POPs (Persistent Organic Pollutants) aufgenommen, wodurch gemäß EU-Verordnung 2016/460 zur Änderung der Anhänge IV und V der POP-Verordnung (EG) Nr. 850/2004 ein Zerstörungsgebot für Abfälle ab 0,1 % HBCD gilt.

Gemäß geltendem EU Recht bedingt die Überschreitung des POP-Grenzwerts bei den „neu gelisteten“ POPs, zu denen auch HBCD zählt, nicht automatisch die Einstufung als gefährlicher Abfall. Diesbezüglich ist die chemikalienrechtliche Einstufung relevant.

Heute werden zahlreiche alternative bromierte Flammschutzmittel mit geringerem Gefahrenpotential für die Behandlung von EPS- und XPS-Platten eingesetzt. Bei der Untersuchung muss somit zwischen dem Vorliegen von HBCD und alternativen

Flammschutzmitteln unterschieden werden, um eine Einstufung in Bezug auf das Kriterium HP10 und das Zerstörungsgebot gemäß POP-Verordnung vornehmen zu können. Dafür wurde an 122 Proben (81 XPS, 41 EPS) zuerst mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) der Brom-Gehalt in den Polystyrol-Platten bestimmt. Zur weiteren Differenzierung wurde der Schnelltest nach Schlummer et al. durchgeführt. Dabei wird HBCD als in Aceton extrahierbare organische Bromverbindung ebenfalls mittels RFA bestimmt. Zur Verifizierung des Schnelltests wurden außerdem Untersuchungen mittels Flüssigchromatographie mit massenselektiver Detektion (LC-MS/MS) durchgeführt.

2.3 Biotests

Zur Beurteilung der Gewässergefährdung nach HP14 wurden an 14 Eluat-Proben (2 EPS, 12 XPS) vier verschiedene Biotests durchgeführt: Algentest nach EN ISO 8692 (*Desmodesmus subspicatus*), Daphnientest nach EN ISO 6341 (*Daphnia magna*), LumisTox nach EN ISO 11348-2 (*Vibrio fischeri*) und ToxTrak nach Hach Toxicity Method 10017. Für die Untersuchungen wurden Eluate entsprechend der ÖNORM S 2117 hergestellt. Dabei wird ein 24-Stunden-Eluat mit einer Konzentration von 100 g Abfall/L und einer Korngröße kleiner 10 mm hergestellt. Aufgrund der geringen Dichte der Platten musste von den Elutionsverhältnissen jedoch abgewichen werden.

Die Bewertung wurde nach EU Verordnung 1272/2008 (CLP) durchgeführt. Wenn ein Test relevante Effekte auf die Testorganismen zeigt, muss nachgewiesen werden, dass der EC50-Wert über einer Konzentration von 100 mg/l liegt, damit keine Gewässergefährdung vorliegt. Als signifikante Effekte gelten eine effektive Konzentration $EC > 20\%$ bei den Algen und Leuchtbakterien und $EC > 10\%$ bei Daphnien.

2.4 Ergebnisse

Für EPS-Platten wurde ein Mittelwert von 0,55 % HBCD und für XPS-Platten ein Mittelwert von 2,06 % HBCD ermittelt. Diese Werte entsprechen den Literaturwerten. Bei 17 % der Proben wurde der Grenzwert von 3 % überschritten und diese mussten daher als gefährlich nach HP10 eingestuft werden. Im Vergleich mit den LC-MS/MS Ergebnissen konnten Falsch-positiv-Werte bei der RFA-Bestimmung festgestellt werden. Die RFA-Messungen erwiesen sich jedoch als deutlich schneller und kostengünstiger. Die Eluate der EPS- und XPS-Platten wiesen keine relevanten HBCD-Gehalte auf, was aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit zu erwarten war.

Bei den XPS-Platten wiesen 41 % einen FCKW-Gehalt größer als 0,2 % auf und 44 % größer als 0,1 %. Daher sind 44 % der XPS Platten als gefährlicher Abfall nach HP14 (ozonschichtschädigend) einzustufen. Als Treibmittel wurden Dichlordifluormethan, 1,1-Difluor-1-chlorethan und Trichlorfluormethan identifiziert.

Bei 43 % der untersuchten Polystyrol-Platten konnten relevante Effekte auf die Testorganismen bei den durchgeführten Biotests festgestellt werden. Alle theoretischen EC50-Werte liegen jedoch weit über 100 mg/l, wodurch alle untersuchten Proben als nicht gewässergefährdend nach HP14 einzustufen sind. Selbst Proben mit einem LHKW-Gehalt größer als 0,1 % und einem HBCD-Gehalt größer als 3 % waren als nicht gewässergefährdend einzustufen.

3 UNTERSUCHUNGEN AN SHREDDERLEICHTFRAKTIONEN

Die sogenannte Shredderleichtfraktion (SLF) fällt beim Shreddern von Altfahrzeugen (teilweise mit Elektro- und Elektronikaltgeräten) nach Abtrennung der schweren me-

tallischen Bestandteile an. Sie besteht aus Kunststoffen, organischem Material, Glas, Keramik und Metallresten. Sie kann feine Metallanteile, bromierte Flamm- schutzmittel und gegebenenfalls geringe Mengen an Mineralöl enthalten (Dashjav 2009). Die Verwertung und Entsorgung von Altautos ist in der EU-Richtlinie 2000/53/EG geregelt.

3.1 Schwermetalle

Es wurden acht SLF-Proben aus dem Autoshrederbereich mit Hilfe einer Schneid- mühle zerkleinert, anschließend gemahlen und auf < 2 mm gesiebt. Nach einem Säureaufschluss wurden die Proben mit Hilfe der ICP-OES (Optische Emissions- Spektrometrie) auf deren Schwermetall-Gehalte untersucht.

3.2 Hexabromcyclododecan (HBCD)

Sowohl die Feststoffproben, als auch die Eluate wurden auf HBCD mit Hilfe der RFA als auch der LC-MS/MS untersucht.

3.3 Biotests

Zur Beurteilung der Gewässergefährdung nach HP14 wurde an acht Eluat-Proben dieselbe Biotest-Batterie durchgeführt, wie schon bei der Untersuchung der Polysty- rol-Platten.

3.4 Ergebnisse

Mit den Messwerten aus der Schwermetall-Analytik wurde mithilfe der Schwellen- wertliste aus dem Entwurf des Leitfadens des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) „Beurteilung der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 „ökotoxisch“ gemäß Verordnung (EU) 2017/997 des Rates vom 8. Juni 2017“ die Gefährlichkeit beurteilt bzw. berechnet. Wird beim Berechnungsmodell mit den vorgegebenen Worst-Case-Substanzen gearbeitet, sind alle 8 SLF-Proben als gefährli- cher Abfall in Bezug auf HP14 (gewässergefährdend) einzustufen (siehe Tab. 1). Besonders die hohen Kupfer-, Blei- und Zinkgehalte sind ausschlaggebend. Für zwei Proben wurde das Berechnungsmodell mit für SLF realistischen Verbindungen angewandt, wobei eine der beiden Proben dann als nicht ökotoxisch im Sinne des HP14 Kriteriums eingestuft werden konnte.

Tab. 1: Beurteilung der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 „ökotoxisch“ für die Shredder- leichfraktionen mit Hilfe des Berechnungsmodells unter Berücksichtigung der gemessenen Elementkonzentrationen als „Worst-Case-Substanzen“. Alle Proben müssen als gefährlicher Abfall eingestuft werden.

	SLF 1 [%]	SLF 2 [%]	SLF 3 [%]	SLF 4 [%]	SLF 5 [%]	SLF 6 [%]	SLF 7 [%]	SLF 8 [%]
1. $[\sum c(H400) \geq 25 \text{ \%}]$	8,8	1,4	30	4,1	4,6	7,6	17	15
2. $[100 \times \sum c(H410) + 10 \times \sum c(H411) + \sum c(H412) \geq 25 \text{ \%}]$	888	148	2729	422	660	555	1704	796
3. $[\sum c(H410) + \sum c(H411) + \sum c(H412) + \sum c(H413) \geq 25 \text{ \%}]$	8,8	1,4	33	4,1	4,6	8,8	25	17
	gefährlich							

Die LC-MS/MS-Analysen zeigten weder in den Gesamtgehalten, noch in den Elua- ten relevante HBCD-Gehalte. Mit dem Test nach Schlummer et al. wurde in man- chen Proben Brom gefunden, jedoch ist es wahrscheinlicher, dass andere Flamm- schutzmittel wie Tetrabrombisphenol-A oder polybromierte Diphenylether bestimmt wurden.

Bei den Biotests zeigten zwar einige Proben signifikante ökotoxikologische Effekte, jedoch konnte nachgewiesen werden, dass alle theoretischen EC50-Werte weit über einer Konzentration von 100 mg/l liegen. Daher konnten alle untersuchten Proben trotz der Ergebnisse des Berechnungsmodells als nicht gewässergefährdend in Bezug auf HP14 eingestuft werden.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Bei den Polystyrol-Platten mussten 44 % der XPS-Platten als ökotoxisch nach HP14 (ozonschichtschädigend) aufgrund der gemessenen FCKW-, HFCKW-, HFKW-Gehalte eingestuft werden. Des Weiteren sind 17 % aller Platten aufgrund ihrer HBCD-Gehalte als gefährlich nach HP10 (reproduktionstoxisch) einzustufen. Jedoch zeigte keine der Proben eine aquatische Ökotoxizität nach HP14 (gewässergefährdend) bei den durchgeführten Biotests.

Bei den Shredderleichtfraktionen sind nach dem Berechnungsmodell (Worst-Case) aufgrund der Schwermetallgehalte alle untersuchten Proben als ökotoxisch nach HP14 (gewässergefährdend) einzustufen. Es konnten keine relevanten HBCD-Gehalte gefunden werden, das Vorliegen anderer bromierter Flammschutzmittel wie PBDE ist jedoch anzunehmen. Da bei den durchgeführten Biotests alle EC50-Werte über 100 mg/l lagen, musste letztlich keine der Proben als ökotoxisch im Sinne der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP14 (gewässergefährdend) eingestuft werden.

LITERATUR

- 2014/955/EU (2014) Beschluss der Kommission vom 18. Dezember 2014 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.
- Annot J., McCarty L., Armitage J., Toose-Reid L., Wania F., Cousins I. (2009) An evaluation of hexabromocyclododecane (HBCD) for Persistent Organic Pollutant (POP) properties and the potential for adverse effects in the environment; European Brominated Flame Retardant Industry Panel (EBFRIP).
- Bromorganische Flammschutzmittel – Analytische Anforderungen und thermische Bildung von polybromierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen; TU Braunschweig Canadian Environmental Protection Act; 1999
- Zhang H.; Kuo YY; Gerecke AC; Wang J. (2012) Co-release of hexabromocyclododecane (HBCD) and Nano- and microparticles from thermal cutting of polystyrene foams.
- EN ISO 11348 Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserproben auf die Lichtemission von *Vibrio fischeri* (Leuchtbakterientest).
- EN ISO 6341 Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmung der Beweglichkeit von *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea)-Akuter Toxizitäts-Test.
- EN ISO 8692 Wasserbeschaffenheit - Süßwasseralggen-Wachstumshemmtest mit einzelligen Grünalgen.
- Entwurf eines Leitfadens des Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) (2018) Beurteilung der gefahrenrelevanten Eigenschaft HP 14 „ökotoxisch“ gemäß VERORDNUNG (EU) 2017/997 Des Rates vom 8. Juni 2017; 05.04.2018.
- Usenko C. Y., Abel E. L., Hopkins A., Martinez G., Tijerina J., Kudela M., Norris N., Joudeh L., and Bruce E. D. (2016) Evaluation of Common Use Brominated Flame Retardant (BFR) Toxicity Using a Zebrafish Embryo Model.
- Flame Retardant Alternatives for Hexabromocyclododecane (HBCD); EPA; 2014 HACH TOXICITY Method 10017.
- Deng J., Yu L., Liu C., Yu K., Shi X., Yeung L. W. Y., Lam P. K. S., Wu R. S. S., Zhou B. (2009) Hexabromocyclododecane-induced developmental toxicity and apoptosis in zebrafish embryos.
- HP14-welche Abfälle werden gefährlich? (2017) BMFLUW, 2017.

- <http://www.greenpeace.org/austria/de/themen/konsum/Hintergrund-Info/elektronik/herstellung-probleme/elektroschrott/>
- http://www.mgg-recycling.com/?page_id=1820
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Polystyrol>
- https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_2_5_6_9_10-hexabromocyclododecane
- <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/expandiertes-polystyrol-eps-152198>
- https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/hbcd_report.pdf
- <https://www.isobouw.de/daemmstoff-eps/herstellung.html>
- https://www.jackon-insulation.com/uploads/tx_wdownloads/Nachhaltig_Daemmen_mit_XPS.pdf
- <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20004052>
- Hunderttausende Tonnen Polystyrol-Dämmplatten als gefährlicher Abfall eingestuft; holzbau-austria; 2016
- Information zu HBCDD-haltigen Dämmstoffabfällen; BMLFUW
- Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen; Abgeschlossen in Montreal am 16. September 1987
- ÖNORM S 2117 Herstellung eines Eluates aus ungemahlene Abfallproben mit einer Korngröße kleiner 10 mm für die Untersuchung der aquatischen Ökotoxizität und der organischen Parameter, Ausgabe: 2018-02-01
- Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien
- Schlummer M., Vogelsang J., Fiedler D., Gruber L., Wolz G. (2015) Schnelltest zur Identifikation von HBCDD oder dessen Alternative PolyFR in Polystyrol-Hartschaumstoffabfällen mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).
- TU Dresden (2009) Stoffliche und brennstofftechnische Charakterisierung von Shredderleichtfraktion; Munkhtsetseg Dashjav; 14.07.2009.
- Styrodur oder Styropor?; BENZ24; 19.10.2017
- The Appropriate Fire Retardant For Application In Expanded Polystyrene; Peter Rantuch, Jozef Martinka
- Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
- Verordnung (EG) Nr. 440/2008 der Kommission vom 30. Mai 2008 zur Festlegung von Prüfmethoden gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)
- Verordnung (EU) 2016/293 der Kommission vom 1. März 2016 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe hinsichtlich des Anhangs I
- Verordnung (EU) 2016/460 der Kommission vom 30. März 2016 zur Änderung der Anhänge IV und V der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe
- Verordnung (EU) 2017/997 des Rates vom 8. Juni 2017 zur Änderung von Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in Bezug auf die gefahrenrelevante Eigenschaft HP 14 „ökotoxisch“

Identifizierung von Verbrauchergruppen zur Lebensmittelabfallvermeidung

G. Obersteiner & S. Schwödt

Universität für Bodenkultur, Institut für Abfallwirtschaft, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Um Verhaltensänderungen bei KonsumentInnen zu erreichen müssen genaue Kenntnisse zu den Verbrauchern vorliegen. Um gezielte Maßnahmen zur Lebensmittelabfallvermeidung entwickeln zu können, wurden Verbrauchergruppen definiert, um maßgeschneiderte Vorschläge für die jeweiligen Lebensumstände der KonsumentInnen erarbeiten zu können. KonsumentInnen mit generell negativer oder desinteressierter Einstellung zum Thema können vermutlich auch in Zukunft nur schwer erreicht werden. Das betrifft 21 Prozent der Befragten. 38 Prozent der Befragten zeigten sich eher uninformiert aber dem Thema nicht abgeneigt. Hier ist das größte Potential für zukünftige Bewusstseinsbildungsmaßnahmen zu erkennen.

1 EINLEITUNG

KonsumentInnen leben unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen, sie gehören zu verschiedenen Altersgruppen, haben unterschiedliche Einkommen, einen bestimmten Ausbildungsgrad und sie leben in Haushalten unterschiedlicher Größen. All diese Ausgangsbedingungen beeinflussen das Verhalten und die Einstellung von Konsumenten zu Lebensmitteln und Lebensmittelabfall. Obwohl Maßnahmen zur Lebensmittelabfallvermeidung bei Haushalten hinlänglich bekannt sind, können Verhaltensänderungen bei den Konsumenten kaum nachgewiesen werden. Dies kann nicht zuletzt daran liegen, dass die Gründe für Lebensmittelabfall abhängig sind von den Ausgangsbedingungen unter denen die Personen leben. Aus diesem Grund wurden im Rahmen des Projektes STREFOWA (gefördert durch die Europäische Union im Rahmen von EFRE Interreg) Verbrauchergruppen definiert, um maßgeschneiderte Vorschläge für die jeweiligen Lebensumstände der KonsumentInnen erarbeiten zu können.

2 METHODE

Zur Identifizierung derartiger Verbrauchergruppen wurde eine KonsumentInnenbefragung durchgeführt. Der Fragebogen umfasste 28 lebensmittelabfallspezifische Fragestellungen, welche in vier thematische Bereiche „Einstellung zu Lebensmittelabfall“, „Wissen zu Lebensmitteln“, „Lebensmittelabfallaufkommen“ und „Lebensmittelabfallvermeidung“ unterteilt wurde. Die Onlinebefragung wurde im April und Mai 2017 mit dem Online-Tool Lime-Survey durchgeführt. 2.632 Personen nahmen an der Umfrage teil. Nach Ausschluss unvollständiger bzw. unplausibler Fragebögen konnten 2.159 vollständige Datensätze für die Auswertungen herangezogen werden.

3 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse ermöglichen zielgerichtete Methoden zur Bewusstseinsbildungsmaßnahmen auf Konsumentenebene. Sie zeigen aber auch Einschränkungen für die Umsetzung auf. Mittels Clusteranalyse konnten unterschiedliche Verbraucher-

gruppen definiert werden, welche sich hinsichtlich ihres Bewusstseins zur Lebensmittelabfallvermeidung, des Hintergrundwissens zu Lebensmitteln und auch bezüglich des soziodemographischen Hintergrundes unterscheiden.

In einem ersten Schritt wurden die Konsumenten in zwei verschiedene Gruppen geteilt – jene welche die komplette Verantwortung für Einkauf und Zubereitung von Speisen innehaben und jene welche nur einen Teil dieser Verantwortung tragen. Durch den Einsatz von Clusteranalysen wurden diese beiden Gruppen in jeweils vier Untergruppen mit ähnlichen Eigenschaften unterteilt und anschließend wurde die soziodemographische Zusammensetzung dieser Gruppen ausgewertet. Folgende Gruppen konnten für jene KonsumentInnen, die die komplette Verantwortung für Einkauf und Speisenzubereitung tragen ermittelt werden:

Gruppe 1: Informiert aber uninteressiert: Die Gruppe ist gekennzeichnet durch einen hohen Wissensstand über Lebensmittel, niedriges Abfallaufkommen gepaart mit geringem Interesse am Thema. 22 % der Befragten konnten dieser Gruppe zugeordnet werden.

Gruppe 2: Uninformiert aber bemüht: Diese Gruppe scheint ideal für die Umsetzung von zielgerichteten Maßnahmen. Rund ein Viertel der Befragten gehört dieser Gruppe an. Die Angehörigen dieser Gruppe haben geringe Kenntnis zu den Themen Mindesthaltbarkeitsdatum, Lagerung oder zu möglichen Vermeidungsmaßnahmen aber sie sind interessiert am Thema und haben bereits einzelne Maßnahmen umgesetzt, da ihnen das Thema wichtig ist. Im Vergleich zu den anderen drei Gruppen ist der Anteil der Personen mit Universitätsabschluss im mittleren Bereich, das Einkommen aber über dem Durchschnitt.

Gruppe 3: „Eifrige Vermeider“: Über 38 % der Befragten gehörten dieser Gruppe an, was wohl auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass primär Personen, die bereits Interesse am Thema haben den Fragebogen ausgefüllt haben. KonsumentInnen dieser Gruppe sind gut informiert und haben bereits viele Abfallvermeidungsmaßnahmen umgesetzt. Soziodemographisch ist diese Gruppe durch niedrigeres Einkommen aber auch niedrigen Anteil an Personen mit Universitätsabschluss gekennzeichnet

Gruppe 4: „Uninformierte Verschwender“: Angehörige dieser Gruppe geben im Verhältnis zu den anderen Gruppen an, dass sie öfter und mehr Lebensmittel wegwerfen. Prinzipiell sollte dies demnach eine gute Zielgruppe für Abfallvermeidungskampagnen sein. Fokus ist hier aber auf Bewusstseinsbildung zu legen, da aktuell nur äußerst geringe Kenntnis zum Thema und der Problematik an sich vorhanden ist.

Der Großteil der Befragten dieser Umfrage ist weiblich (71 %). Obwohl eine Veränderung der Verantwortungen im Haushalt spürbar ist, ist die Verantwortlichkeit für den Einkauf und die Zubereitung der Speisen noch vermehrt in weiblicher Hand. Dies ist ebenfalls ein Faktor, der bei der Erstellung von Maßnahmen berücksichtigt werden muss.

4 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Besonders jene Teilnehmer, welche uninformiert, jedoch interessiert an der Thematik sind (25 % der Befragten), sind die ideale Zielgruppe für die Durchführung von Maßnahmen. Die Gruppe der „eifrigen Vermeider“ soll weiter über das Thema am Laufenden gehalten werden und vor allem auch Zahlen, Daten und Fakten über die Auswirkungen von Lebensmittelabfällen zur Verfügung gestellt bekommen. Es ist davon auszugehen, dass diese Personengruppe sehr häufig als Multiplikator wirkt und andere Konsumenten mit ihrem Vorzeigeverhalten positiv beeinflusst. Mit zielgerichteter Information können eventuell auch die „uninformierten Verschwender“ für das Thema interessiert werden.

Analyse ungenutzter Rohstoffpotentiale in den Stoffströmen in der Region Harz (Deutschland)

J. Dräger, M. Hoffmann & D. Goldmann

Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland

KURZFASSUNG: Bei dem Projekt „Recycling 2.0 – Die Wertstoffwende“ handelt es sich um ein strategisches Projekt aus dem Abfall- und Ressourcenbereich. In der Abfallwirtschaft werden allgemein ein großes Optimierungspotenzial sowie durch zukünftig steigende Sammelquoten auch ein Optimierungsdruck angenommen. Im Rahmen des Projektes sollen exemplarisch für die Region Harz Potenziale identifiziert und Möglichkeiten der Nutzung aufgezeigt werden. Die Bereiche Siedlungsabfallwirtschaft, Industrieabfälle und anthropogene Ablagerungen als Rohstofflager werden hierbei interdisziplinär sowie innerhalb eines Netzwerkes aus regionalen Akteuren beleuchtet. In diesem Artikel werden das Projekt allgemein sowie ausgewählte Ergebnisse aus den Unterprojekten Siedlungsabfallwirtschaft und Industrieabfälle vorgestellt. Ein Kataster ungenutzter Material- und Energieströme verschiedener ansässiger Firmen wird entwickelt und dient zur Optimierung. Zwei Industrieprojekte zeigen das Potential für Weiter- und Wiederverwendung. Eine Studie zu den Inputspezifikationen von Elektrokleingeräten und enthaltenen Batterien wird präsentiert. Die Untersuchungen und Ergebnisse müssen auf weitere Material- und Energieströme angepasst und übertragen werden.

1 EINLEITUNG

Die Region Harz hat durch ihre 2000-jährige Bergbaugeschichte eine herausragende Rolle beim Thema Rohstoffe und Primärrohstoffgewinnung in Deutschland inne. 2007 wurden die letzten großen bergbaulichen Aktivitäten in der Region eingestellt (Ließmann 2010). Im Projekt „Recycling 2.0 – Die Wertstoffwende“ sollen nun die ersten Schritte eingeleitet werden um das Knowhow aus Zeiten des Bergbaus durch die Zusammenarbeit von Unternehmen, Kommunen und Forschungseinrichtungen zu bündeln, auf die Arbeit mit Sekundärrohstoffen zu übertragen und zu aktualisieren. Hierdurch soll die Region zur „Recyclingregion Harz“ weiterentwickelt werden. Für das Projekt wurden drei rohstofflich relevante Bereiche definiert: Der Bereich der betrieblichen Abfälle wird als „Business to Business – B2B“, der Bereich der Post-Consumer-Abfälle wird als „Consumer to Business – C2B“ und der Bereich der anthropogenen Ablagerung wird als „Deposit to Business – D2B“ bezeichnet.

Die Region Harz umfasst, gemäß der Definition des Projektes, Teile der drei Bundesländer Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Thüringen, die sich um den Nationalpark Harz herum verteilen. Auf Seiten von Sachsen-Anhalt werden die Landkreise Harz und Mansfeld-Südharz, auf niedersächsischer Seite die Landkreise Göttingen und Goslar und auf thüringischer Seite die Landkreise Nordhausen und Kyffhäuserkreis betrachtet. Die herausfordernde Arbeit über Bundesländergrenzen, aber auch verschiedener Disziplinen hinweg, spiegelt sich auch bei den beteiligten Hochschulen wieder.

Die TU Clausthal konzentriert sich auf den Kontakt mit den Unternehmen (B2B), betrachtet alle Fragen der Aufbereitung von Abfällen (B2B und C2B) und die anthropogenen Lagerstätten (D2B). Die Otto-von-Guericke Universität Magdeburg arbeitet im Bereich Siedlungsabfallwirtschaft an umweltsychologischen Fragestellungen (C2B)

und die Hochschule Magdeburg-Stendal setzt sich mit der Gestaltung von Elektrogeräten und Ökobilanzen auseinander (C2B). Die Projektleitung und die Arbeit an der Entwicklung von Sammellogistikkonzepten wird von der Hochschule Nordhausen übernommen (C2B).

Im Folgenden wird auf die Arbeit der TU Clausthal im Bereich B2B und C2B eingegangen. Die Ergebnisse aus dem Projektteil D2B können dem Beitrag „Vorstellung eines Katasters anthropogener Lagerstätten in der Region Harz“ entnommen werden.

2 HAUPTTEIL „B2B“

Im Projektteil B2B werden exemplarisch unter anderem die Abfallströme aus der metall-, kunststoff- und papierverarbeitenden Industrie (wichtige Branchen der Region Harz) betrachtet. Über eine Abfrage der Abfallströme und Abwärme in der Industrie wird ein Kataster der anfallenden Stoffe in der Region Harz angelegt. Daraus werden Synergien zwischen Unternehmen abgeleitet, sodass der Abfall des Einen zum Ausgangsstoff des Anderen werden kann. Aufbereitungstests, um diesen Einsatz möglich zu machen, runden diese Projektaktivitäten ab. Zusätzlich werden Aktivitäten zur Netzwerkbildung und der Verknüpfung von Kompetenzen in der Region durchgeführt. Dafür besteht ein enger Kontakt zu Unternehmen und den Wirtschaftsförderungen der Landkreise.

2.1 Durchführung der B2B-Analysen und die Erstellung eines Katasters

In der Region Harz sind eine Vielzahl von Unternehmen tätig, die Abfallströme erzeugen, welche oftmals wenig bis gar nicht als Sekundärrohstoffquelle genutzt werden. Hierzu zählen z.B. die Rückstände der metallverarbeitenden Industrie. Zudem gibt es eine Reihe von Betrieben, die beim Einsatz von Primärabfällen, wie z.B. Altpapier, neben Produkten auch Sekundärabfälle erzeugen, die bislang unzureichend verwertet werden. Ein weiteres Beispiel sind komplexe mechanische Abfallaufbereitungsanlagen etwa im Bereich Elektro- und Elektronikaltgeräte oder auch thermische Abfallbehandlungsanlagen, die wert- und schadstoffhaltige Rückstände erzeugen.

Für die Durchführung der B2B-Analyse der Abfallströme und Abwärme wurden ca. 300 Unternehmen aus der Region Harz ab einer Größe von 25 Mitarbeitern kontaktiert. Aufbauend auf den erhobenen Daten werden die Unternehmen entsprechend ihrer Abfallströme, Branchen und geographischen Lage digital in einem Kataster kategorisiert. Damit wurde eine große Datengrundlage über anfallende Abfallströme in der Region Harz geschaffen. Ein Auszug der abgefragten Daten kann Tabelle 1 entnommen werden.

Tab. 1: Beispielzeile aus dem Unternehmenskataster.

Allgemeine Angaben	Abwärme	Stoffliche Abfälle
Name	Abwärmemedium (gasförmig,	Art
Branche	flüssig, Oberflächen)	Menge
Produkte	Art des Wärmeeinsatzes im Un-	Zusammensetzung
Adresse	ternehmen	Abfallschlüssel
Kontaktdaten		

Zunächst wurden allgemeine Daten zu den Unternehmen aufgenommen, die die Unternehmen beschreiben und eine spätere Kontaktaufnahme möglich machen. Dann wurde das Potenzial für eine Abwärmebereitstellung oder –nutzung bestimmt. Zuletzt wurden die Art und Menge der Abfälle katalogisiert. Diese Informationen konnten für weiterführende Netzwerkaktivitäten genutzt werden.

Aufbauend auf den Informationen über die Abfallströme in der Region, werden mögliche Synergieeffekte zwischen den Unternehmen überprüft, um weitere ökologische

und wirtschaftliche Verbesserungspotentiale in den Entsorgungs- und Verwertungsstrukturen zu identifizieren. Mit Hilfe der Übersicht ist es auch möglich geworden Unternehmen, die Sekundärrohstoffe in ihrer Produktion einsetzen, mit Unternehmen, die diese Stoffe als Abfallstoffe produzieren, in Kontakt zu bringen. Der Fokus liegt hierbei auf einer verbesserten Ressourcennutzung, wodurch Unternehmen und Umwelt im gleichen Maße profitieren können. Ein Beispiel für die Nutzung von Abfallströmen in der Region wird unter 2.2 gegeben.

Unter 2.3 wird die erfolgreiche Vernetzung zweier Unternehmen vorgestellt, die die Wiederverwendung von Ersatzteilen ermöglichen.

2.2 Weiterverwendung von Stoffströmen: Einwegpaletten

In der Region Harz gibt es ein hohes Abfallaufkommen von sehr gut erhaltenen Einwegpaletten aus Holz. Daher wurde in Zusammenarbeit mit Werkstätten und einer weiteren Hochschule, welche den Bereich Produktdesign unterstützt, das Projekt „Paletten-Recycling“ ins Leben gerufen. Hierbei sollen moderne Möbelstücke, wie z.B. Sofabänke oder Tische, aus alten Einwegpaletten hergestellt werden. Die Fertigstellung erster Prototypen ist bereits erfolgreich verlaufen. Aktuell werden die unterschiedlichen Vertriebswege sowie Sicherheitsstandards analysiert. Anschließend soll eine Produktionsstrecke im Rahmen eines sozialen Projektes für die Möbelstücke eingerichtet werden.

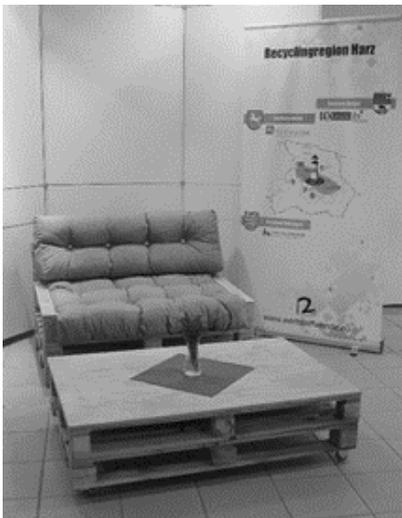


Abb. 1: Prototyp eines Einwegpalettenmöbelstücks bei einer Veranstaltung des Projektes „Recycling 2.0 – Die Wertstoffwende“ (IFAD TU Clausthal, 2018).

2.3 Vernetzung: 3D-Druck als Teil der Serieninstandsetzung

Die Serieninstandsetzung im „Automotive Aftermarket“ stellt ein auf das Fahrzeugrecycling aufbauendes Geschäftsfeld dar, durch welches die Ersatzteilversorgung von älteren Fahrzeugen sichergestellt wird. Auf diese Weise werden geprüfte Gebrauchtteile, wie z.B. Starter und Generatoren, für den Secondhandmarkt produziert. Durch industrielle Instandsetzung werden alleine bei der Robert Bosch AG jährlich 25.000 Tonnen CO²-Emissionen eingespart, welche bei der Erzeugung von Neuteilen angefallen wären. Die Herausforderung bei der Serieninstandsetzung sind häufig Kunststoffteile, z.B. für Verkleidung von Startern und Generatoren. Für deren Produktion

werden spezielle Gussformen benötigt, wodurch sich die Herstellung meist nur bei großen Stückzahlen rentiert (Wilde et al. 2014).

3D-Druck bietet für diese Problematik ein mögliches Anwendungsgebiet. Diese Technik macht es möglich maßgefertigte Teile in hoher Qualität auch in geringen Stückzahlen wirtschaftlich zu produzieren. Im Rahmen des Projektes entstand eine Zusammenarbeit zwischen einem Unternehmen der Serieninstandsetzung und einem 3D-Druck-Startup. Erste Testdrucke sind erfolgreich durchgeführt worden. Über eine weitere Zusammenarbeit wird zurzeit verhandelt.

3 HAUPTTEIL „C2B“

Der Bereich C2B betrachtet die Stoffströme, die zwischen den Verbrauchern und den Entsorgungs- und Verwertungsbetrieben fließen. Im Rahmen des Projektes „Recycling 2.0 – Die Wertstoffwende“ werden exemplarisch die Stoffströme Elektrokleingeräte, Leuchtmittel und Gerätebatterien betrachtet. Diese zeichnen sich durch einen erhöhten Schadstoff- und Wertstoffgehalt und ihre Tonnengängigkeit aus (Bünemann 2011). Hier soll die bestehende Entsorgungsinfrastruktur betrachtet und in Zusammenarbeit mit Partnern aus den Kommunen und der Industrie Optimierungspotenzial aufgezeigt werden. Anschließend wird überprüft inwieweit sich die Ergebnisse auf andere Siedlungsabfallströme übertragen lassen. Dafür werden Gespräche mit den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern (örE) und den Verwertungsbetrieben aus der Region geführt. Dabei wurde deutlich, dass zwischen Verwertern und örE und zwischen den örE über Bundesländergrenzen hinweg nur wenig bis kein Kontakt herrscht. Bei einem Workshop in Clausthal-Zellerfeld zu dem Verwerter und örE der Region Harz eingeladen waren, konnten verschiedene Fragestellungen diskutiert und neue Problemfelder abgesteckt werden.

Im folgenden Kapitel werden die Bereiche Verschmutzungen, Beschädigungen und Fehlwürfe sowie Batterien und Akkumulatoren in Elektrokleingeräten aufgegriffen. Es erfolgt eine qualitative Auswertung von Experteninterviews zu diesem Thema und die Auswertung einer Feldstudie.

3.1 *Inputspezifikationen für Elektrokleingeräte*

Im Rahmen des Elektro- und Elektronikgerätegesetz wird für Elektroaltgeräte ab 2019 eine Sammelquotenerhöhung von 45 auf 65 % der in den letzten drei Jahren in Verkehr gebrachten Menge erfolgen. Um diese zu erreichen, kann es erforderlich sein mit neuen Sammeltechniken zu arbeiten, die zu einer Qualitätsminderung der gesammelten Geräte führen könnten. Deshalb ist zu klären, welche Qualitätsansprüche die Elektroaltgeräteverwerter haben.

Eine effektive Verwertung von Elektrokleingeräten wird hinsichtlich der Sammlung durch drei Qualitätsmerkmale beeinflusst: Fehlwürfe, Verschmutzungen und Beschädigungen.

Fehlwürfe sind sowohl bei jenen Elektrokleingeräten relevant, die durch Depotcontainersammelsysteme als auch durch den Wertstoffhof gesammelt werden. Sie sorgen für einen zusätzlichen Sortieraufwand oder stellen im Fall von lose vorliegenden Lithiumbatterien ein Sicherheitsrisiko dar (Giern 2018). Hygienische Bedenken durch verschiedene Fehlwürfe in Depotcontainern, wie teilweise derzeit diskutiert, werden von den Elektrogeräteverwertern und Depotcontainerbetreibern aus der Region Harz nicht geteilt.

Verschmutzungen werden kaum beklagt und sorgen in dem Aufbereitungsprozess für keine größeren Herausforderungen. Wirkliche Probleme in der Aufbereitung entste-

hen lediglich bei größeren Verschmutzungen zum Beispiel mit Fritteusenfett. Teilweise werden Fritteusen noch gefüllt mit Fetten und Ölen abgegeben, welches dann große Teile der Anlage hartnäckig verschmutzen kann.

Beschädigungen treten vor allem beim Einwerfen und beim Transport in 36 m³-Abrollcontainern auf. Sie verhindern in der Regel, dass eine Wiederverwendung der Geräte möglich ist.

Ein zentraler Punkt für die Sammlung von Elektrokleingeräten ist das Entfernen von Batterien und Akkumulatoren an der Sammelstelle und bei der Schadstoffentfrachtung beim Verwerter vor dem Aufbereitungsprozess. Hier ist für den Elektroaltgeräteverwerter bei der Planung der Schadstoffentfrachtung besonders relevant inwieweit Geräte mit Batteriefach oder Batterien vorliegen.

3.2 Feldstudie zur Sammlung von Elektrokleingeräten in Goslar

Im Rahmen des Projektes konnte eine vierwöchige Feldstudie zur Sammlung von Elektrokleingeräten auf Wertstoffhöfen und in Depotcontainern in Zusammenarbeit mit der Otto-von-Guericke Universität Magdeburg durchgeführt werden. Neben umweltsychologischen Fragestellungen konnten auch die gesammelten Elektrokleingeräte auf ihre weitere Verwertbarkeit untersucht werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse zu enthaltenen Batterien und Akkumulatoren vorgestellt.

Die Sammlung von Elektroaltgeräten erfolgt nach dem ElektroG auf dem Wertstoffhof in sechs Sammelgruppen. Bei der Sammelgruppe 5, den Elektrokleingeräten, gibt es die Besonderheit, dass den batteriebetriebenen Geräten Batterien und Akkus entnommen oder, falls nicht möglich, diese separat erfasst werden müssen. Es ist weiterhin gesetzlich vorgeschrieben, dass alle Batterien und Akkumulatoren - sollte es nicht schon vorher erfolgt sein - vor einer weiteren Verarbeitung vom Erstbehandler entfernt werden müssen (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall 2018). Da in der Praxis beim Elektrogeräteverwerter immer auch Geräte angeliefert werden, die noch Batterien enthalten, müssen alle Geräte mit Batteriefach auf mögliche enthaltene Batterien oder Akkumulatoren geprüft und diese ggf. entnommen werden. Bei der Feldstudie in Goslar (1200 gesammelte Elektrokleingeräte) wurde untersucht wie viele Geräte das betrifft. Das Ergebnis ist Abbildung 2 zu entnehmen und gilt für die über Wertstoffhöfe aber auch die mit Depotcontainern gesammelten Geräte.

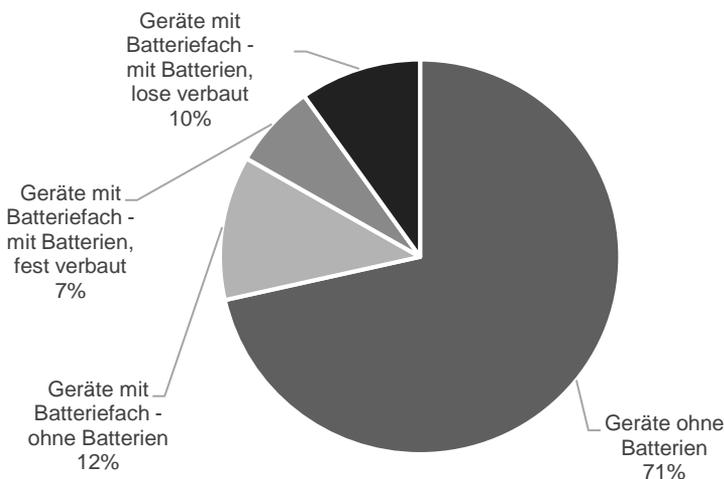


Abb. 2: Enthaltene Batterien in Elektrokleingeräten in Goslar (IFAD TU Clausthal, 2017).

Es wird deutlich, dass der Großteil der Geräte (71 %) nicht über ein Batteriefach verfügt und somit keine Batterien oder Akkumulatoren vorhanden sein können. 7 % der Geräte haben festverbaute Batterien oder Akkumulatoren. Das bedeutet, dass die Batterien nicht ohne Einsatz von Werkzeug zu entnehmen sind. 10 % der Geräte enthielten noch lose verbaute Batterien.

4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen des Verbundprojektes Recycling 2.0 werden in drei Bereichen - B2B, C2B und D2B - die Rohstoffpotenziale der Region Harz ermittelt und Möglichkeiten einer besseren Nutzbarmachung aufgezeigt. Im Rahmen dieses Artikels wurde aus dem Bereich B2B der Aufbau des Abfallstrom- und Abwärmekatasters und zwei Beispiele der erfolgreichen Vermittlung von Unternehmen vorgestellt. Aus dem Bereich C2B wurde näher auf die Inputspezifikationen der Elektrokleingeräte seitens der Elektroaltgeräteverwerter eingegangen. Außerdem wurden die, im Rahmen einer Feldstudie ermittelten, verschiedenen Anbringungsmöglichkeiten von Batterien in gesammelten Elektrokleingeräten dargestellt.

Im weiteren Verlauf des Projektes werden die noch an verschiedenen Stellen offenen Fragestellungen konkretisiert und Lösungsansätze erarbeitet. Im Bereich B2B werden die gestarteten Projekte zwischen Unternehmen und Forschung weitergeführt und nachhaltige Lösungen für aufgeworfene Problemabfallströme entwickelt. Im Bereich C2B wird der Kontakt zu Verwertungsbetrieben von Gerätebatterien, Elektrogeräten und Leuchtmittel intensiviert und weitere Sortieranalysen mit dem Fokus auf die Wertbarkeit von gesammelten Elektrokleingeräteströmen durchgeführt. Für beide Projektteile wird die Umsetzung der Ergebnisse auf weitere Stoffströme überprüft. Außerdem sollen über Landkreisgrenze hinweg feste Kommunikationsplattformen implementiert werden, sodass diese auch nach Projektende Dezember 2018 für einen Austausch zwischen Unternehmen, Forschung und Behörden sorgen.

LITERATUR

- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall: Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 31 B. Umsetzung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes 2018.
- Bünemann, Agnes (2011): Planspiel zur Fortentwicklung der Verpackungsverordnung, TV 01: Bestimmung der Idealzusammensetzung der Wertstofftonne. Endbericht. Osnabrück, Aachen: cyclos GmbH; HTP GmbH (Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 01,459).
- Giern, Sandra (Hg.) (2018): Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft. Lithiumbatterien. Unter Mitarbeit von Peter Kurth, Anno Oexle und Martin Faulstich. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Ließmann, Wilfried (2010): Historischer Bergbau im Harz. Kurzführer. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer. Online verfügbar unter <http://www.springerlink.com/content/xp0512>.
- Nordsieck, Hermann; Förster, Andreas; Martin, Alexander; Hertel, Markus; Zepf, Volker (2016): Sicheres Sammeln von Elektroaltgeräten in Depotcontainersystemen. Zusammenfassung. Unter Mitarbeit von Universität Augsburg. Hg. v. bifa Umweltinstitut. Online verfügbar unter http://www.mrm.uni-augsburg.de/gruppen/reller/downloads/950600_Abschlussbericht_Zusammenfassung.pdf, zuletzt geprüft am 18.06.2018.
- Wilde, Alexandra; Schwager, Bernhard; Quett, Andreas; Bartel, Peter (2014): Ressourceneffizienz - aktuelle Herausforderungen und Strategien der Robert Bosch GmbH. In: *uwf - Umwelt-WirtschaftsForum* September 2014 (Volume 22, Issue 2-3), S. 195–200.

Elektrolok mit 2000 kg Re-Use-Lithium-Ionen-Batterien – Realisierung, Erfahrungen, Weiterarbeit

T. Winkler & H. Weiß

Montanuniversität Leoben, Institut für Elektrotechnik, Leoben, Österreich

KURZFASSUNG: Eine Ausschreibung der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) sowie der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) hatte den Umbau einer Rangierlokomotive des Typs 1063 auf ein alternatives Antriebssystem zum Ziel. Ein Energiespeicher mit definierten Anforderungen war Teil dieser Ausschreibung. Um den budgetären Rahmen nicht zu überschreiten, sah das Fahrzeugkonzept den Einsatz von bereits verwendeten Lithium-Ionen-Akkumulatoren vor. Die Verwendung von ReUse-Batterien verbessert einerseits den energetischen Fußabdruck der Batterie-Einheit, andererseits bestehen Gefahren, die ein Wiedereinsatz von bereits verwendeten Zellen unbekannter Vorbelastung mit sich bringt. Diese Arbeit widmet ihr Augenmerk der Prüfung von ReUse-Akkus, um einen Einsatz mit abschätzbarem Risiko zu ermöglichen. Zusätzlich werden Aspekte betrachtet, die bei einem Einsatz von großen Mengen Lithium-Ionen-Batterien berücksichtigt werden sollten. Diese beinhalten die Prüfung, die Batterie-Überwachung und das Raumkonzept im Fall der Lokomotive ÖBB 1063. Letztlich konnte mit dem Umbau unter Beweis gestellt werden, dass ein ReUse von großen Batteriemengen unter Einbindung spezieller Maßnahmen umgesetzt werden kann. Besondere Aufmerksamkeit muss dabei dem Batteriemangement, der räumlichen Verteilung der Zellen sowie der Redundanz von sicherheitsrelevanten Systemen geschenkt werden.

1 EINLEITUNG UND ANFORDERUNGEN

Für Streckenteile, die nicht mit Fahrleitungsketten überspannt sind, greifen die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) gegenwärtig auf Fahrzeuge zurück, deren Antriebskonzepte auf dieselbetriebenen Verbrennungskraftmaschinen basieren. Betreiber von Diesel-Flotten sind allerdings auf der Suche nach Alternativen um wesentliche Kostenfaktoren wie Energiekosten und Wartungskosten klein zu halten und Abgasnormen zu erfüllen, die in Kürze wirksam werden.

Eine Ausschreibung der ÖBB in Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) hatte zum Ziel, einen Demonstrator einer Lokomotive mit alternativem Antriebskonzept zu erstellen. Als alternatives Antriebskonzept galt hierbei der Einsatz von Energieträgern, die nicht im Betrieb herkömmlicher Verbrennungskraftmaschinen konsumiert werden (BMVIT 2014). Zu diesem Zweck wurde das Vershub-Triebfahrzeug 1063.038 bereitgestellt, welches zusätzlich mit einem elektrischen Energiespeicher ausgerüstet werden sollte. Lokomotiven der Baureihe 1063 sind grundsätzlich für den Betrieb mit Fahrleitung ausgelegt. Daher musste das Fahrzeugkonzept um die Energiebereitstellung aus alternativen Quellen erweitert werden.

Die primären Anforderungen an den Energiespeicher waren:

- Energieinhalt von zumindest 200 kWh,
- Leistung am Rad zumindest 400 kW (2 C) und
- Auflademöglichkeit beim Betrieb im überspannten Bereich.

Um den sehr eingeschränkten finanziellen Projektrahmen einhalten zu können wurde bei der Konzeptionierung auf den Einsatz von ReUse-Batterien zurückgegriffen. Diese stellten weitere Anforderungen an das Design des elektrischen Leistungsstranges, welche in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

2 REUSE VON LITHIUM-IONEN-SEKUNDÄRZELLEN

ReUse von Batterien bedeutet den Einsatz von elektrochemischen Sekundärzellen die vorher bereits verwendet wurden, um Anschaffungskosten für Energiespeicher niedrigzuhalten. Zudem kann für die eingesetzten Zellen durch Verlängerung der Gesamtlebenszeit eine Reduktion des energetischen Fußabdruckes erreicht werden, da die stoffliche bzw. thermische Verwertung erst nach der zweiten Einsatzperiode notwendig ist.

Die Problematik bei einer solchen Wiederverwendung liegt in der Unkenntnis über die vorherigen Betriebsweise und der damit verbundenen Batterieparameter:

- Restkapazität,
- Restlebensdauer,
- Selbstentladerate und
- Mechanische oder elektrochemische Vorschädigungen.

Der Wiedereinsatz solcher Zellen bedarf daher einer vorherigen Prüfung auf solche Faktoren, um den sicheren Betrieb bei Wiedereinbau zu gewährleisten (Weiß & Ziegerhofer 2016). Konsequenzen eines Einsatzes ohne vorangegangene Tests beinhalten diverse Szenarien die vom Ausfall einer einzelnen Zelle bis hin zum Abbrand eines Moduls und angrenzender Anlagenteile reichen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft unterschiedliche Stadien eines Überladevorgangs an einem Lithium-Ionen-Zellpaket.

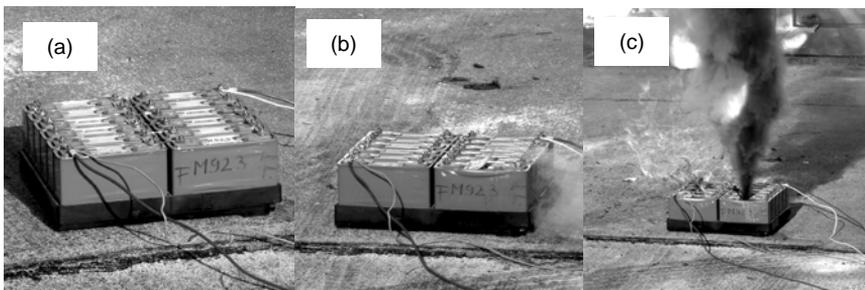


Abb. 1 (a) bis (c): Entwicklung eines Batteriebrandes bei Überladen.

3 UMSETZUNG UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER GENANNTEN ASPEKTE

Für den Aufbau des in Abschnitt 1 beschriebenen Demonstrators wurden insgesamt etwa 2.000 kg ReUse-Lithium-Ionen-Zellen eingesetzt. Mit einer durchschnittlichen Leistungsdichte von 100 Whkg^{-1} konnten somit die Anforderungen an den Energieinhalt erfüllt werden. Aufgrund der hohen Strombelastbarkeit von Lithium-Ionen-Batterien war die Bereitstellung der geforderten Leistung ohne zusätzliche Eingriffe oder

Erweiterungen möglich. Zusätzlich wurde das Fahrzeug mit einem Brennstoffzellen-System ausgestattet. Auf dieses wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Die eingesetzten Hochenergie-Batteriemodule bestanden jeweils aus zwölf Zellen, wobei jeweils sechs Zellpaare in Serie geschaltet wurden. Vor dem Einbau lag das Hauptaugenmerk auf der Prüfung der Funktionalität. Dabei wurden mehrere Kriterien in dieser Reihenfolge berücksichtigt:

- Mechanische/Optische Befundung
Sämtliche Zellen wurden auf erkennbare Schäden geprüft. Lediglich einwandfreie Module wurden zur weiteren Verwendung zugelassen.
- Erste elektrische Befundung
Die Leerlaufspannung aller Zellen wurde gemessen und beurteilt, ob das Spannungsniveau für einen Wiedereinsatz geeignet ist: Zellspannung zwischen 3,0 und 4,2 V. Das Nichterfüllen dieses Kriteriums führte zum Ausschluss. Des Weiteren wurden Zellpaare auf Spannungsgleichheit geprüft (Abweichung < 50 mV). Bei geringer Nichterfüllung wurden einzelne Zellen nachgeladen bzw. entladen, bei großen Unterschieden erfolgte der Ausschluss.
- Zweite elektrische Befundung
Nach Setzen der Querverbinder – Querschnitt 20 mm x 2 mm – um die geplante Schaltungstopologie zu erhalten, wurde das gesamte Modul einmalig vollgeladen und wieder auf Entladeschlussspannung entladen. Dabei wurden Zellspannungen, Modultemperatur und Lade- bzw. Entladestrom aufgezeichnet. Auffälligkeiten in den Zeitverläufen der gemessenen Größen führten ebenfalls zum Ausschluss des Moduls. Ein weiteres Resultat dieses Tests war unter anderem der Wert der Restkapazität eines Moduls.

Für die Einbindung der Batteriemodule in die Schaltungstopologie des Triebfahrzeugs wurde ein Konzept gewählt, das die Parallelschaltung der Batterien in den Gleichspannungs-Zwischenkreis des Traktionsumrichters vorsieht. Um die nötige Zwischenkreisspannung zu erreichen, wurde folgende Schaltungstopologie gewählt:

Jeweils vier Batteriemodule mit einer Nominalspannung von etwa 22 VDC wurden in einem Rack in Serie geschaltet. Sechs solcher Racks wurden in einer Stranghälfte in Reihe geschaltet und wiesen gesamt eine Nennspannung von etwa 530 VDC auf. Die Serienschaltung zwei solcher Stränge konnte letztlich Energie in den Zwischenkreis liefern (Weiß et al. 2018).

Für die Sicherheit im Betrieb wurde ein vom Institut für Elektrotechnik der Montanuniversität Leoben entwickeltes Batterieüberwachungssystem eingesetzt: Auf jedem Batteriemodul wurden zwei Platinen montiert. Diese Platinen ermöglichten einerseits die Überwachung jeder einzelnen Zelle auf den zulässigen Spannungsbereich (3 – 4,2 V) und die zulässige Zelltemperatur (< 40 °C), andererseits ein passives Top-Balancing auf Zellebene. In Kombination mit elektronischen Schaltungen zur Auswertung war es möglich die Funktionstüchtigkeit jeder einzelnen Einheit einzusehen. In Abbildung 2 ist die Statusanzeige eines Batteriestranges zu sehen.

Das umgebaute Triebfahrzeug wurde im September 2017 von den ÖBB in den Rangierbetrieb am Bahnhof Linz aufgenommen und auf die Erfüllung der Anforderungen geprüft. Dabei wurde ermittelt, dass sämtliche Ziele übertroffen werden konnten und der bereitgestellte Demonstrator die volle Zugkraft und über 50 % der Nennleistung dieser Baureihe erreichte.

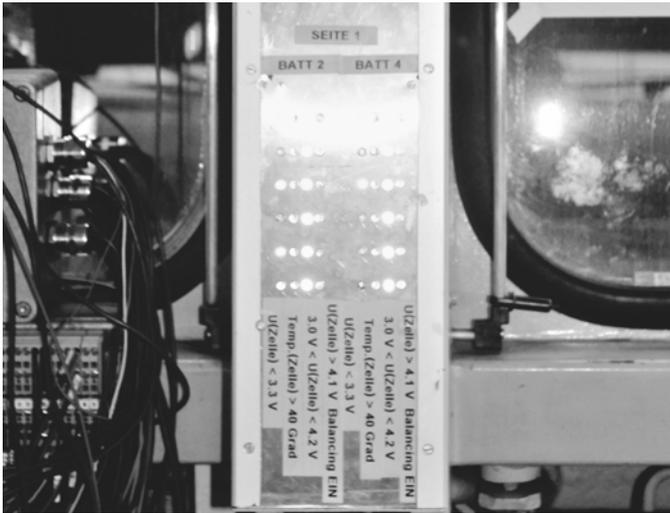


Abb. 2: Anzeige des Batterieüberwachungssystems eines Strangs mit LEDs zur Statusanzeige.

4 GEWONNENE ERFAHRUNGEN WÄHREND DER UMSETZUNG

Um die Ausfallsicherheit zu steigern wurde die gesamte Batteriekapazität auf zwei räumlich voneinander getrennte Stränge aufgeteilt. Mit dieser Maßnahme soll im Falle eines Batteriebrandes ein Übergreifen der Flammen auf einen zweiten Strang verhindert werden. Dieses Konzept hatte sich dahingehend bewährt, dass selbst nach Ausfall eines Stranges das Triebfahrzeug noch zur selbstständigen Fortbewegung mit halber Batteriekapazität bzw. –leistung in der Lage war (Weiß et al. 2018). Außerdem wurde durch die Unterteilung eines Stranges in mehrere Gehäuse eine thermische Entkopplung erreicht, sodass im Brandfall sowohl das Schadensausmaß als auch der gesamte Wärmeeintrag begrenzt bleiben sollte. In einem Brandversuch wurde ersichtlich, dass die gewählte Einbaugeometrie ein Übergreifen des Brandes auf benachbarte Batteriemodule weitestgehend unterbindet. Die Folgen dieses Versuchs sind in Abbildung 3 dargestellt.

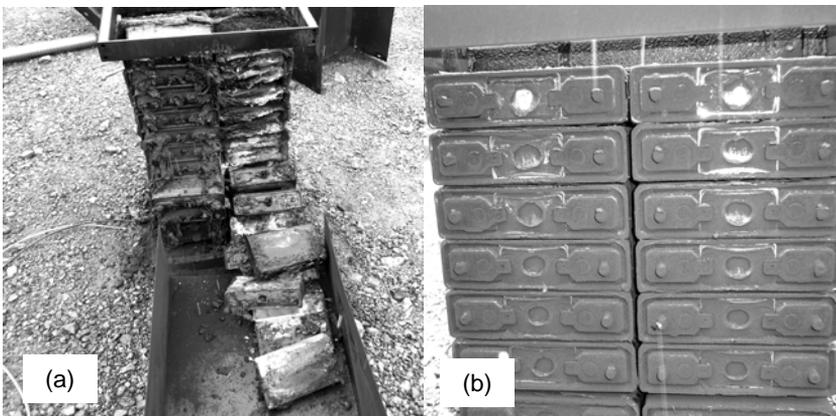


Abb. 3: (a) Seite mit in Brand gesetzten Zellen (b) gegenüberliegende Seite (verrußt aber intakt).

Um die Einschränkungen vom Sichtbereich des Triebfahrzeugführers möglichst gering zu halten wurde als Einbauort das Trittbrett der Zugmaschine gewählt. Dies beinhaltet den weiteren Vorteil, dass die Fahrbatterie für Wartungs- und Reparaturarbeiten sehr leicht zugänglich ist. Nachteilig wirkt sich das Raumkonzept auf die Zugänglichkeit anderer Systemkomponenten aus.

5 WEITERARBEIT AM FAHRZEUGKONZEPT

Auch wenn nach dem Umbau die Funktion des Systems mit ReUse-Akkumulatoren unter Beweis gestellt werden konnte, so sollten für eine integrierte Lösung eines batterie-elektrischen Traktionsfahrzeugs allerdings noch weitere Aspekte berücksichtigt werden.

Aufgrund der Restriktion, beim Demonstrator mehr als nur geringfügige Veränderungen vorzunehmen, mussten die bestehenden Traktionsumrichter auf Thyristorbasis zur Verwendung gezogen werden. Seit der Inbetriebnahme des ursprünglichen Triebfahrzeugs vor etwa 35 Jahren sind auf dem Gebiet der Leistungselektronik wesentliche Fortschritte gemacht worden und somit resultiert der Einsatz von effizienteren Umrichtertopologien in einem höheren Wirkungsgrad und bietet zusätzlich auch relevantes Einsparpotenzial im Gewichtskonzept des Fahrzeugs. Zusätzlich bestünde die Möglichkeit eines Raumgewinns unter dem Vorbau des Triebfahrzeugs und somit einer verbesserten Unterbringung der Fahrbatterie.

Weitere Gewichtsreduktionsmaßnahmen könnten bei der Untersuchung des gesamten Fahrzeugs identifiziert werden. So ist die Verwendung einer 50 mm starken Stahlfrontplatte in einem batterie-elektrischen Fahrzeugkonzept aufgrund der natürlichen hohen Masse der Batterien für die Traktion nicht notwendig.

Auch der Einsatz eines einfachen über Schütze geschalteten Bremswiderstandes entspricht hier nicht mehr dem Stand der Technik und es sollte die Energierückspeisung im Bremsbetrieb implementiert werden, um den Gesamtwirkungsgrad und damit die Reichweite zu erhöhen.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Umbau einer Rangierlokomotive des Typs ÖBB 1063 und die Ausstattung mit einem elektrischen Energiespeicher wurden erfolgreich umgesetzt. Über den Einsatz von ReUse-Akkumulatoren konnten die Projektkosten geringgehalten werden. Im Probetrieb am Bahnhof Linz konnte das Triebfahrzeug über eine Periode von etwa einem Monat getestet werden. Dabei konnten sämtliche Ausschreibungsziele erfüllt bzw. übertroffen werden. Abbildung 4 zeigt den umgebauten Demonstrator nach Ende der Testphase im November 2017.



Abb. 4: Umgebaute Rangier-Lokomotive ÖBB 1063.038 mit seitlich angebautem Batteriesystem.

Für eine Weiterentwicklung bezüglich des Einsatzes von ReUse-Batterien bieten sich zwei Ansatzpunkte an:

- **Prüfung von ReUse-Akkus**
Die Prüfinfrastruktur für bereits verwendete Akkumulatoren bietet noch viel Potenzial für eine Verbesserung. Dabei kann auf zusätzliche Batterieparameter wie bspw. Innenwiderstand und Selbstentladerate eingegangen werden. Solche Prüfmethoden in Kombination mit einer Teilautomatisierung der Prüfeinrichtung bieten die Chance eine genauere Auskunft über die Vorgeschichte von Akkumulatoren zu erhalten und die Prüfzeit stark zu reduzieren.
- **Verbesserung des Monitoring-Systems**
Das derzeitige Batteriemangement-System wurde mit Rücksicht auf Einfachheit und Ausfallsicherheit konzipiert. Dennoch können hier noch Entwicklungen umgesetzt werden um das System zu vereinfachen und die Zuverlässigkeit zu erhöhen. Die Überwachung der Zellspannungen und die aufgeschlüsselte Anzeige der Betriebszustände haben sich im umgesetzten Konzept bewährt.

LITERATUR

- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technik (BMVIT) (2014) Mobilität der Zukunft: Vorkommerzielle Beschaffung (PCP) für eine elektrisch betriebene Lokomotive im Vershub mit und ohne Oberleitung – Ausschreibungsleitfaden Version 1.0, 21.05.2014 Wien.
- Weiß, H., Winkler, T., Ziegerhofer, H. (2018) Large Lithium-Ion Battery-Powered Electric Vehicles - From Idea to Reality. In: 12th International Conference Elektro 2018. 21.-23.05.2018, Mikulov
- Weiß, H., Ziegerhofer, H. (2016) Re-Use-Prozess für Hochenergie-Lithium-Ionen-Akkumulatoren unbekanntem Zustands. In: Recy und DepoTech 2016. 08.-11.11.2016, Leoben

Generic Model for the Environmental Assessment of Anaerobic Digestion of Food By-Products and Waste

S. Scherhauer & S. Gollnow

BOKU University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Waste Management, Vienna, Austria

ABSTRACT: The establishment of a generic model for the environmental assessment of anaerobic digestion of waste and by-products of the food industry faces several challenges. Next to the type and conditions of fermentation, the further use of the products biogas and digestate, the internal use of heat and electricity also the methane content of the feedstock and therewith the biogas yield are determining factors for the development of such a model. The model shall reflect the average situation in Europe and shall be suitable for the goal and scope of a web-based spreadsheet tool where it is applied. This contribution presents the approach, the data inventory and the assumptions behind such a generic model.

1 INTRODUCTION

Anaerobic digestion (AD) is suitable for wet and less structured materials. For food by-products and waste of the food industry (food side-flows) it is therefore a favoured recovery option. The assessment of prevention, valorisation and disposal of side-flows from the food supply chain is part of the EU H2020 funded project called REFRESH. Within the project a web-based spreadsheet tool is developed to show greenhouse gas (GHG) emissions of side-flow routes to support stakeholders in their decisions for interventions. It is a learning tool and provides a good understanding in the dynamics of selected parameters usually controlled by the generator or the user of the side-flow. It was developed to help stakeholders gain a general understanding and to highlight the environmental impacts and life cycle costs for selected valorisation routes of a given side-flow.

The inventory on anaerobic digestion shall feed into a generic model providing average environmental impacts on European level. However, the choice of substrate for the anaerobic digestion, the installed technology, operational practice at fermentation (dry or wet fermentation) and operational practice concerning the digestate (separation, type of storage) as well as the use of the biogas (e.g. to provide energy, or fuel) clearly influences the results, which makes it difficult to provide an average data inventory for side-flows selected for assessment. Side-flows are defined as a material flow of food and inedible parts of food from the food supply chain (FSC) of a driving product. The stakeholder in the FSC producing this flow tries to have as little as possible of it, 'the less, the better' applies for this flow (Davis et al., 2017). This contribution shows the development of a generic model for assessing anaerobic digestion in a simplified tool which compares different valorisation options for specific side-flows.

2 METHOD

2.1 Modelling framework

Attributional modelling was detected to be the most suitable framework for a learning tool for stakeholders to understand the dynamics and mechanism in environmental and economic assessment of specific valorisation options for food side-flows (see contribution of Unger et al., 2018). Attributional modelling ideally demands specific data for the foreground system. However, generic or average data may also be appropriate in certain cases where available specific data is of lower quality and generic data sufficiently represents the process (European Commission, 2010). In the case of anaerobic digestion of food side-flows, specific data was collected for certain side-flows such as brewer spent grain and blood from slaughterhouses. However, the single use of one substrate for fermentation demands a very specific data inventory, which is not always applicable for users of the tool. In practice, the substrate for fermentation often consists of a mix of materials. That is why it was decided to apply a generic model providing a consistent and coherent approach for all side-flows. Co-products of the anaerobic digestion process, such as electricity, heat and digestate are considered with system expansion (substitution) in the model.

2.2 System characterization

The model shall reflect the average situation in Europe, which demands investigations on the common practice about e.g. type of fermentation, the use of the product biogas and digestate, the storage of the digestate. Food waste has in general a high water content and is soft which is mainly suitable for wet fermentation (Lampert, Tesar, & Thaler, 2011). Although food side-flows assessed in this tool have a different water content, the specific moisture content can be reached by mixing the substrate with water out of digestate. So, wet fermentation was assumed in the model.

Biogas can be used for the production of heat and electricity in a co-generation plant or in a boiler with steam turbine or via a gas turbine. Most used system is the co-generation plant where a gas engine and a generator is used to directly produce electricity. Exhaust fumes can be used for heat generation (Stambasky et al., 2017). The number of biogas plants is increasing steadily with in total 173.176 plants in 2015 (Stambasky et al., 2017). Biogas can also be further treated to enrich the content of methane and supplied to the natural gas grid or to use as a fuel. Currently 459 so called biomethane plants are available in Europe. The role of biogas as a product is likely to further increase in future. In Sweden and Iceland nearly all the produced biomethane is used as a fuel. In other countries (most of the plants are in Germany) feed the biomethane in the natural gas grid. The model covers biogas to produce energy in a CHP (combined heat and power) unit, as this reflects the current situation in Europe.

Digestate can further be separated in a solid and liquid phase through a centrifuge, belt press or screw separator. The solid phase can be composted and reused as humus. The liquid phase can be used to mix with the substrate to generate the wanted water content or be used as liquid fertilizer. Currently, most of the biogas plants in operation in EU store digestate after fermentation in open tanks (de la Vega, 2017). Open storage is a significant source of ammonia and methane emissions. Closed digestate storage can reduce these effectively.

The product digestate contains valuable nutrients which can be used as a fertilizer in agriculture. In studies with environmental assessment of biogas plants (Boulamanti,

Donida Maglio, Giuntoli, & Agostini, 2013; Kern, Raussen, Funda, Lootsma, & Hofmann, 2010; Lampert et al., 2011; Pertl & Obersteiner, 2011) it is most common to consider that the digestate is used as a fertilizer in agriculture. This is also assumed in the model.

2.3 Theoretical biogas yield

Different feedstocks show significant variation in biogas production capacity. Biogas typically consists of mainly methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). Nitrogen (N₂), oxygen (O₂), hydrogen (H₂), hydrogen sulfide (H₂S) and ammonia (NH₃) are contained in small shares. The methane content is depending on the substrate. Methane is the part of biogas which can be used energetically. So, the biogas yield is depending on the substrate but also on the digestion technology and conditions (e.g. fermentation time and temperature). The methane content for biodegradable waste is assumed to be 67% in Jungbluth et al. (2007) and 60% in Pertl and Obersteiner (2014).

The manual calculation of the biogas yield is subject to certain assumptions. So, it is assumed that 100 % of all organic substances are decomposed, which is not true in practice (FNR, 2006). However, the theoretical biogas yield can be quantified. As the digestion process of ruminants is similar to the digestion at biogas plants specific parameters of animal feed can be considered. The calculated theoretical biogas yield shall not be used for operational or economic decisions. However, it can be used to estimate tendencies and to compare different input materials (FNR, 2006). Latter is the objective of the Excel tool produced in Refresh, which looks at different side flows of food production to valorize their usage. The calculation of the theoretical biogas yield is therefore sufficient for the model, as the tool doesn't serve as specific carbon footprinting of processes but rather on environmental hot-spots and effects of interventions. The methane content for the specific side flows selected for this study are calculated from the protein, fat and carbohydrate content in each side flow.

2.4 Energy balance

Anaerobic digestion plants require for the production of biogas both heat and electricity. Electrical energy is needed for the pre-treatment (shredding, unpacking or hygienisation), the mixing in the fermenter and the operation of the CHP. In addition to that electricity is needed for the pumps which move the substrate from one step to another step of the process and for the feeding of the substrate. Heat is needed to pre-heat the substrate or to keep the temperature at fermentation stable.

The range of internal used electricity found in literature is wide. It is very much depending on the input material (Lampert et al. 2011). Biowaste as input requires a pre-treatment (e.g. hygienisation). Jungbluth et al. (2007) states the relation of energy needed for pre-treatment, fermentation and dewatering with 37.5:50:10. The type of substrate influences therefore the electricity and heat use of pre-treatment. However, an influence of the type of substrate to the amount of heat and electricity used in fermenter or in the CHP cannot be given according to Lampert et al. (2011). The internal electricity use is therefore set to a default value according to used values in the literature for bio-waste, which is 70 kWh per ton input for both wet and dry fermentation. The internal heat use is assumed including a consideration of a hygienisation step (1 h at 70°C) with 50 kWh per ton input for wet fermentation.

The net energy production of anaerobic digestion plants is depending on

- the energy content of the biogas,
- the efficiency of the CHP and
- minus the own used electricity and heat for the process.

The energy content of biogas is calculated by the lower heating value (LHV) of different gas components. The efficiency of the CHP can reach 46% for heat and up to 44% for electricity according to Kern et al. (2010). Lampert et al. (2011) assume a thermal efficiency of 45% and an electrical efficiency of 35%, which was also assumed here. In practice the utilization of heat is however not always constant. In winter the heat use can be 100% whereas in summer it can drop to a very low level (Demand for hot water is given but not for heating). In this study an average heat utilization of 50% is assumed.

2.5 Emissions

The treatment of food waste in an AD plant is linked with greenhouse relevant emissions, coming on the one hand from energy use in the plant and on the other hand from biological process of the degradation of material as well as due to technical losses of biogas utilization (e.g. methane slip). Additionally, emissions occur at digestate storage and application on land. In case of AD relevant greenhouse gases occur in form of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). Additionally, odour and other emissions are occurring e.g. in form of ammonia (NH₃).

Emission sources are: delivery and conditioning of the substrate (material handling), storage of fermentation residues (digestate), fermenter, before and after exhaust gas treatment (acid scrubber and bio-filter) and exhaust of CHP unit as well as post-composting and application of digestate. It needs to be distinguished between direct emissions from e.g. gas engine and diffuse emissions from different components of the plant because of leakages or bad operation conditions. The latter is not easy to quantify. An overview of the emissions of each step of an anaerobic digestion plant in the framework of this study is outlined in Figure 1.

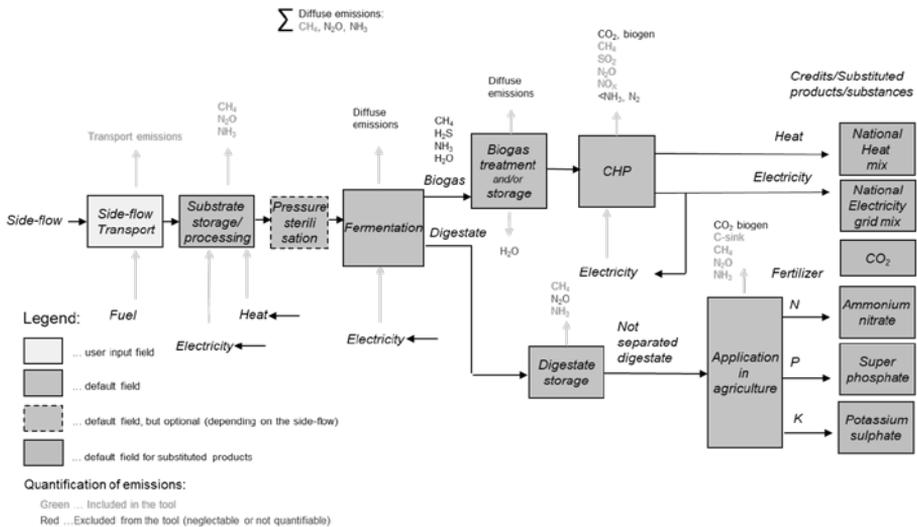


Fig. 1: Flow-diagram of AD process, incl. assessed emissions and neglected emissions as well as substituted products.

2.6 Substituted products and processes

Next to GHG emissions also GHG credits can be applied to biogas plants, as different products can be substituted. Electricity produced with biogas can substitute electricity

produced by conventional energy sources (can be based mainly on fossil sources). If exhaust heat can be utilized than also conventional fuels such as fossil fuel which is originally used for heat supply can be substituted. Furthermore, digestate (solid and liquid) can be used as a fertilizer which can replace industrial mineral fertilizer because of its nutrient content, which also improves the total GHG performance.

3 RESULTS

The established generic model calculates the electricity and thermal energy output of a representative biogas plant based on a specific input material. Emissions associated with digestion, storage and application of digestate, as well as credits for the generated heat, electricity and mineral fertiliser are calculated. Credits for displaced electricity depend on the country where the operation takes place and its national electricity mix. The more fossil resources are used in the national electricity mixes the more environmental credits can be given to electricity production out of biogas.

For the substitution of the produced heat several options are possible. Biogas plants can be situated next to an industrial or commercial user of heat, which guarantees a continuous demand for heat for a whole year (100% heat usage). It can be situated next to a town or village, with a district heating system, where a fluctuation in demand is more likely during winter and summer time (e.g. 50% overall heat usage) (Lampert et al., 2011).

If the substituted heat is natural gas which is fossil based, then the benefits are higher than if e.g. biomass is used. The substituted heat is firstly depending on the heat user (industry or household) and also on the national conditions. In the model the more conservative option is considered, which is thermal energy from natural gas.

Tab. 1: Data inventory for the generic model 'Anaerobic digestion of specific food-side-flows'.

Outputs and credits	Apple pomace	Blood, fresh blood from animals	Tomato pomace	Brewers spent grain, fresh	Whey permeate	Unit
Electricity	136.85	85.52	171.15	124.40	652.00	kWh/t FM input
Thermal energy	82.98	49.98	105.03	74.97	414.15	kWh/t FM input
Digestate	862.11	934.01	856.47	887.07	544.91	t FM/t FM input
Emissions AD	55.95	44.10	69.59	62.73	166.32	kg CO ₂ e/t FM input
Digestate application and use as fertiliser	-3.74	-2.76	-5.93	-8.00	-1.99	kg CO ₂ e/t FM input
European Electricity mix	-9.17	-35.83	-71.71	-52.12	-273.19	CO ₂ e/t FM input
Thermal energy from natural gas	-34.77	-20.94	-44.01	-31.41	-173.53	CO ₂ e/t FM input

4 CONCLUSION

The generic model can serve as transparent and fair option to compare anaerobic digestion to alternative treatment or disposal options of specific food side-flows for the purpose of a learning tool. The model can be adapted to other side-flows of the food industry if necessary. However, as only the theoretical biogas yield is considered, it cannot be used for decision making process but rather serves for the detection of environmental hotspots and dynamics if parameters are changed. In any case the production of biogas as an energy source substantially contributes to mitigate GHG emission if co-products (electricity, heat, digestate) are used. The use of co-products of the AD lead to a reduction of emissions from fossil based energy systems and of emissions from mineral fertilizing. The National and European average electricity mix used for the substituted electricity highly influences the environmental performance. If renewable energy increases, then also benefits of the substituted electricity will decrease as most of the benefits can be attributed to fossil based energy. Another crucial factor is the use of digestate as fertilizer which is not always ready for market uptake (high water content, unknown nutrient value are barriers for becoming a marketable product). Furthermore, it is recommended that open digestate storage tanks are covered with a protective layer to further reduce operating emissions.

REFERENCES

- Boulamanti, A. K., Donida Maglio, S., Giuntoli, J., & Agostini, A. (2013) Influence of different practices on biogas sustainability. *Biomass and Bioenergy*, 53, 149-161. doi:10.1016/j.biombioe.2013.02.020.
- Davis, J., De Menna, F., Unger, N., Östergren, K., Loubiere, M., & Vittuari, M. (2017) *Generic strategy LCA and LCC - Guidance for LCA and LCC focused on prevention, valorisation and treatment of side flows from the food supply chain*.
- European Commission (2010) *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) handbook. General Guide for Life Cycle Assessment. Detailed Guidance*. Retrieved from Luxembourg:
- FNR (2006) *Biogasgewinnung und -nutzung*. Retrieved from Gülzow.
- Jungbluth, N., Chudacoff, M., Dauriat, A., Dinkel, F., Doka, G., Faist Emmenegger, M., Sutter, J. (2007) *Life Cycle Inventories of Bioenergy*. Retrieved from Dübendorf, CH.
- Kern, M., Raussen, T., Funda, K., Lootsma, A., & Hofmann, H. (2010) *Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz*. Retrieved from Dessau-Roßlau: <http://www.uba.de/uba-info-medien/4010.html>.
- Lampert, C., Tesar, M., & Thaler, P. (2011) *Klimarelevanz und Energieeffizienz der Verwertung biogener Abfälle (KEVBA)*. Retrieved from Wien.
- Pertl, A., & Obersteiner, G. (2011) *Ökobilanz der anaeroben Behandlung von Bioabfällen in Wien mit besonderer Berücksichtigung unterschiedlicher Varianten der Gärückstandsbehandlung*. Retrieved from Wien.
- Pertl, A., & Obersteiner, G. (2014) *Ökologische Auswirkungen ausgewählter abfallwirtschaftlicher Maßnahmen: Re-Use – Green Events – Lebensmittelabfallvermeidung - Bioabfallbehandlung*.
- Stambasky, J., Pflüger, S., Deremince, B., Scheidl, S., de la Vega, N., & Conton, M. (2017) *EBA Statistical Report 2016*. Retrieved from Brussels.
- Unger, N.; Scherhauser, S.; Davis, J.; Östergren, K.; Metcalfe, P.; De Menna, F.; Vittuari, M.; Loubiere, M. (2018) *LCA modelling for the development of a simplified assessment tool for food waste valorization and disposal*. In: Pomberger, R. et al. (Hrsg.): DepoTech 2018. Tagungsband zur 14. Recy & DepoTech Konferenz, Montanuniversität Leoben/Österreich, 7. - 9. November 2018.

Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze am Beispiel von Photovoltaik-Modulen

M. Schwarz, K. Fazeni, J. Lindorfer & S. Moser
Energieinstitut an der JKU Linz, Linz, Österreich

KURZFASSUNG: Der Beitrag handelt von einer auf Photovoltaik (PV)-Module fokussierenden Fallstudie, in der Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze untersucht wurde. Die Ergebnisse basieren auf der Analyse und Auswertung bestehender Arbeiten zum Thema effiziente Nutzung bzw. Rückgewinnung von Materialien in PV-Modulen, sowie einem strukturierten Austausch- und Diskussionsprozess mit relevanten Stakeholdern. Unter der Annahme eines Photovoltaik-Ausbaus gemäß der österreichischen „PV-Roadmap“ (26,7 GWp im Jahr 2050) wurde ein jährliches Abfallpotenzial von bis zu 80.000 Tonnen PV-Modulen ermittelt. Insbesondere wenn weiterhin primär kristalline Solarzellen verbaut werden, kann dieser Abfall als der Menge nach relevant, aber als ungefährlich eingestuft werden. Es zeigt sich, dass die Energie- und Ressourceneffizienz insbesondere durch Design-for-Recycling in Hinblick auf den Aufbau der Module erzielt werden können, was jedoch nicht im Widerspruch zur Langlebigkeit der PV-Module stehen darf.

1 EINLEITUNG

Urban Mining zielt auf die effiziente Rückgewinnung von Materialien aus (langlebigen) Gütern am Ende ihrer Nutzungsdauer ab. Durch die Rückgewinnung von Rohstoffen aus dem anthropogenen Lager werden natürliche Ressourcen geschont und der Rohstoff-Selbstversorgungsgrad erhöht. Außerdem trägt die Nutzung von Sekundärrohstoffen zum Umweltschutz bei, da das Recycling in der Regel mit erheblich weniger Energieverbrauch und Umweltbelastungen verbunden ist als die Primärproduktion. Aufgrund des enormen anthropogenen Lagers, das urbane Regionen im Laufe der Zeit aufgebaut haben, kann verstärktes Urban Mining maßgeblich zur Steigerung der Ressourceneffizienz moderner Städte beitragen.

Erneuerbare Energietechnologien wie Photovoltaik (PV)-Systeme stellen ein schnell wachsendes Rohstofflager dar, die es am Ende der Lebensdauer der Anlagen möglichst effizient zurückzugewinnen und zu nutzen gilt. Während in peripheren bzw. ländlichen Gebieten die Möglichkeiten erneuerbarer Technologien vielfältig sind, bestehen im urbanen Bereich nur eingeschränkte Möglichkeiten der Nutzung regenerativer Energietechnologien, was v.a. auf die Platzverhältnisse sowie die Konkurrenz zu bereits bestehenden zentralen Energieinfrastrukturen zurückzuführen ist. Stromerzeugung durch PV hingegen eignet sich in ländlichen sowie urbanen Gebieten, wodurch der Ausbau der installierten PV-Leistung in Österreich auch zum Aufbau substanzieller Lager, vor allem an Metallen (z.B.: Aluminium, Kupfer, Stahl, Tellur, usw.), führt. Entsprechend dem weltweiten Trend wurden auch in Österreich bedeutende Leistungspotenziale erst ab 2010 umgesetzt und bis Ende 2016 eine kumulierte PV-Leistung von 1.100 MWp installiert (BMVIT 2017). Unter der Annahme von 100 bis 125 t/MWp (Taetow 2013) ergibt dies schon heute ein gebundenes Mengenpotenzial von etwa 124.000 Tonnen an PV-Modulen. Um, wie geplant, 100 % der österreichischen Stromversorgung durch Erneuerbare zu decken, bedarf es eines signifikanten Beitrags durch PV. Zur Hebung des in der „PV-Roadmap“ angegebenen Potenzials ist bis 2030 ein weiterer Ausbau von 9,7 GWp und bis 2050 eine kumulierte Leistung von 26,7 GWp erforderlich. Dies ist ab 2017 mit einem jährlichen Zubau von 600 MWp

und ab 2030 von 820 MWp pro Jahr verbunden (BMVIT 2016). Einhergehend mit der Steigerung der installierten PV-Leistung ist mit einem Anstieg des PV-Abfallaufkommens zu rechnen. Neben den Marktgegebenheiten wird die Auseinandersetzung der Recyclingbranche mit dem Recycling von PV-Modulen u.a. auch aufgrund des Inkraft-Tretens einschlägiger Richtlinien auf EU-Ebene vorangetrieben. So unterliegen PV-Module seit 2012 erstmals der EU-Richtlinie 2012/19/EU (WEEE2), die einige relevante Änderungen für die PV-Industrie mit sich bringt. Nicht zu vernachlässigen sind auch die Bestrebungen zur Schaffung einer Kreislaufwirtschaft auf europäischer Ebene, die ebenfalls neue rechtliche Rahmenbedingungen bedingen.

2 METHODE

Einleitend erfolgte eine Auswertung der zum Thema vorhandenen Literatur, d.h. eine umfassende Auswertung relevanter nationaler und internationaler Studien, konkreter Fallstudien zur Gestaltung optimierter, ressourcen- und energieeffizienter Kreisläufe sowie Möglichkeiten zur Gestaltung recyclingfähigerer Produkte und Komponenten. Anhand der Daten der identifizierten Literatur wurden schließlich die Berechnungen des nationalen PV-Abfallpotenzial durchgeführt. Begleitend dazu wurden Stakeholder über Interviews eingebunden. Diese gehören v.a. Recycling- bzw. Abfall-Unternehmen, öffentlichen Institutionen und Forschungseinrichtungen an. Insgesamt wurden 13 Personen persönlich, telefonisch oder schriftlich befragt. Die Interviews beschäftigten sich primär mit dem Status Quo des Recyclings sowie den potenziellen Möglichkeiten für ein Design-for-Recycling.

3 HERAUSFORDERUNGEN FÜR PV-RECYCLING

Die International Renewable Energy Agency (IRENA) geht Ende 2016 von kumulativen globalen PV-Abfallströmen von bis zu 250.000 Tonnen aus, was 0,6 % der installierten PV-Paneele entspricht (IRENA 2016). Unter der Annahme einer Lebensdauer von 25 Jahren werden jedoch insbesondere ab den frühen 2030er Jahren große Mengen an jährlichem PV-Abfall erwartet. Dabei ist neben dem prognostizierten Abfallaufkommen für die Recyclingbranche auch die Zusammensetzung der PV-Abfallströme von Interesse, da diese die zu erwartenden regenerierbaren Stoffströme sowie auch die eingesetzte Recyclingtechnologie bestimmen. Zurzeit bestehen rund 90 % des PV-Abfallaufkommens aus kristallinen Siliziumzellen, die restlichen 10 % entfallen auf Dünnschichtzellen (CIS- und CdTe-Technik sowie amorphe Siliziumzellen). Betrachtet man die Entwicklung für Österreich, so wurden 2010 noch 53 % monokristalline, 43 % polykristalline Silizium-Module und 4 % Dünnschichtmodule verbaut, während 2016 der Anteil der neu installierten monokristallinen Module sukzessive auf 13 % und jener der polykristallinen PV-Module auf 86 % anstieg (BMVIT 2017). Derzeitig kann von einem relativ homogenen Abfallstrom in Bezug auf die Technologie ausgegangen werden. Zukünftig muss die Recyclingbranche nicht nur mit einem Anstieg des gesamten Abfallaufkommens rechnen, sondern auch mit einer Zunahme der Variabilität der zu behandelnden PV-Paneele und damit einhergehenden wachsenden technischen, ökonomischen und organisatorischen Herausforderungen. Ziel des Recyclings von PV-Modulen ist eine möglichst effektive Extrahierung sortenreiner Rohstoffe. Einerseits wird dadurch der Bedarf an Primärrohstoffen seitens der Modulproduzenten verringert, andererseits wird auch die Wirtschaftlichkeit des Recyclingprozesses positiv beeinflusst.

Ein kristallines Siliziummodul besteht im Wesentlichen aus einem Aluminiumrahmen, einer Glasplatte, der in Laminat eingebetteten Siliziumzellen sowie der Rückseitenfolie. Glas und Rahmen machen in etwa 30 bis 85 % des Masseanteils eines Moduls aus. Das Laminat bzw. Verbundmaterial weist ebenso wie die Siliziumzellen einen

Masseanteil zwischen 5 bis 10 % auf. Rund jeweils 1 % des Masseanteils entfallen auf elektrische Verbinder und Kabel (Fiedler 2016). Metalle und Glas können in etablierten Kreisläufen weiterverarbeitet werden. Die wesentliche Herausforderung liegt im Herauslösen der übrigen Komponenten und dem Recycling der Zellen. Aufgrund fortschreitender technischer Entwicklungen wird davon ausgegangen, dass der Materialaufwand für PV-Module zukünftig tendenziell abnehmen wird. Kristalline Siliziumzellen, die derzeit rund zwei Drittel der weltweit hergestellten Paneele ausmachen, bestehen zu 90 % aus Glas, Aluminium und Polymer. Dennoch enthalten diese Module auch potentiell gefährliche Stoffe, wie Silber, Zinn oder Blei. Dünnschichtmodule bestehen zu rund 98 % aus Glas, Polymer und Aluminium, 2 % entfallen auf Kupfer und Zink sowie Halbleiter bzw. andere potenziell gefährliche Stoffe (IRENA 2016). Dem aktuellen Kenntnisstand zu Folge, wird bzw. muss das End-of-Life-Management zukünftig ein integraler Bestandteil der PV-Wertschöpfungskette werden. Durch effizientes Recycling kann eine nicht unerhebliche Menge an Rohstoffen zurückgewonnen werden, um diese wiederum in der Herstellung neuer Module oder anderer Fertigungsprozesse einzusetzen. Nicht berücksichtigt ist dabei der technische Fortschritt, der eine verbesserte Materialeffizienz bei neu erzeugten PV-Modulen unterstützt. Auf Basis der durchgeführten Experteninterviews sowie der Literaturrecherche lassen sich folgende Erkenntnisse zum Design eines PV-Recyclingsystems ableiten: Wesentliche Voraussetzung für die Etablierung eines funktionierenden PV-Recyclings ist die Zusammenarbeit unterschiedlichster Interessensgruppen wie Hersteller, Importeure, Händler, Systembetreiber, Versorgungsunternehmen, Kommunen, Gesetzgeber, Abfallentsorgungsunternehmen sowie Endverbraucher. Zudem ist auch die Akzeptanz zukünftiger Abfallmanagementsysteme für PV-Module innerhalb dieser Interessensgruppen zu gewährleisten. Aufgrund gesetzlicher Vorgaben zum PV-Recycling werden die Akteure entlang der Wertschöpfungskette zudem vermehrt gezwungen neue Geschäftsmodelle für den Recyclingkreislauf zu entwickeln. Des Weiteren bietet ein neues PV-Abfallmanagementsystem die Möglichkeit, neue Arbeitsplätze zu schaffen. Ein funktionierendes End-of-Life-Management für Photovoltaik ist eng mit zielgerichteten F&E-Aktivitäten verbunden, sowohl in Hinblick auf technische Lösungen als auch in Hinblick auf wirtschaftlich-organisatorische Rahmenbedingungen. Neben der Erforschung von Recycling- und Behandlungsprozessen stellt sich auch verstärkt die Frage nach den Einsatzgebieten der zurückgewonnenen Stoffe. Die Hersteller werden zukünftig gefragt sein, PV-Module nicht nur hinsichtlich ihrer Effizienz und ihres Materialeinsatzes zu optimieren, sondern auch in Hinblick auf deren Rezyklierbarkeit.

4 ANSÄTZE FÜR URBAN MINING

Sämtlichen Richtlinien und Rechtsvorschriften der Abfallwirtschaft in der EU und in Österreich liegt die Abfallhierarchie zugrunde, welche einer Prioritätenfolge entspricht und gewissermaßen den Rahmen für eine ökologieorientierte Produktgestaltung (Design-for-Environment) vorgibt. Neben der Vermeidung, welche oberste Priorität hat, werden Wiederverwendung (Reuse) sowie das Recycling in der Abfallhierarchie angestrebt. Das „Design“ eines Produktes steht am Anfang des Modells zur Kreislaufwirtschaft (Circular Economy). Damit kann sowohl das Design-for-Recycling wie auch das Design-for-Reuse in Zusammenhang gebracht werden. Gemäß IRENA sollten zunächst eine Erhöhung der Materialeffizienz sowie eine Wiederverwendung (Reuse) der Module angestrebt werden. Recycling stellt eine dritte Option dar, die erst nach Ausschöpfen der zuvor genannten Optionen zur Anwendung kommen soll (IRENA 2016). In Zusammenhang mit Reuse-Ansätzen spielen nicht nur technische Maßnahmen eine Rolle, sondern auch die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Bestehende Initiativen zur Wiederverwendung zielen auf das gesamte PV-Modul ab, welches nach Aufbereitung, Reparatur und Qualitätscheck als Second-Hand Ware verkauft werden

kann. Auch kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der PV-Module auch nach Ablauf der Lebensdauer von 25 Jahren weiterhin funktionstüchtig ist. Vor dem Hintergrund einer dynamischen PV-Marktentwicklung wurden bereits deutliche Fortschritte hinsichtlich Materialeffizienz erreicht. Dennoch bestehen noch weitere Möglichkeiten, PV-Module mit weniger Energie- und Materialeinsatz herzustellen. So kann durch den Einsatz von Flussbettreaktoren der Stromverbrauch in der Silizium-Herstellung um 70 % im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren reduziert werden. Kurz- bis mittelfristig umsetzbar wären zudem rahmenlose Module sowie Module mit einer reduzierten Glasdicke (Behrendt et al. 2010).

Bei Design-for-Recycling-Ansätzen in Bezug auf PV-Module werden in erster Linie die Verklebung der Aluminiumrahmen zum Schutz vor Feuchtigkeit sowie die Einkapselungen aus Ethylenvinylacetat (EVA) genannt. Die EVA-Schicht kann nicht recycelt werden, da das gummiartige Material nicht zerstörungsfrei vom Verbund gelöst werden kann. Im Rahmen des Design-for-Recycling kann der Einsatz von Thermokunststoffen anstatt der EVA-Einkapselung das Recycling vereinfachen. Zusätzlich kann die Verwendung von anderen Dichtmitteln angedacht werden, um das Zerlegen der Aluminiumrahmen einfacher zu gestalten. Auch der Einsatz von Release-Layer (abziehbare Schutzschicht) wird als Design-for-Recycling-Maßnahme für PV-Module überlegt (Goris 2014). Bei Design-for-Recycling-Ansätzen ist oftmals auch ein Trade-Off zwischen vereinfachter Rezyklierbarkeit und der Effizienz der Module zu beachten. Forschungen befassen sich beispielsweise mit der verbesserten Rezyklierbarkeit der Wafer, indem eine Schutzschicht aufgetragen wird. Diese Schutzschicht erhöht jedoch die Reflexion des Sonnenlichts, sodass die Effizienz der Module sinkt. Auch von Experten wird die Einkapselung bzw. der Verbund an der Rückseite des Materials als problematisch im Zusammenhang mit dem Recycling angesehen (Auer 2015). Das Backsheet als Teil der Einkapselung bzw. des Verbunds kann aufgrund der Laminierung nicht recycelt werden. Zudem erschwert die unterschiedliche Zusammensetzung der Backsheets das Recycling, was jedoch laut Experten durch Monomateriallösungen (Polyolefine, schmelz- und ablösbare Materialien) zu lösen wäre. Aus Expertensicht kann vor allem der Verzicht auf die Verklebung im Aluminiumrahmen zu einer deutlichen Verbesserung der Recyclingfähigkeit beitragen. Laut Experten könnten hierbei smarte, reversible Verklebungen (Fluor- bzw. Tedla-basierte Kunststoffe) einen Beitrag leisten, diese sind bereits entwickelt, werden jedoch noch nicht eingesetzt. Im NICE Modul-Konzept (New Industrial Solar Cell Encapsulation) herrscht zwischen Front- und Backsheet Unterdruck, sodass keine Laminierung benötigt wird und das Recycling des Wafers unterstützt wird (Auer 2015).

Somit stehen als Design-for-Recycling-Ansätze in erster Linie die Zerlegbarkeit der Module im Vordergrund. Anstatt der Verklebung der einzelnen Schichten werden andere Technologien erforscht, die die Auftrennung der Module vereinfachen. Ein zweites großes Forschungsfeld ist die Entwicklung von geeigneten Recyclingprozessen sowie die Entwicklung der dazugehörigen Sammel- und Rückgabesysteme. Diese Bestrebungen werden innerhalb der EU u.a. auch durch die WEEE-Richtlinie 2012/19/EU vorangetrieben. Im Allgemeinen ist darauf hinzuweisen, dass Design-for-Recycling die Lebensdauer der Module nicht beeinträchtigen darf. Sollte es durch Design-for-Recycling-Maßnahmen zu einer Verringerung der Lebensdauer kommen, muss der ökologische und wirtschaftliche Nutzen eines Design-for-Recyclings in Frage gestellt werden. In diesem Zusammenhang muss das Trade-off zwischen Design-for-Recycling und der Lebensdauer bzw. Effizienz berücksichtigt werden.

5 POTENZIALABSCHÄTZUNG FÜR ÖSTERREICH

Wie bereits erwähnt sind derzeit nur geringe jährliche PV-Abfallmengen vorhanden, wobei ab dem Jahr 2030 mit dem Anfall größerer Mengen gerechnet werden kann.

Die Abfallmengen setzen sich dabei aus jenen Modulen zusammen, die am Ende ihrer Lebensdauer angelangt sind und beschädigten Modulen innerhalb der nominellen Lebensdauer. Als Schaden an PV-Modulen waren bisher in erster Linie Glas- oder Rahmenbruch durch eine mechanische Einwirkung – meist durch unsachgemäßen Transport – zu beobachten. Ebenso wird davon ausgegangen, dass zumindest in den nächsten 15 Jahren noch kristalline Module den Markt beherrschen werden. Hinsichtlich ihrer Materialzusammensetzung sind kristalline Module im Vergleich zu Dünnschichtmodulen als wenig bedenklich einzustufen, da diese keine gefährlichen Stoffe wie Cadmium oder Tellur enthalten. Um die Bedeutung des Recyclings von PV-Modulen für Österreich einschätzen zu können bedarf es einer Abschätzung des zu erwartenden PV-Abfallaufkommens. Im Business-as-Usual-Szenario wird ein jährlicher Zubau von 160 MWp, entsprechend dem Mittelwert der letzten Jahre, angenommen (BMVIT 2017), sowie 3 % für Bruch und Ausschuss der Module berücksichtigt. Im zweiten Szenario wird der jährliche Ausbau entsprechend der Prognose in der „PV-Roadmap“ herangezogen, wonach im Jahr 2030 insgesamt 9.700 MWp und im Jahr 2050 bis zu 26.700 MWp PV-Leistung installiert sein werden (BMVIT 2016). Für die Masse der PV-Module wird ein Mittelwert von 113 Tonnen pro installiertes Megawatt angenommen (Taetow 2013). In beiden Szenarien wird davon ausgegangen, dass das Gewicht der PV-Module je installiertem Megawatt jährlich um 1 % abnimmt, was die Lernrate hinsichtlich Materialeffizienz widerspiegelt. Zudem wird jeweils eine Lebensdauer von 25 Jahren für die Module angenommen.

Im Business-as-Usual-Szenario zeigt sich das Maximum des PV-Abfalls im Jahr 2038 mit einer abgeschätzten PV-Abfallmenge von ca. 30.000 t/a. Ab 2042 sinkt die zu erwartende Abfallmenge kontinuierlich, da ab diesem Zeitpunkt der Zubau an PV-Leistung genau jener Leistung entspricht, die aufgrund des Erreichens der Lebensdauer ausscheidet (während die Materialeffizienz steigt).

Auch im zweiten Szenario lässt sich ein erster Peak an PV-Abfall im Jahr 2038 mit über 32.500 Tonnen feststellen. Jedoch wird erst ab dem Jahr 2050 nur mehr so viel PV-Leistung installiert, um eine gesamte installierte Leistung von 26.700 MW konstant zu halten. Daraus ergibt sich der Höhepunkt des PV-Abfallaufkommens im Jahr 2056 mit insgesamt 82.000 Tonnen. Da ab 2050 somit nur mehr jene Leistung im System ersetzt wird, die aufgrund aus dem System ausgeschiedener Module (Lebensdauer erreicht), wegfällt, erhöht sich die Menge gemäß Szenario nicht mehr.

6 EMPFEHLUNGEN

Wie die Potenzialabschätzung zeigt, ist erst in mehreren Jahren mit relevanten Mengen an PV-Abfall zu rechnen. Diese Aussage entspricht auch den Einschätzungen der über den Stakeholder-Prozess eingebundenen Experten. Dennoch gibt es vielerlei Maßnahmen, abgeleitet aus der Literatur und den Expertenbefragungen, die bereits in naher Zukunft umgesetzt werden müssen um ein funktionierendes PV-Recycling zu etablieren. Vor diesem Hintergrund wurden schließlich folgende Empfehlungen für die politische Umsetzung von Urban Mining-Strategien abgeleitet:

- Trade-Off zwischen Design-for-Recycling und Lebensdauer: Design-for-Recycling-Maßnahmen dürfen die Lebensdauer der Module nicht verkürzen. Dies hätte negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit, gleichzeitig würde das Ziel des Design-for-Environment verfehlt.
- Regulative Vorgaben: Die heute geforderte Recyclingquote für Elektro-Altgeräte wird gemäß Expertenaussage durch das Recycling des Aluminiumrahmens sowie des Glases bereits erreicht, sodass die Motivation bzw. Anreize für weitere Design-for-Recycling-Ansätze nicht gegeben sind. Zusätzliche Maßnahmen für das Design-for-Recycling könnten durch höhere geforderte Recyclingquoten oder weitere regulative Vorgaben ausgelöst werden.

- Langfristige Entwicklung: Aufgrund bisher geringer Mengen an Altmodulen erfolgt das Recycling derzeit manuell. Mit steigenden Mengen wird es jedoch zu einer verstärkten Automatisierung bei Entsorgungs- und Recyclingunternehmen kommen. „Frontrunnern“ könnten sich Wettbewerbsvorteile am PV-Recycling-Markt bieten.
- Kataster der verbauten PV-Anlagen: Eine bundesweite Registrierung nach Ort und Typ der verbauten PV-Anlagen ist empfehlenswert. Auf diese Weise ist transparent ersichtlich, mit welchen Recyclingmengen zu rechnen ist.
- Zerlegepläne und Materialzusammensetzung: Frei zugängliche Zerlegepläne für PV-Module sind ein Baustein zur effizienteren Gestaltung des Recyclingprozesses. Die genaue Angabe der Materialzusammensetzung der PV-Module gibt Aufschluss über den Wert der im Modul enthaltenen Sekundärrohstoffe und unterstützt die Wahl des passenden Recyclingverfahrens. Zusätzlich hilft die Kenntnis der Materialzusammensetzung beim Umgang mit Schadstoffen.

7 ANMERKUNG

Das Projekt Urban Mining (Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze) wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gefördert und im Rahmen des Programms „Stadt der Zukunft“ durchgeführt.

LITERATUR

- Auer, A. (2015) *Photovoltaic module decommissioning and recycling in Europe and Japan – current methodologies, norms and future trends*. Master's Thesis. Department of Urban and Rural Development. Uppsala.
- Behrendt, S., Erdmann, L., Marwede, M., Caporal, S. (2010) *Roadmap: Ressourceneffiziente Photovoltaik 2020+ - Arbeitspaket 9 des Projekts „Materialeffizienz und Ressourcenschonung“ (MaRess)*. Ressourceneffizienz Paper 9.1. Wuppertal.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) (2017) *Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2016*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 13/2017, Wien.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) (2016) *Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich – Besondere Berücksichtigung der Auswirkung auf die Bereiche Gebäude/Städte, Industrie, Energieinfrastrukturen*. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 15/2016, Wien.
- Fiedler, R. (2016) *Recycling von PV-Modulen – SolarWorld AG*. Fachtagung, 6.9.2016.
- Goris, M. J. A. A. (2014) *Recycling Friendly Design – the CU-PV Project for sustainable photovoltaics*. Fachtagung, 23.9.2014, Amsterdam.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2016) *End-of-Life Management – Solar Photovoltaic Panels*. IRENA, IEA, 2016.
- Taetow, W. (2013) *Recycling von Photovoltaik-Modulen – Status, Zukunftsperspektiven und Chancen des Sammelns von PV-Modulen*. In: Round Table Recycling von Photovoltaik-Modulen. Fachtagung, 6.11.2013, Wien.

Lessons Learned – Erfahrungen aus dem RUN Projekt

R. Brüning & J. Wolf

Dr. Brüning Engineering UG, Brake, Deutschland

KURZFASSUNG: Nach drei Jahren Laufzeit ist die finanzierte Phase des EU-Projekts RUN (ReUse Notebook) zum Ende gekommen. Das RUN Team hat eine Vielzahl von Notebooks aus Privathaushalten und von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) nach einer qualitätsgesicherten Aufarbeitung einem zweiten Leben zugeführt. Je nach ihrem Zustand wurden die Notebooks sowohl gespendet als auch als Gebrauchtgeräte vermarktet. Die Erfahrungen aus dem Projekt zeigen, dass die Sammlung der Geräte mit großen Herausforderungen verbunden ist. Insbesondere werden mehr Geräte in einem schlechten Zustand gesammelt als angenommen. Dies muss in der Ausgestaltung des Systems beachtet werden. Das RUN Team hat sich auf die Gegebenheiten eingestellt und das Projekt wird nach dem Ende der Förderphase weitergeführt.

1 EINLEITUNG

Nach drei Jahren Laufzeit ist die Förderphase des von der EU cofinanzierten Projekts RUN (ReUse Notebook) zum Ende gekommen. Zielstellung von RUN war es, Notebooks aus Privathaushalten und von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) nach einer qualitätsgesicherten Aufarbeitung einem zweiten Leben zuzuführen. Am Ende der Förderphase soll jetzt Resümee gezogen werden.

2 ERFAHRUNGEN AUS DEM PROJEKT

Um das oberste Ziel der europäischen Abfallhierarchie – die Abfallvermeidung – umzusetzen, wurde im Projekt RUN (ReUse Notebook) ein Netzwerk entwickelt, in dem Notebooks gesammelt, aufgearbeitet und wiedervermarktet werden.

Während Lösungen für die Wiederverwendung von Business-Geräten bereits etabliert sind, ist RUN das erste länderübergreifende System, bei dem Lösungen für Notebooks aus privaten Haushalten umgesetzt wurden. Dabei mussten Strategien für spezifische Herausforderungen gefunden werden.

2.1 *Sammlung*

Von Privathaushalten kann i.d.R. nur ein Notebook eingesammelt werden. Dieses muss kosteneffizient zum Aufarbeiter transportiert werden. Der Zustand der gesammelten Geräte ist vor der Prüfung nicht bekannt.

2.1.1 *Sammelkanäle*

Das RUN System bietet zur Lösung dieser Fragestellung ein flexibles Sammelsystem mit zwei Sammelkanälen an. Notebooks können entweder an Sammelpunkten der RUN Partner in Deutschland und Österreich abgegeben werden oder aus Deutschland postalisch eingeschickt werden. Dazu können die Versandetiketten kostenfrei über die RUN Webseite generiert werden. In Österreich können Notebooks beispielsweise an allen Standorten der Volkshochschule (VHS) in Wien abgegeben werden. Auch nach dem Auslaufen der Förderphase ist es dem RUN Projekt gelungen neue Sammelpartner für eine Zusammenarbeit zu gewinnen. Um die Sammelpartner be-

sonders zu motivieren, wird vom RUN Team die Pressearbeit rund um die Sammelpunkte besonders fokussiert. Von der Öffentlichkeitsarbeit können sowohl RUN als auch die Partner profitieren und gleichzeitig die Themen Abfallvermeidung und Wiederverwendung herausgestellt werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die Übergabe von Notebooks bei einem Sammelpartner während eines Pressetermins (Abb. 1).



Abb. 1: Übergabe von Notebooks an den RUN Projektkoordinator Dr. Ralf Brüning.

Die bei den Sammelpartnern eingehenden Geräte werden, wenn möglich, konsolidiert an die Aufarbeiter versendet. Dies ist ein wichtiger Faktor, der es ermöglicht, Kosten einzusparen.

3.1.1 Qualität der gesammelten Geräte

Die Erfahrungen aus dem Projekt haben gezeigt, dass die Qualität und der Zustand der eingehenden Notebooks starken Schwankungen unterliegen. Beide Faktoren sind vor der Prüfung der Geräte unbekannt.

Es hat sich gezeigt, dass insgesamt mehr gesammelte Geräte in einem schlechten Zustand sind, als beim Projektstart angenommen. So kann es vorkommen, dass Geräte defekt oder ggf. absichtlich zerstört eingehen. Eine Reparatur ist dann in den meisten Fällen nicht wirtschaftlich. Ein Beispiel für ein gesammeltes, defektes Gerät wird in Abb. 2 gezeigt.



Abb. 2: Gesammeltes, defektes Gerät.

Weiterhin kann es vorkommen, dass Geräte beraubt wurden, und werthaltige Bestandteile wie z.B. Festplatten, Speicher oder Leiterplatten, fehlen. Darüber hinaus stellen unvollständige Geräte eine Herausforderung dar. Es kann vorkommen, dass Notebooks ohne Netzteil und/oder Akku abgegeben werden. Für die Wiederverwendung sind sie damit nicht mehr oder nur noch eingeschränkt geeignet. Auch bei unzerstörten und vollständigen Geräten kann es vorkommen, dass Lizenzaufkleber nicht oder unvollständig vorhanden sind. Dies kann den Wiederverkaufswert stark einschränken. Eine weitere Herausforderung stellt das Alter von gesammelten Geräten dar. Die Erfahrungen aus dem Projekt haben gezeigt, dass auch viele Geräte eingehen, die (in Deutschland und Österreich) aufgrund ihres Alters nicht mehr zu vermarkten sind.

Im RUN Projekt wurden die Aufarbeitungs- und Vertriebsstrategien angepasst, um mit den zuvor genannten Herausforderungen umzugehen.

2.2 Aufarbeitung

Das RUN Projekt hat eine Abfolge von Entscheidungskriterien und Prozessschritten entwickelt um die Qualität der Aufarbeitung sicherzustellen. Ein wichtiger Faktor ist, dass die Aufarbeitung so weit wie möglich standardisiert wurde. Zu den vorgegebenen Prozessschritten gehört in jedem Fall die Datenlöschung bei jedem Gerät. Auf Wunsch können die Spender von Geräten eine Löschbestätigung erhalten. Zu den standardisierten Abläufen gehört weiterhin der Check der Gerätekomponenten, wie

z.B. Speicher oder Display. Aufgrund der Testergebnisse muss dann ggf. die Entscheidung getroffen werden, dass Notebooks nicht mehr wiederverwendet werden können. Um die Wirtschaftlichkeit des Systems zu erhöhen, sollte diese Entscheidung so früh wie möglich getroffen werden. Bei den Geräten, die alle Checks bestanden haben und für die Vermarktung vorgesehen sind, wird die Aufarbeitung mit einer intensiven Reinigung abgeschlossen.

2.3 Vermarktung

Vor einer erfolgreichen Wiedervermarktung muss die Entscheidung getroffen werden, ob ein Gerät vertriebsfähig ist. Bei vertriebsfähigen Geräten ist eine Entscheidung über den passenden Absatzmarkt zu treffen. Dies können z.B. Österreich, Deutschland, Polen oder Südosteuropa sein, da diese Märkte unterschiedliche Anforderungen an die Ausstattung von Notebooks haben.

Geräte, die aufgrund ihres Alters in Österreich oder Deutschland nicht mehr vermarktet werden können, können ggf. in Südosteuropa einem zweiten Leben zugeführt werden. Die Akzeptanz z.B. von Geräten, die mit dem Betriebssystem LINUX ausgestattet sind, kann in diesen Märkten zum Teil höher sein. Dies kann ein wichtiger Faktor sein, wenn die Ausstattung von Geräten die Nutzung aktueller Windows-Systeme nicht erlaubt.

Der Vertrieb von Notebooks erfolgt in den Gebrauch-Shops der RUN Partner oder gemeinsam mit Vertriebspartnern vor Ort.

Notebooks, die nicht verkaufsfähig sind, können ggf. an Bildungseinrichtungen, wie die VHS in Wien, gespendet werden. Die Geräte werden dort beispielsweise von Geflüchteten genutzt. Auf diesem Wege können Umweltvorteile und soziale Vorteile der Wiederverwendung auch bei nicht vertriebsfähigen Geräten erreicht werden.

3 AUSBLICK

Trotz der großen Herausforderungen, die Notebooks aus privaten Haushalten darstellen, konnten im Projekt RUN praxisingerechte Lösungen entwickelt werden. Als vorteilhaft haben sich die Konsolidierung von Warensendungen, die Standardisierung der Aufarbeitung und der Wiedervermarktung in verschiedenen Absatzmärkten und Marktsegmenten erwiesen.

Das RUN Projekt erhielt finanzielle Unterstützung durch das Siebte Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft (FP7/2007-2013), Eco Innovation Call unter Fördervertrag Nr. 630329. Das System wird nach dem Auslaufen der Förderphase weitergeführt.

Es kann jetzt von weiteren Partnern unterstützt und genutzt werden, die Abfallvermeidungskonzepte umsetzen möchten.

Das System wurde entwickelt von einer Gruppe Experten für Logistik, qualitätsgesicherte Aufarbeitung, Datenmanagement, Remarketing, Programmierung und Web-Design aus Deutschland, Österreich und Polen. Die Firma Dr. Brüning Engineering UG initiierte und koordinierte das Projekt.

Störstoffe und originalverpackte Lebensmittel in Bioabfällen

A. Krenn

Abfallwirtschaftsverband Leoben, Leoben, Österreich

M. Wellacher

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Leoben, Österreich

KURZFASSUNG: In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der Siedlungsstruktur auf die Menge und Art an Fehlwürfen in Bioabfällen untersucht. Die daraus gewonnenen Daten sollen dazu beitragen, die Qualität des Haupterzeugnisses Kompost in Zukunft zu verbessern. Dazu wurden Biotonnen entleert, Störstoffe aussortiert, klassifiziert und gewogen. Der durchschnittliche Störstoffanteil betrug 2,7 %. Der überwiegende Teil der Verunreinigungen waren mit 1,3 % Kunststoffe. In den Biotonnen wurden nur 0,2 % originalverpackte Lebensmittel gefunden. Die Ergebnisse zeigen, dass in Mehrparteienwohnhäusern die Qualität des Bioabfalls schlechter ist als bei Einfamilienhäusern. Die Einflussfaktoren auf diese Unterschiede werden diskutiert.

1 EINLEITUNG

Getrennt gesammelte biogene Abfälle aus Haushalten werden in abfallwirtschaftlich fortschrittlichen Ländern überwiegend zu Kompost verwertet. Um die Kompostqualität sicherzustellen, ist eine hinreichende Qualität bei der Quellensortierung notwendig. Diese Qualität kann der Kompost dann erreichen, wenn der Gehalt an Gesamtfremdstoffen in Bioabfall bezogen auf die Feuchtmasse (FM) weniger als 1 % beträgt. Ab einem Fremdstoffgehalt von > 3 % ist davon auszugehen, dass das Endprodukt Kompost sichtbare Kunststoffteile beinhaltet. (siehe Abbildung 1) (Kehres 2016). Verursacher dieser Verunreinigung ist der Bürger als Abfallerzeuger.

Um in Zukunft besser mit dem Problem der Fehlwürfe in Biotonnen umgehen zu können, wurde die hier vorliegende Untersuchung durchgeführt. Ziel war es zum einen, die Gesamtmenge und Art der Verunreinigungen des Bioabfalls zu messen, und zum anderen Aussagen über den Zusammenhang Fehlwürfe und Siedlungsstruktur zu treffen. Dass dieser Zusammenhang besteht, konnte bereits nachgewiesen werden (Bauer 2017). In der vorliegenden Untersuchung wurde darüberhinausgehend das Gesamtgewicht der Fehleinwürfe gemessen und eine differenziertere Siedlungsstrukturaufteilung unternommen.

Originalverpackte Lebensmittel sind eine häufig thematisierte Abfallfraktion, die bisher nur als Anteil am Restabfall untersucht wurde (Lebersorger & Schneider 2009, Kreindl 2013). Hier wurde erstmals ihr Anteil in Bioabfällen untersucht.



Abb. 1: Fehlwürfe in Bioabfall bei der Sortierung.

2 MATERIAL UND METHODEN

Für die hier vorliegende Untersuchung wurden im Frühling 2017 in Leoben, Österreich, 50 Stichproben ohne Vorinformation an die Abfallerzeuger aus vier verschiedenen Stadtteilen entnommen. Um Aussagen über den Einfluss der Siedlungsstruktur auf die Fehleinwürfe machen zu können, wurden drei Arten unterschieden:

- Mehrfamilienhaus mit mehr als 10 Wohneinheiten (MFH > 10),
- Mehrfamilienhaus mit bis zu 10 Wohneinheiten (MFH < 10) und
- Einfamilienhaus (EFH).

Die Proben (d.h. die gesamte Biotonne) wurden vor Ort beschriftet und zu einem zentralen Sammelplatz gebracht. Dort wurden das Gesamtgewicht der Abfälle gemessen und der Inhalt per Hand in folgende Fraktionen sortiert, deren Gewichtsanteil bestimmt wurde:

- Bioabfall,
- Plastik nicht biologisch abbaubar,
- Plastik biologisch abbaubar,
- Fehlwürfe (Metalle, Keramik, Verbundstoffe) und
- Lebensmittel (originalverpackt).

Insgesamt wurden ca. 1.200 kg Bioabfall untersucht. Etwa 800 kg davon stammten von MFH > 10, jeweils 200 kg von MFH < 10 und EFH.

Eine der 50 Biotonnen enthielt mit 11,5 kg FM originalverpackte Lebensmittel auf 50,6 kg FM Gesamtgewicht einen außergewöhnlich hohen Anteil, der als Ausreißer betrachtet und nicht in die Ergebnisse miteinberechnet wurde.

3 ERGEBNISSE

Es konnte festgestellt werden, dass der durchschnittliche Behälterinhalt in MFH > 10 mit 33 kg FM deutlich höher war als jener der beiden anderen Siedlungsstrukturen: In MFH < 10 befanden sich im Durchschnitt 26 kg Bioabfall, in EFH 14 kg.

Die Auswertung ergab, dass in MFH > 10 mit 3,4 % FM die höchste Menge an Fehlwürfen verzeichnet werden konnte. In MFH < 10 waren es 1,8 % FM und in EFH 0,6 % FM (siehe Abbildung 2).

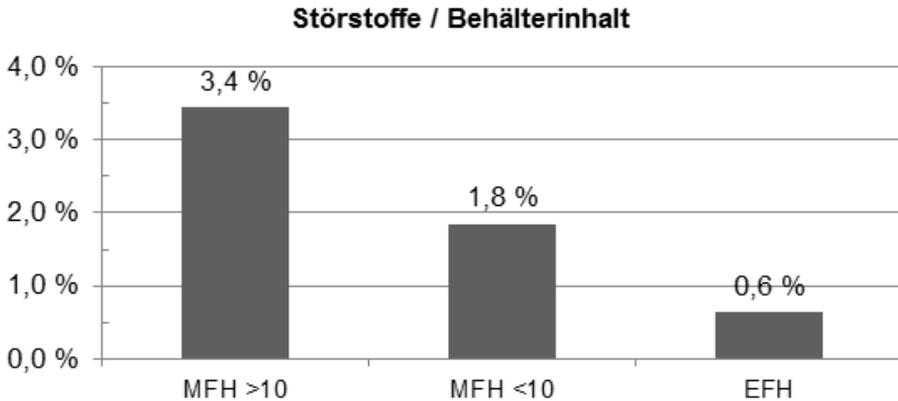


Abb. 2: Anteil der Störstoffe am Behälterinhalt in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur.

Den größten Anteil an Fehlwürfen hatte die Fraktion der „sonstigen Fehleinwürfe“, also Metalle, Keramik und Verbundstoffe mit 1,2 % FM. An nicht-abbaubaren Kunststoffen wurden insgesamt 1,0 % FM gemessen, an abbaubaren Kunststoffen bzw. originalverpackten Lebensmitteln nur 0,3 % FM bzw. 0,2 % FM. Insgesamt wurden 2,7 % Störstoffe gefunden (siehe Abbildung 3).

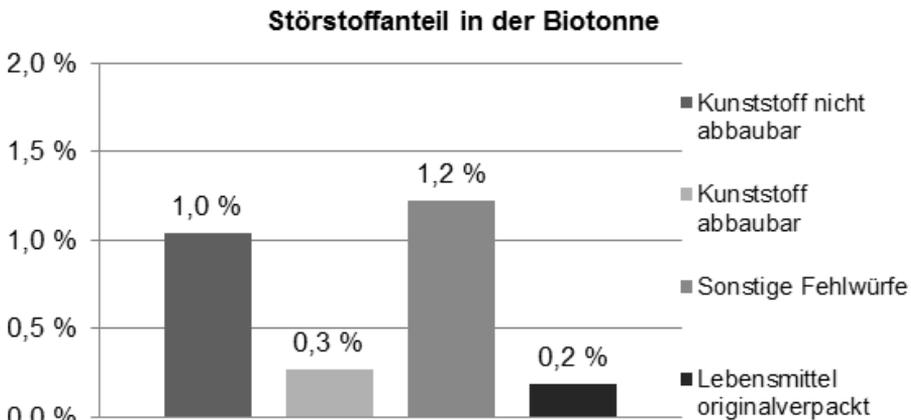


Abb. 3: Fehleinwürfe nach Störstoffkategorie.

Abbaubare Kunststoffe konnten fast ausschließlich in MFH > 10 gefunden werden. Originalverpackte Lebensmittel wurden in MFH < 10 und EFH nicht gefunden. Folgende originalverpackte Lebensmittel wurden gefunden: Kartoffeln, Bohnen, Gurken, Salat, Käse, Wurst, Steak und Schokoriegel.

4 DISKUSSION

Mit insgesamt 2,7 % FM Fehlwürfen lagen die Ergebnisse noch in einem für Kompostieranlagen akzeptablen Bereich, d.h. < 3 %. Die Ergebnisse bestätigten den Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Menge an Fehlwürfen in Biotonnen. Bei allen vier unterschiedenen Arten von Störstoffen wurde jeweils der größte Anteil bei MFH > 10 gefunden. Dieser Zusammenhang deckt sich mit den Ergebnissen von Bauer (2017). Die Aufnahme der MFH < 10 zeigte Fehlwurfgehalte, die zwischen jenen von MFH > 10 und EFH lagen und somit einen linearen Übergang von wenig anonym bis sehr anonym.

Ein möglicher Grund hierfür ist die Anonymität bei der Quellensortierung, die von EFH über MFH < 10 bis zu MFH > 10 ansteigt. Die Bewohner müssen nicht befürchten, dass ihnen ihr nachlässiges Trennverhalten zugeordnet werden kann.

Eine weitere Ursache für eine erhöhte Menge an Fehleinwürfen in MFH liegt bei der Vorsammlung (Bauer 2017). So sind die Wege von der Wohnung zur Biotonne in MFH deutlich länger als bei EFH und werden daher oft mit dem Verlassen der Wohnung verbunden. Aus diesem Grund wird vermutlich von der Verwendung von Mehrweggebinden zur Vorsammlung in den Küchen abgesehen und stattdessen werden abbaubare oder nicht-abbaubare Kunststoffsäcke benützt, die dann auch in der Biotonne verbleiben. Somit kann die Entsorgung leichter mit dem Verlassen der Wohnung verbunden werden.

Daneben hat auch die Einstellung der Bürger zum Umweltschutz einen Einfluss auf die Qualität der Quellensortierung, die hier nicht Gegenstand der Untersuchungen war. Es ist beschrieben, dass Arbeitslosigkeit, Bildungsstandard und Einkommen auch eine Auswirkung auf die Menge an Fehlwürfen haben (Alvarez et al., 2007).

Die Problematik von originalverpackten Lebensmitteln in der Biotonne ist geringer als bei Restabfall. Während in Restabfall zwischen 1,5 % FM und 5,0 % FM gefunden werden (Kreindl 2013, Lebersorger & Schneider 2009), waren es in der vorliegenden Untersuchung nur 0,2 % FM. Außerdem ist das Pro-Kopf-Aufkommen von Restabfall höher als jenes von Bioabfall. Prinzipiell ist die Biotonne der richtige Entsorgungsweg für Lebensmittelabfälle, allerdings ohne Verpackung. Die Vermeidung von Lebensmittelabfällen wurde umfangreich diskutiert und ist Gegenstand zahlreicher abfallwirtschaftlicher Initiativen (Arge 2018, Foodsharing 2018, Kranert 2012).

Maßnahmen zur Reduzierung von Fehlwürfen sind vor allem durch die Kommune möglich, deren Aufgabe es ist, ihre Bürger über die Bedeutung korrekter Mülltrennung zu informieren. Im vorliegenden Fall der Bioabfallsammlung ist darauf hinzuweisen, dass Kunststoffe Störstoffe in der Biotonne sind, auch jene als biologisch abbaubar gekennzeichnete. Daneben gehören klare, überregionale Regelungen und Anweisungen zur Abfalltrennung. Leider kommunizieren Kommunen und sogar Interessenvertretungen nach wie vor unterschiedlich, ob biologisch abbaubare Kunststoffe in die Biotonne gehören oder nicht, was zu einer Verwirrung der Bevölkerung führt (Bauer 2017, Kompost & Biogas Verband 2018), obwohl diese Art der Vorsammlung nachweislich zu Problemen bei der Kompostqualität führt.

Die vorliegende Untersuchung zeigt auf, dass Maßnahmen konzentriert in Haushalten mit erhöhter Anonymität zu setzen sind bzw. dass Maßnahmen in EFH am einfachsten sein werden und hier die Fehlwürfe am raschesten reduziert werden können.

Eine weitere Möglichkeit für Maßnahmen ist eine Kontrolle und die darauffolgende Rückmeldung an den Erzeuger im Rahmen eines Stufenmodells. Die Vorgehensweise könnte folgendermaßen erfolgen:

- Regelmäßige Messungen der Fehlwurfquote, als ausreichende Basis für alle Maßnahmen.
- Verteilung von Informationsmaterial zur Erklärung der Quellensortierung im besten Fall mit einem persönlichen Besuch, bevorzugt aber nicht ausschließlich im Zuge der Abfallsammlung.
- Beklebung der Biotonne mit der Information „kein Plastik“.
- Einmalige Verteilung von Papiersäcken als Vorsammelbehälter mit entsprechender Information bevorzugt in anonymen Siedlungsstrukturen.
- Hinweis, wenn in der Biotonne Fehlwürfe gefunden wurden im Zuge der Leerung durch eine Nachricht am Behälter für den Bürger (und seine Nachbarn), wobei auch positive Bewertungen abgegeben werden sollen.
- Sichtbarmachung von Fehlwürfen im Zuge der Leerung durch das Zurückklassen einiger augenscheinlicher Fehlwürfe am Behälterdeckel (wiederum sichtbar für Nachbarn).
- Einmaliges Nicht-Entleeren der Biotonne mit Fehlwürfen und Ankündigung der kostenpflichtigen Entleerung im Zuge der Restabfallsammlung, sollte sich die Qualität nicht ändern.
- Kostenpflichtige Entsorgung der Biotonne im Zuge der Restabfallsammlung.
- Erhöhung der Müllgebühr um einen für den Haushalt merkbaren Betrag, beispielsweise € 50,- pro Jahr, bis eine Verbesserung der Situation eingetreten ist.

(Wellacher & Kunter 2017, Mehren 2014)

In naher Zukunft ist nicht mit der Umsetzung der hier vorgeschlagenen Maßnahmen zu rechnen. Nach wie vor, akzeptieren Kompostanlagen störfstoffbehaftete Bioabfälle und Landwirte störfstoffbehaftete Komposte.

Es wird (noch) nicht begonnen, Biotonnenmaterial bzw. Komposte ohne sichtbare Störstoffe als Kriterium für die Annahme zu verlangen. Daher entsteht auch kein die Situation verändernder Druck auf die Kommunen, Maßnahmen zu setzen.

In Österreich betreiben Kompostieranlagen oft auch eine eigene Landwirtschaft, welche den produzierten Kompost verwertet, wodurch keine externe Vermarktung der störfstoffbehafteten Komposte benötigt wird.

Sollte das Bewusstsein für weniger Störstoffe nicht steigen, ist ohne eine Anpassung durch den Gesetzgeber, z.B. durch höhere Grenzwerte für Störstoffe in Kompost oder eine Sanktionierung durch eine Gebühr bei Verwertung trotz Grenzwertüberschreitung (z.B. ALSAG), keine Verbesserung zu erwarten.

LITERATUR

Alvarez, M.D., Sans, R., Garrido, N., Torres, A. (2007) *Factors that affect the quality of the bio-waste fraction of selectively collected solid waste in Catalonia*. In: Waste management (New York, N.Y.) 28 (2), S. 359–366. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.01.005.

Arge Abfallvermeidung, Ressourcenschonung und nachhaltige Entwicklung GmbH (2018) *Rest/Festl – Graz isst auf*. Online: <https://restfestl.wordpress.com/category/news/>. Zugriff am 17.04.2018.

Bauer, E. (2017) *Die Qualität der Bioabfallsammlung in Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur und dem Sammelsystem im Bezirk Graz-Umgebung*, Masterarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz.

Foodsharing (2018) Online: <https://foodsharing.de/>. Zugriff am 17.04.2018.

- Kehres, B. (2016) BGK Position Standpunkt - Sortenreinheit von Bioabfällen gewährleisten. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., Köln, 31.05.2016.
- Kompost & Biogas Verband (2018) *Initiative Bio-Kreislauf-Sackerl*. Poster auf der Österreichischen Abfallwirtschaftstagung des ÖWAV in Salzburg. Posterbeitrag.
- Kranert, M. (2012) *Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland*. Universität Stuttgart Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Stuttgart.
- Kreindl G. (2013) *Lebensmittelabfälle im Restabfall – Charakterisierung des Restmülls im AWV Leoben, Abfallwirtschaftsverband Leoben, Leoben*.
- Lebersorger S., Schneider F. (2009) *Untersuchung der Lebensmittel im Restmüll in einer oberösterreichischen Region*. Land OÖ/Abteilung Umweltschutz und das Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- Mehren, L. (2014) *Maßnahmen des Kreises Euskirchen zur Erfassung von Biogut mit geringen Störstoffanteilen*, Euskirchen.
- Wellacher, M., Kunter A. (2017) *Störstoffmanagement in biogenen Abfällen*. In: Kühle-Weidemeier, M. & Büscher, K. (Hrsg.). Waste-to-Resources 2017 7. Internationale Tagung MBA. Hannover, S. 626 - 640 14 S.

Ressourcenmanagement in der Kreislaufwirtschaft – Eindrücke österreichischer Akteure

M. Pamperl, N. Unger & P. Beigl

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Abfallwirtschaft, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Trotz positiver Entwicklungen bestehen EU-weit erhebliche Verbesserungspotentiale für Recyclingquoten und den Wiedereinsatz von Sekundärressourcen. Das Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien befasst sich deshalb mit der Untersuchung ungenutzter Rohstoffpotentiale in der österreichischen Wirtschaft und lud VertreterInnen aus Industrie, Verwaltung und Wissenschaft zu einem Workshop, um Erfolgsfaktoren für das Schließen von Materialkreisläufen zu diskutieren. Ausgehend von einem Überblick über das Kreislaufwirtschaftspaket der EU sowie aktueller Maßnahmen, gibt dieser Beitrag die wesentlichen Ergebnisse wieder. Dazu zählen u.a. die Stärkung von Märkten für Sekundärrohstoffe, die Förderung von Innovation, die Entwicklung von Qualitätsstandards und die Klärung offener rechtlicher Fragen.

1 EINLEITUNG

Die Ambitionen der Europäischen Union, skizziert im 2015 veröffentlichten Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft, sind hoch. Mögliche Ansätze zur Umsetzung dieser vielschichtigen Vision, in welcher durch Wiederverwendung, Reparatur und Recycling Materialien im Kreislauf geführt werden, werden derzeit in wissenschaftlichen Gremien und von Interessensvertretungen diskutiert. Der Übergang zu einer stärker kreislaforientierten Wirtschaft erfordert jedenfalls Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Produktion über den Konsum bis hin zur Abfallwirtschaft, sowie umfangreiche Investitionen und die Entwicklung innovativer Ansätze (EC 2015).

Pro Jahr werden in der Wirtschaft der Europäischen Union (EU-28) insgesamt 8 Mrd. Tonnen Rohstoffe eingesetzt und zu Energie und Produkten verarbeitet. Ein Großteil dieses Gütereinsatzes stammt aus heimischer Gewinnung und Importen. Von den 2,2 Mrd. Tonnen an angefallenen Abfällen werden jedoch nur 0,6 Mrd. Tonnen als Rezyklate in das Produktionssystem zurückgeführt, was einer Recyclingquote von etwa 27 % entspricht (EC 2018a). Diese Zahlen verdeutlichen das Mengenpotential, welches durch geeignete Maßnahmen wieder in den Wirtschaftskreislauf eingebracht werden könnte.

Um ein besseres Verständnis über ungenutzte Ressourcenpotentiale zu erhalten, befasst sich das Institut für Abfallwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien seit 2017 mit dem Thema Kreislaufwirtschaft in der österreichischen Industrie. In dem durch den Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank geförderten Projekt werden dabei u.a. bestehende Rohstoffpotentiale abgeschätzt sowie die zugrundeliegenden ökonomischen Mechanismen, die die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen bestimmen, untersucht. Wesentlicher Bestandteil des Forschungsvorhabens ist dabei auch der Austausch mit Industrie, Verwaltung und Wissenschaft, weshalb im Oktober 2017 zum Workshop „Ressourcenmanagement in der Kreislaufwirtschaft“ geladen wurde. Anhand von Impulsreferaten, Gruppenarbeiten und Plenardiskussionen wurden zwei gezielte Fragestellungen bearbeitet: Welche Erfolgsfaktoren gibt es für das Schließen von Materialkreisläufen? Wie können diese auf andere Sektoren übertragen werden?

Dieser Beitrag gibt eine Zusammenfassung der aus der Sicht der österreichischen AkteurlInnen wichtigen Aspekte, die für den Schritt zu einer stärker kreislaufforientierten Wirtschaft relevant sind, sowie einen Überblick der Neuerungen im Rahmen des Kreislaufwirtschaftspakets der Europäischen Kommission.

2 DAS KREISLAUFWIRTSCHAFTSPAKET DER EUROPÄISCHEN UNION

Im Dezember 2015 veröffentlichte die Europäische Kommission ein umfangreiches Paket zur Förderung der Kreislaufwirtschaft, welches einen Aktionsplan sowie mehrere überarbeitete Legislativvorschläge für Abfälle umfasst. Die neuen Regeln enthalten u.a. erhöhte Recyclingziele für Siedlungsabfälle und Verpackungen. So sind ab 2025 55 %, ab 2030 60 % und ab 2035 65 % der Siedlungsabfälle zu recyceln. Für Verpackungsabfälle betragen die Vorgaben 65 % ab 2025 und 70 % ab 2030, wobei spezifische Ziele je nach Materialgruppe gelten. Zur Berechnung dieser Recyclingquoten wurde eine einheitliche Methode festgelegt. Nach Artikel 11a der novellierten Abfallrahmenrichtlinie hat die Berechnung output- und nicht inputbezogen zu erfolgen, d.h. es ist das Gewicht jener Abfälle heranzuziehen, die nach Durchlaufen etwaiger Sortierverfahren und ggf. Entfernen nicht verwertbarer Materialien tatsächlich einem Recyclingverfahren zugeführt werden. Außerdem enthalten die Neuerungen die verpflichtende getrennte Sammlung von gefährlichen Siedlungsabfällen, Bioabfällen und Textilien sowie eine maximale Deponierungsquote für Siedlungsabfälle von 10 % ab 2035 (EC 2018b).

Unterteilt nach Schwerpunktbereichen enthält der Aktionsplan mit Zeitplan versehene Maßnahmen, die bis 2020 auf EU-Ebene durchzuführen sind. So werden im Rahmen des aktuellen Ökodesign-Arbeitsplans 2016-2019 die Aufnahme von Kriterien wie Recyclingfähigkeit und Reparierbarkeit in die produktspezifischen Durchführungsverordnungen geprüft sowie Standards für Materialeffizienz durch die europäischen Normungsinstitutionen ausgearbeitet (EC 2016). In der Überarbeitung und Entwicklung neuer Kriterien für die umweltgerechte öffentliche Beschaffung werden Aspekte wie Langlebigkeit und einfache Reparatur stärker berücksichtigt. Zur Förderung der Nachfrage und des Marktes für Sekundärrohstoffe sollen Qualitätsstandards entwickelt werden. Insbesondere für sortierte Kunststoffabfälle und Sekundärkunststoffe sollen Standards dazu beitragen, Vorbehalte bezüglich der Qualität abzubauen. In einer kürzlich veröffentlichten Mitteilung der Kommission (EC 2018c) werden außerdem vier kritische Probleme an der Schnittstelle zwischen Chemikalien-, Produkt- und Abfallrecht analysiert. So bestehen zurzeit etwa unterschiedliche Vorschriften über das Ende der Abfalleigenschaft auf EU- und nationaler Ebene, was zu unklaren rechtlichen Fragen bei der Verwertung und dem Transport führt. Als ersten Schritt zu einer europaweiten Harmonisierung wird eine Datenbank über alle geltenden Vorschriften zum Abfallende entwickelt. Darüber hinaus enthält der Aktionsplan Maßnahmen zu den Schwerpunktbereichen Kunststoffe, Lebensmittelverschwendung, kritische Rohstoffe, Bau- und Abbruchabfälle sowie Biomasse. Detailliertere Vorhaben der EU bezüglich Kunststoffe finden ihre Darstellung in der Kunststoffstrategie (EC 2018d), welche Anfang 2018 u.a. zusammen mit einer Kommunikation über einen Überwachungsrahmen für die Kreislaufwirtschaft (EC 2018a) veröffentlicht wurde. Zu den zentralen Absichten der Kunststoffstrategie zählt eine Revision der Verpackungsrichtlinie mit dem Ziel, dass bis 2030 jede in der Union in Verkehr gebrachte Kunststoffverpackung wiederverwendbar oder kosteneffektiv recycelbar ist. Angedacht werden überdies neue Regeln über Gebühren der erweiterten Herstellerverantwortung, um ökonomische Anreize für den Einsatz von Sekundärkunststoffen in der Herstellung neuer Verpackungen zu setzen. Im Kontext der Kunststoffstrategie schlug die Kommission im Mai 2018 außerdem eine neue

Richtlinie (EC 2018e) vor, die auf zehn Einwegproduktgruppen und Fischereiausrüstung aus Kunststoff abzielt. Vorgesehen sind u.a. Produktverbote für z.B. Einweggeschirr, die obligate Einrichtung von Systemen der erweiterten Produzentenverantwortung für z.B. Essensbehältnisse sowie eine Sammelquote für Getränkeflaschen von mindestens 90 % bis 2025.

3 WORKSHOPERGEBNISSE

3.1 Rahmenbedingungen für die Kreislaufwirtschaft

Während der Diskussion wurden mehrere Hemmnisse für das Schließen von Materialkreisläufen angesprochen. So wird etwa die Recyclingfähigkeit von Produkten in der Herstellung häufig nicht mitgedacht. Als vorteilhaft wurde diesbezüglich anerkannt, wenn beispielsweise Verpackungshersteller ebenso im Recycling tätig sind. Außerdem können geänderte gesetzliche Rahmenbedingungen dazu führen, dass Abfälle Stoffe enthalten, die für die Produktion nicht mehr zulässig sind. Kunststoffe aus Elektroaltgeräten können bromierte Flammschutzmittel enthalten, deren Verwendung mittlerweile verboten ist. Die EU-Kommission hat die Problematik dieser Altlasten bereits anerkannt und stellt die Frage zur Debatte, ob Rezyklate Chemikalien enthalten dürfen, die in Neuprodukten beschränkt sind (EC 2018c). Kritisiert wurde ferner, dass bislang auf EU-Ebene unterschiedliche Berechnungsmethoden für Recyclingquoten angewandt wurden, was mittlerweile im Rahmen der novellierten Regelungen über Abfälle harmonisiert wurde. Als alternatives Maß der Kreislauforientierung könnte eine Substitutionsquote dienen, welche den Anteil von Sekundärrohstoffen am Gesamtrohstoffeinsatz darstellt.

3.2 Herausforderungen für Wirtschaft und Unternehmen

Wie im EU-Aktionsplan schätzten die WorkshopeteilnehmerInnen die Bedeutung von Investitionen und Innovation für die Kreislaufwirtschaft hoch ein. Im gesättigten Markt ist die Entwicklung neuer Technologien und Ansätze unabdingbar, um neue Geschäftsfelder und Ressourcenpotentiale zu erschließen, wie z.B. eine verbesserte Metallrückgewinnung aus Verbrennungsrückständen oder die Sammlung und stoffliche Verwertung bislang ungenutzter Kunststofffraktionen. Als Vorreiter gehen Unternehmen dabei ein hohes finanzielles Risiko ein, bis sich mitunter erst nach jahrelangen Investitionen Erfolge zeigen.

Entscheidend für die Erhöhung von Recyclingquoten ist eine ausreichende Nachfrage nach Sekundärrohstoffen. Fehlende Absatzmöglichkeiten behindern Investitionen in den Ausbau der Verwertungsinfrastruktur und bedingen, dass beispielsweise große Mengen an Kunststoffen trotz technischer Möglichkeiten zurzeit nicht recycelt werden. Die fehlende Nachfrage für gewisse Qualitäten von Sekundärrohstoffen wird unter anderem dadurch erklärt, dass Unternehmen kaum ökonomische Vorteile durch deren Verwendung erzielen. Insbesondere für Sekundärkunststoffe spielt der Ölpreis eine große Rolle. Bei niedrigem Ölpreis ist ebenso die Nachfrage nach recycelten Kunststoffen gering. Als Vorschlag zur Förderung der Nachfrage wurde ein Bonus-Malus-System diskutiert, welches für Hersteller z.B. steuerliche Begünstigungen oder geringere Lizenzbeiträge bei Verwendung von Sekundärressourcen vorsieht. Des Weiteren wurde die Entwicklung von Standards und Zertifizierungen für recycelte Rohstoffe begrüßt, um Vertrauen in die Qualität der Materialien zu stiften.

3.3 Herausforderungen für Konsumenten und Gesellschaft

Das Konsumverhalten spielt eine entscheidende Rolle für die Förderung ressourcenschonender Produktionsweisen. Die Entwicklung einer stärker

kreislauforientierten Wirtschaft verlangt, dass Produkte aus Sekundärrohstoffen auch ausreichend nachgefragt und verwendet werden. Ähnlich wie bei der Einführung von Recyclingpapier werden derzeit noch Probleme bei der Akzeptanz von recycelten Kunststoffen in Verpackungen verortet. Hier bedarf es, am Bewusstsein der KonsumentInnen zu arbeiten. Auch der öffentliche Sektor kann im Rahmen der umweltgerechten Beschaffung eine Vorbildwirkung setzen.

4 SCHLUSSFOLGERUNG

Im Rahmen des vom Institut für Abfallwirtschaft (BOKU Wien) organisierten Workshops diskutierten VertreterInnen aus Industrie, Verwaltung und Wissenschaft, wie der Übergang zu einer stärker kreislauforientierten Gesellschaft gelingen kann. Wesentliche dabei erarbeitete Faktoren umfassen die Förderung von Sekundärrohstoffmärkten sowie die Etablierung einer ausreichenden Nachfrage nach recycelten Materialien bzw. Produkten. Die Entwicklung innovativer Ansätze zur Erschließung ungenutzter Ressourcenpotentiale erfordert Investitionen und eine konstruktive Vernetzung von Akteuren entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die rechtlichen Rahmenbedingungen müssen transparent und an den Fortschritt angepasst sein. Mit dem Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft sowie den in diesem Kontext bislang gesetzten Maßnahmen (Novellierung der Regelungen über Abfälle, Kunststoff-Strategie, Überwachungsrahmen etc.) werden viele der im Workshop vorgebrachten Punkte behandelt, z.B. hinsichtlich Recyclingquoten, Qualitätsstandards, Förderung von Innovation und Investitionen oder Anreize für Recyclingfähigkeit. Abschließend zeigten sich die WorkshopeteilnehmerInnen optimistisch, dass die Förderung einer stärker kreislauforientierten Wirtschaft Europa langfristig auf einen nachhaltigeren Kurs bringen kann.

5 DANKSAGUNG

Die AutorInnen möchten einen besonderen Dank für die finanzielle Unterstützung durch den Jubiläumsfonds der Oesterreichischen Nationalbank aussprechen.

LITERATUR

- European Commission (EC) (2015) *Closing the Loop – an EU Action Plan for the Circular Economy*. COM/2015/0614 final, Brussels.
- European Commission (EC) (2016) *Ecodesign Working Plan 2016-2019*. COM/2016/0773 final, Brussels.
- European Commission (EC) (2018a) *Monitoring framework for the circular economy*. COM/2018/029 final, Brussels.
- European Commission (EC) (2018b) *Circular Economy: New rules will make EU the global front-runner in waste management and recycling*. Press release 22 May 2018, Brussels.
- European Commission (EC) (2018c) *Options to address the interface between chemical, product and waste legislation*. COM/2018/032 final, Brussels.
- European Commission (EC) (2018d) *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy*. COM/2018/028 final, Brussels.
- European Commission (EC) (2018e) *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment*. COM/2018/340 final, Brussels.

Altglasrecycling - Anteil an Störstoffen im Altglas in Österreich

A. Aldrian & R. Pomberger

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Leoben, Österreich

C. Schipfer & K. Gattermayer

Vetropack Austria GmbH, Pöchlarn, Österreich

KURZFASSUNG: Die Vetropack Austria GmbH betreibt in Pöchlarn eine Produktionsanlage für die Herstellung von Glasverpackungen. Für die Glasherstellung wird Altglas als Sekundärrohstoff eingesetzt, wobei das Altglas vor dem Einsatz auf entsprechende Qualität aufbereitet wird. Im Zuge eines Projektes zwischen der Vetropack Austria GmbH und dem Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft wurde der Störstoffanteil im Altglasinputmaterial ermittelt. Hierzu wurden die einzelnen Outputfraktionen der Aufbereitungsanlage untersucht (manuelle Sortierungen, chemische Analysen). Die Analysen wurden getrennt für Buntglas und Weißglas durchgeführt. Die Untersuchungen zeigten, dass der Störstoffanteil bei Buntglas rd. 1,53 % beträgt und sich für Weißglas auf 1,51 % beläuft. Typische Störstoffe waren Verschraubungsdeckel, Kronkorken, Banderolen, PET-Flaschen, Keramik/Stein/Porzellan, Papier (v.a. Etiketten), aber auch Textilien, Holz und Kunststoffverpackungen. In der Praxis kann jedoch nicht der gesamte Anteil an Glas während der Aufbereitung aufgeschlossen werden. Damit beträgt der tatsächlich verwertbare Anteil ca. 87,6 % (Buntglas) und 95,8 % (Weißglas). Der größte Teil geht dabei während der Abtrennung von Keramik/Stein/Porzellan (KSP) verloren. Weitere Hauptverlustträger sind die Fraktionen NE-Metalle und Eisenmetalle.

1 EINLEITUNG

In Österreich werden jedes Jahr etwa 270.000 Tonnen Verpackungsglas in Verkehr gebracht. Die Akzeptanz des Altglasrecycling und des Recyclingstoffes Glas ist in Österreich grundsätzlich sehr hoch. Die Pro-Kopf-Sammelmenge an Altglas aus privaten Haushalten beträgt daher rund 26 Kilogramm. Die Recyclingquote bezogen auf den Marktinput beläuft sich in Österreich auf ca. 85 %. (AGR 2013; AGR 2014; AGR 2017) Damit liegt Österreich im europäischen Spitzenfeld gemeinsam mit Norwegen, Schweden, Dänemark, Deutschland, Luxemburg, der Schweiz und Slowenien (FEVE 2013). Gleichzeitig bedeutet eine Sammelquote von 85 % mit einer in Verkehr gebrachten Menge von 270.000 t/a, dass ca. 40.000 t/a nicht im Altglas landen. Bei einem durchschnittlichen Behältergewicht von 300 g sind das pro Tag ca. 370.000 (!) Flaschen bzw. Konservengläser.

Auch wenn es um die Trennmoral bei Abfällen in Österreich nicht immer zum Besten steht: Marmeladegläser gehören ebenso in den Altglascontainer bzw. die Altglas-tonne wie Weinflaschen oder Parfümfläschchen aus Glas. Dennoch landen – aus Unwissenheit, Unachtsamkeit oder Faulheit der KonsumentInnen – nicht unerhebliche Mengen an Störstoffen wie z.B. Keramik, Trinkgläser, Bleikristallglas, Glühbirnen usw. in der Fraktion „Glasverpackungen“. Auch Schraubverschlüsse, Korken und Blechdeckel haben im Altglas eigentlich nichts verloren. Im Zuge eines Projektes zwischen der Vetropack Austria GmbH und dem Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft wurde der Störstoffanteil im Altglas ermittelt und untersucht, in welchen Outputfraktionen einer Altglasauflösungsanlage relevante Mengen an Glas zu finden sind.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Beschreibung der Altglasaufbereitungsanlage

Die Vetropack Austria GmbH betreibt in Pöchlarn eine Produktionsanlage für die Herstellung von Glasverpackungen. In der Glasproduktion werden Altglasscherben als Sekundärrohstoff genutzt, der Anteil des Altglases beläuft sich dabei auf über 60 % des Rohstoffeinsatzes. Zur Aufbereitung der Altglasscherben befindet sich am Standort auch eine Altglasaufbereitungsanlage, wobei sich der Durchsatz der Anlage auf ca. 25-30 t/h beläuft. Das angelieferte Altglas stammt zum größten Teil aus der Sammlung der Austria Glas Recycling GmbH und zu einem geringen Anteil von diversen Kleinanlieferern. Das Einzugsgebiet ist ganz Österreich. Die wesentlichsten Aufbereitungsschritte in der Anlage sind: Magnetscheider, mehrmalige Siebungen, manuelle Vorsortierung, Zerkleinerung, Leichtstoffabsaugung, Nichteisenmetallscheider und optische Sortierung (Keramik, Farbe des Glases). Ein übersichtliches Schema zur Altglasaufbereitungsanlage in Pöchlarn ist im Nachhaltigkeitsbericht der Austria Glas Recycling GmbH (AGR 2011) zu finden, in denen auch die einzelnen Outputfraktionen dargestellt sind. Ziel der Aufbereitung ist es, die folgenden typischen Störstoffe aus dem Altglas zu entfernen: Blechdeckel, Kronkorken, Banderoles, Etiketten und Korken. Aber auch Störstoffe, die man eigentlich zunächst nicht im Altglas vermuten würde, wie z.B. Kunststoffverpackungen, PET-Flaschen, Dosen, Textilien, Holz, Verbundmaterialien usw. werden im Zuge der Altglasaufbereitung entfernt.

Bei der Aufbereitung wird besonders auf die Freiheit der wannenfertigen Scherben von Störstoffen geachtet. Dieses Ziel steht vor dem Ziel eines hohen Ausbringens an Glas in den Scherben. Unaufgeschmolzene Keramiken und Aluminium, das Siliziumoxid in der Wanne zu Silizium reduziert, können zu Einschlüssen mit Spannung in Glasbehältern führen.

2.2 Ermittlung des Störstoffanteils im angelieferten Altglas

Für die Ermittlung des Störstoffanteils im Altglas wurde jeweils eine Tagesproduktionsmenge für Buntglas und Weißglas betrachtet. An diesen Tagen wurde darauf geachtet, typisches Inputmaterial in die Anlage zu fahren. Die Outputfraktionen der Anlage (z.B. Eisenmetalle, Nichteisenmetalle, KSP-Fraktion, Leichtstoffe, Überkorn etc.) wurden beprobt und anschließend sortiert bzw. chemisch analysiert. Zur Erstellung einer Massenbilanz über die gesamte Aufbereitungsanlage wurden sämtliche Outputfraktionen zudem verwogen. Ein Übersichtsschema zum experimentellen Versuchsablauf ist in Abb. 1 dargestellt.

Um den Tagesschwankungen bestmöglich zu begegnen, wurden Einzelproben für alle Outputfraktionen über einen ganzen Tag verteilt gezogen und diese getrennt voneinander sortiert bzw. analysiert. Für die meisten Fraktionen wurden drei Einzelproben als ausreichend betrachtet, bei einigen Fraktionen wurden – aufgrund der vermuteten Heterogenität – bis zu 9 Einzelproben genommen.

Die Probenahme selbst erfolgte manuell – je nach Zugänglichkeit mit der Hand oder einer Schaufel. Die Vorgehensweise der Probenahme wurde weitgehend an die Vorgaben der ÖNORM S 2127 angepasst. Abhängig von der Korngröße der einzelnen Fraktionen betrug die Menge der Einzelproben zwischen 2 kg und 14 kg.

Die Sortieranalysen wurden Großteils direkt vor Ort durchgeführt, nur die Fraktionen mit kleineren Korngrößen (z.B. Feinglas) wurden im Labor sortiert.

Bei Fraktionen mit kleineren Korngrößen (z.B. Feinglas) und den feinkörnigen Sortierresten der Sortieranalysen wurden folgende chemische Analysen durchgeführt:

- Bestimmung des Aschegehaltes in Anlehnung an ÖNORM EN 15403. Hierzu wurde die Probe im Muffelofen auf 550 °C für mehrere Stunden stufenweise er-

hitzt, um die Organik zu entfernen. Der verbleibende Rückstand entsprach dem Glasanteil der Probe.

- Bestimmung des Gehaltes an Biomasse bzw. Nicht-Biomasse in Anlehnung an ÖNORM EN 15440. Bei diesem Verfahren wurde die Biomasse, zu der beispielsweise biologische Abfälle, Papier/Pappe/Karton, Holz und bestimmte Textilien (z.B. Baumwolle) zählen, durch Zugabe von H_2SO_4 und H_2O_2 oxidiert. Die verbleibende Nicht-Biomasse (z.B. Kunststoffe) und der Inertanteil (Glas) wurden wiederum im Muffelofen bei $550^\circ C$ geblüht. Daraus waren einerseits der Anteil an Papier/Pappe/Karton und andererseits der Anteil an Kunststoffen in den Proben bestimmbar.

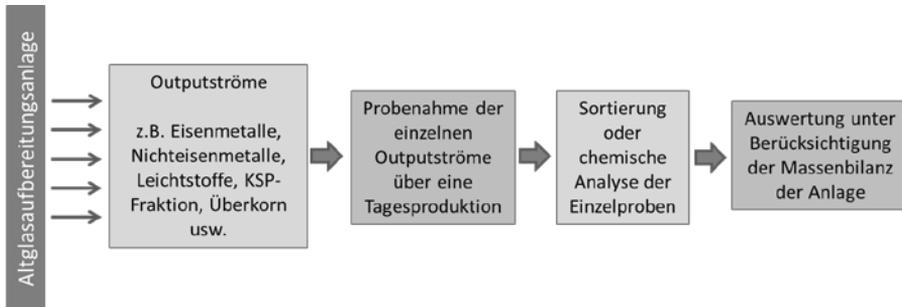


Abb. 1: Übersichtsschema zur experimentellen Vorgehensweise.

3 ERGEBNISSE

Aus den Ergebnissen der Sortieranalysen und chemischen Analysen der einzelnen Outputfraktionen und der Massenbilanz der Anlage wurden die tatsächlich im angelieferten Glas vorhandenen Glasanteile sowie Störstoffanteile berechnet. Diese werden in Tab. 1 aufgelistet.

Tab. 1: Anteil an Störstoffen in Bunt- und Weißglas.

Fraktion	Buntglas Anteil [%]	Weißglas Anteil [%]
Glasscherben und Feinglas (Anteil an Braunglas: 4,13 %)	98,47	98,49
Eisenmetalle (v.a. Verschraubungsdeckel, Kronkorken, Dosen)	0,17	0,29
Nichteisenmetalle (v.a. Schraubverschlüsse, Banderolen, Dosen)	0,70	0,34
PET-Flaschen	0,02	0,02
Grünglas	-	0,22
Grobkeramik (ohne Berücksichtigung des Keramikanteils der KSP-Fraktion)	0,02	0,03
Papier (v.a. Etiketten)	0,31	0,15
Kunststoffe (v.a. Kunststoffetiketten, Kunststoffbanderolen; exkl. PET-Flaschen)	0,27	0,23
Sonstiges (Textilien, Holz, Kunststoffverpackungen etc.)	0,04	0,23
SUMME	100,00	100,00

Abb. 2 zeigt den gesamten, theoretisch vorhandenen Störstoffanteil für Bunt- und Weißglas. Braunglas wurde – obwohl es in der Anlage aussortiert wird – zum Anteil der Glasfraktion gerechnet, da es bewusst in die Altglascontainer zu werfen ist und damit nicht als Störstoff gilt.

In Tab. 1 wurde lediglich der Anteil der Grobkeramik (z.B. große Tellerstücke, Teile von Blumentöpfen) ausgewiesen. Dieser berücksichtigt jedoch nicht den Anteil an

Keramik, Stein oder Porzellan (KSP), der in der KSP-Outputfraktion abgetrennt wird. Erfahrungsgemäß liegt der gesamte Anteil an Keramik/Stein/Porzellan im angelieferten Altglas bei etwa 0,3-0,6 %.

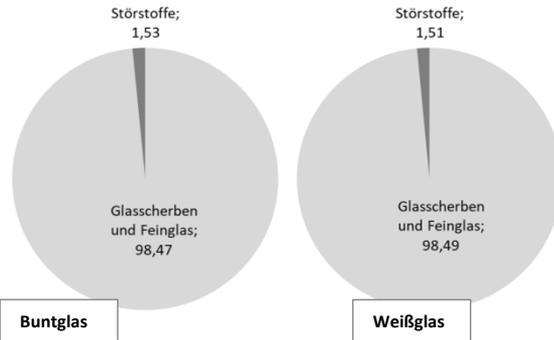


Abb. 2: Störstoffanteil in Bunt- und Weißglas.

In Abb. 3 sind die Anteile der einzelnen Störstoffe für Bunt- und Weißglas am Störstoffgehalt dargestellt. Der Anteil an Eisenmetallen ist im Weißglas deutlich höher als im Buntglas, während es sich bei den Nichteisenmetallen genau umgekehrt verhält. Grund dafür ist der hohe Weinflaschenanteil im Buntglas. Viele Weinflaschen haben Aluminium-Bänderolen. In Weißglas sind Großteils Konservengläser zu finden, die Blechdeckel aufweisen.

Der Anteil an Kunststoffen und PET-Flaschen sowie Grobkeramik ist für Bunt- und Weißglas sehr ähnlich. Auffällig sind auch der hohe Anteil an gewerbeähnlichem Abfall (Textilien, Holz, Kunststoffen) für Weißglas und der hohe Anteil an Papier bzw. Organik in Buntglas.

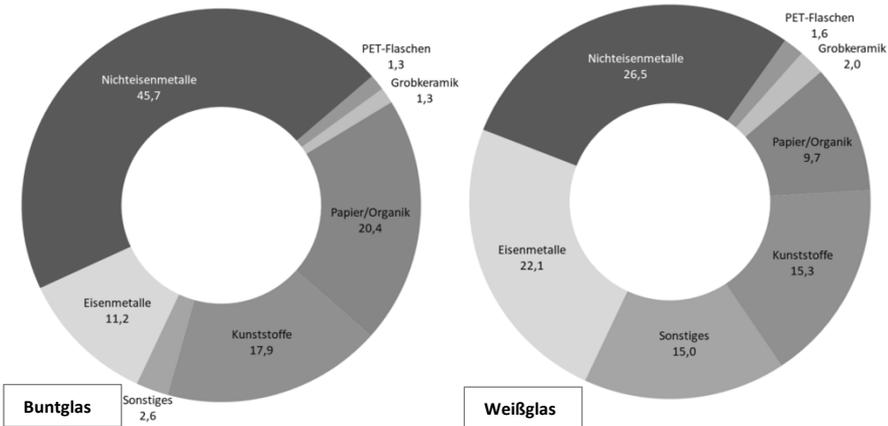


Abb. 3: Anteil der einzelnen Störstoffe am Gesamtstörstoffgehalt in Bunt- und Weißglas (ohne die Anteile an Grünglas in weißem Glas).

Der theoretisch verwertbare Glasanteil im angelieferten Altglas beträgt somit rund 94,34 % (Buntglas; ohne Anteil an Braunglas von 4,13 %) und 98,49 % (Weißglas). In der Praxis kann in der Altglasaufbereitung dieser theoretische Glasanteil nicht erreicht werden. Ein Teil des Glases verbleibt in den verschiedenen Outputfraktionen,

da das Glas im Zuge des Aufbereitungsprozesses nicht vollständig von Störstoffen abgetrennt werden kann. Der tatsächlich verwertbare Anteil beträgt ca. 87,58 % (Buntglas) und 95,78 % (Weißglas). Damit geht ein Anteil von 6,76 % Buntglas und 2,71 % Weißglas in den ausgeschleusten Störstoffen „verloren“. Wenn man diesen Anteil an Glas betrachtet, der während der Aufbereitung entgeht, so kommt der größte Teil bei der Abtrennung von Keramik/Stein/Porzellan (KSP) abhanden – mit rd. 89 % (Buntglas) und 63 % (Weißglas) (vgl. Abb. 4). KSP wird mittels Durchleuchtung sortiert. Eine mit einem Etikett versehene Scherbe ist gleich intransparent wie ein Keramikstück. Eine thermische Vorbehandlung wäre notwendig um den Aufschluss zu verbessern. Weitere Hauptverlustträger sind die Fraktionen NE-Metalle und die Eisenmetalle. Grund dafür ist, dass das Glas in Schraubverschlüssen oder Banderolen fest sitzt und beim Aufbereitungsprozess nicht aufgeschlossen werden kann (vgl. Abb. 5). Vieles vom restlichen Glas klebt bzw. haftet beispielsweise an Etiketten fest, die ebenfalls während der Aufbereitung abgetrennt werden (vgl. Abb. 6). Der in letzter Zeit festzustellende vermehrte Einsatz von Selbstklebeetiketten führt zu höheren Glasverlusten in der Aufbereitungsanlage.

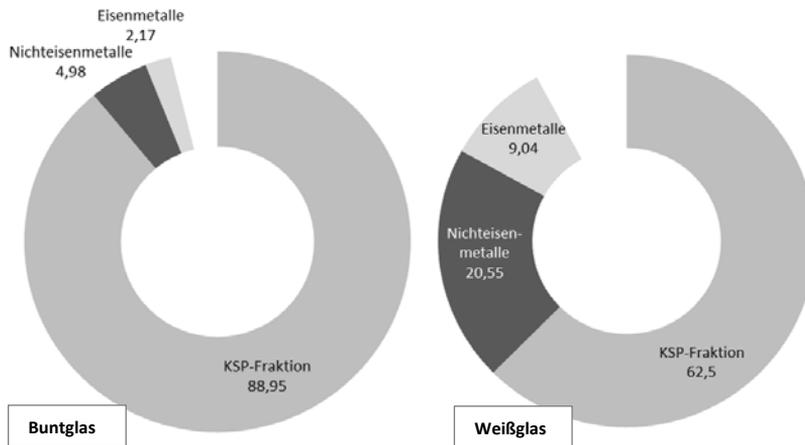


Abb. 4: Glasanteile in den einzelnen Outputfraktionen („Hauptverlustträger“).



Abb. 5: Glas, eingeschlossen in z.B. Flaschenverschlüssen oder Banderolen.



Abb. 6: Glasscherben kleben an Etiketten (links); Feinglas haftet an Etikettenresten (rechts).

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In Österreich werden jährlich ca. 132.700 Tonnen Buntglas und 92.900 Tonnen Weißglas gesammelt (AGR 2017). Auf Basis der Ergebnisse, die im Zuge dieses Projektes erhalten wurden, gehen rund 8971 Tonnen Buntglas (6,76 %) und 2518 Tonnen Weißglas (2,71 %) in abgetrennten Störstofffraktionen verloren. Ein großer Teil davon wäre vermeidbar, würde der Anteil der Störstoffe (v.a. Keramik/Stein/Porzellan) massiv verringern werden. Dabei sind in erster Linie die KonsumentInnen gefragt, die durch Unachtsamkeit, Faulheit oder Unwissenheit z.B. Flaschen oder Marmeladegläser inklusive Schraubverschluss in die Altglastonnen werfen. Wo doch Schraubverschlüsse sehr einfach entfernt werden könnten.

Die Projektergebnisse haben gezeigt, dass auch durch Fehlwürfe an Keramik/Stein/Porzellan größere Verluste an Glas einhergehen, die durch korrekte Abfalltrennung der ÖsterreicherInnen vermieden werden könnten. Denn eine Tonne fertig aufbereitetes Altglas darf nicht mehr als 20 g/t Keramik/Stein/Porzellan enthalten. Um dieses Ziel zu erreichen, sind die Trennsysteme in Aufbereitungsanlagen entsprechend sensibel eingestellt und tragen auch entsprechende Mengen an Glas mit aus. Auch die vermeidbaren anderen, offensichtlichen Fehlwürfe (PET-Flaschen, Grünglas in Weißglas, Kunststoffverpackungen, Textilien, Holz) zeigen, dass im Bereich der Abfalltrennung von Altglas noch immer nicht alle Verbesserungspotentiale ausgeschöpft wurden.

LITERATUR

- AGR (Austria Glas Recycling GmbH) (2011) Glasrecycling hat immer Saison – Aktualisierte Umwelterklärung, Nachhaltigkeitsbericht 2011. Wien.
- AGR (Austria Glas Recycling GmbH) (2013) Im Glascontainer blüht die Zukunft – Aktualisierte Umwelterklärung, Nachhaltigkeitsbericht 2013. Wien.
- AGR (Austria Glas Recycling GmbH) (2015) Vom Wachsen in Kreisläufen - Aktualisierte Umwelterklärung, Nachhaltigkeitsbericht 2015. Wien.
- AGR (Austria Glas Recycling GmbH) (2017) 40 Jahre Saubere Sache - Aktualisierte Umwelterklärung, Nachhaltigkeitsbericht 2017. Wien.
- FEVE (The European Glass Federation) (2013) Container Glass – Year 2013 - Collection for Recycling Rates in Europe. Link unter: <http://feve.org/glass-recycling-hits-73-eu/> (Zuletzt aufgerufen am 02.08.2018), Belgien.

Lebensmittelabfallvermeidung in der Landwirtschaft

E. Schmied, J. Mayerhofer & G. Obersteiner

Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Abfallwirtschaft, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Bereits in der landwirtschaftlichen Produktion fallen Ernteverluste bzw. Lebensmittelabfälle an. Dies hat sehr unterschiedliche Gründe, die von Boden- und Witterungsverhältnissen (wenig bis nicht beeinflussbar) über Erntetechnik und –methode (beeinflussbar) bis hin zu Handelsvorgaben und Marketingstandards reichen und eine wesentliche Einschränkung darstellen (Schmied et al. 2017). Bisherige Erhebungen wurden vorwiegend mittels qualitativer Befragungen mit Landwirten und Produzenten durchgeführt. Empirische Daten zu Ernteverlusten und Lebensmittelabfällen in der Landwirtschaft waren kaum vorhanden. Im Zuge des Projektes STREFOWA (gefördert durch die Europäische Union im Rahmen von EFRE Interreg) wurden Nachernteerhebungen bei unterschiedlichen Landwirten und für verschiedene Feldfrüchte durchgeführt um daraus ein Vermeidungspotenzial abzuleiten. Die Ergebnisse wurden mit Landwirten und anderen relevanten Stakeholdern diskutiert und gemeinsame Lösungsmöglichkeiten wurden eruiert.

1 EINLEITUNG

Gemäß einer Studie der Food and Agricultural Organization (FAO 2011) geht ungefähr ein Drittel der gesamten für den menschlichen Verzehr produzierten Lebensmittel weltweit verloren bzw. wird entsorgt. Das entspricht einer Menge von 1,3 Milliarden Tonnen. Allein in der EU werden jährlich rund 100 Millionen Tonnen Lebensmittel weggeworfen (Schätzung für 2012).

Lebensmittelabfälle fallen entlang der gesamten Wertschöpfungskette an, beginnend bei der landwirtschaftlichen Produktion über die Lebensmittelindustrie und -verarbeitung, den Handel, die Außer-Haus-Verpflegung bis hin zum Konsumenten.

Österreichweit ist die Datenlage zu Lebensmittelabfällen im Handel, in der Gastronomie und auch beim Konsumenten mittlerweile recht gut. Im Bereich der Landwirtschaft gibt es jedoch nach wie vor große Datenlücken, auch wenn in den letzten Jahren bereits einige Studien und Untersuchungen im Bereich der landwirtschaftlichen Produktion durchgeführt wurden.

Die Verluste in der Landwirtschaft entstehen aus unterschiedlichen Gründen, wie etwa das Nichternten aufgrund von Überproduktion, nicht optimaler Erntetechnik bis hin zu Verlusten durch Nichterfüllung vorgegebener Marketingstandards (Größe, Gewicht, Optik). Der Hauptgrund, der für die Nichternte bzw. die Nicht-Weitergabe genannt wird ist, dass die Produkte nicht den Handelsvorgaben entsprechen; bei Kartoffeln, Zwiebeln, Kraut beispielsweise mit über 50 % der nicht geernteten bzw. nicht weitergegebenen Menge (Hrad et al. 2016).

Eine Vermeidung bzw. Verringerung der Verluste aus der landwirtschaftlichen Produktion stellen somit auch einen gewissen Beitrag zur Lebensmittelabfallvermeidung dar.

Eine Methode zur Lebensmittelabfallvermeidung im landwirtschaftlichen Bereich ist die Nachernte. Darunter versteht man das Aufsammeln von Obst und Gemüse, das nach der eigentlichen Ernte auf den Feldern verblieben ist. Die nachgeernteten Produkte werden von den Sammlern selbst verwendet oder an karitative Organisationen weitergegeben.

In Österreich sind keine großflächig koordinierten oder nachhaltig aktiven Nacherntetätigkeiten bekannt. Im Rahmen des Projektes STREFOWA (gefördert durch die Europäische Union im Rahmen von EFRE Interreg), in welchem Vermeidungsoptionen von Lebensmittelabfällen entlang der gesamten Wertschöpfungskette analysiert und implementiert werden, soll die optimale Nacherntemethode für die Lebensmittelproduzenten eruiert und in Form von Pilotaktionen erprobt werden.

2 METHODE

In einem ersten Schritt wurden in empirischen Feldversuchen Daten zu auf den Feldern verbleibenden Mengen an Feldfrüchten erhoben. Neben den Erhebungen am Feld wurde im Sinne der Abfallvermeidung ein weiterer Fokus auf die Lagerrückstände bzw. die in den Lagern anfallenden Verlusten gelegt, die aber hier nicht weiter betrachtet werden.

2.1 Ablauf der Erhebungen am Feld

Nachernteaktivitäten fanden bei einem konventionellem und einem biologischen Betrieb statt. Insgesamt wurde auf 15 Feldern nachgeerntet und Daten zu sieben verschiedene Feldfrüchten erhoben. Dazu wurden die Felder in Zonen (Stichproben) eingeteilt, wobei die Länge einer einzelnen Zone die gesamte Feldbreite betrug und 1,5 m in die Breite ging. Die Zonen waren gleichmäßige über die gesamte Feldlänge verteilt. Diese Art der Erhebung hat den Vorteil, dass ein repräsentativer Querschnitt über das gesamte Feld genommen wurde, da auch Randzonen und Umkehrbereiche berücksichtigt wurden.

Nachgeerntet wurden nur ess- bzw. verwertbare Feldfrüchte. Die Ergebnisse können somit als untere Grenze des Nachernte- und Vermeidungspotenzials angenommen werden. Nach dem Aufsammeln der Früchte erfolgte der Transport ins Labor, um die Produkte zu verwiegen und zu klassifizieren. Anschließend wurden statistische Hochrechnungen durchgeführt.

2.2 Klassifizierung der erhobenen Feldfrüchte

Die Klassifizierung der nachgeernteten Feldfrüchte fand abhängig vom Produkt gemäß unterschiedlicher relevanter Regelungen statt, unter anderem gemäß EU-Verordnungen (VO Nr. 543/2011 ANHANG I Vermarktungsnormen gemäß Artikel 3, Teil A – Allgemeine Vermarktungsnorm bzw. VO Nr. 594/2013 mit Ergänzungen) bzw. UNECE Normen (z.B. FFV-10 bzw. FFV-25 für die Vermarktung und Qualitätskontrolle von Möhren bzw. Zwiebel) oder dem Bundesgesetzblatt 244. VO zur Vermarktung von Speisekartoffeln und weiteren. Die Einteilung erfolgte demgemäß in unterschiedliche, dem Ampelsystem angelehnte Kategorien. Als Beispiel wird hier die Frühkartoffel herangezogen (siehe Abb. 1):



Abb. 1: Klassifizierung Frühkartoffel.

In der Kategorie Marketing Standard müssen neben der Größe auch weitere Eigenschaften wie ganz, gesund, sauber, fest, frei von Beschädigungen, Fraßstellen u. ä. erfüllt werden.

Nach der Zuordnung zu den einzelnen Kategorien wurden die Produkte verwogen und auf Kilogramm pro Hektar extrapoliert.

3 ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNG

Insgesamt wurden 15 Nachernteaktionen mit sieben verschiedenen Feldfrüchten durchgeführt. Diese waren Kartoffel, Zwiebel, Rote Rüben, Sellerie, Schwarzwurzeln, Kürbis und Karotten.

Die Kartoffel wurden am häufigsten nachgeerntet sowie beim konventionellen und biologisch geführten Betrieb und werden hier im Detail dargestellt:

Tab. 1: Nachgeerntete Kartoffeln im konventionellen Betrieb.

Ergebnis	%-Anteil Ertrag
Gleaning-Potenzial	
F1 199 ± 30 kg/ha	< 0,5 %
F2 147 ± 24 kg/ha	< 0,5 %
F3 213 ± 18 kg/ha	0,5 %

Tab. 1 zeigt die hochgerechnete Masse der nachgeernteten Kartoffel und kommt zu einem durchschnittlichen Nacherntepotenzial von 190 kg/ha für den betrachteten konventionellen Betrieb. Das entspricht einem Anteil von 0,5 % des Gesamtertrages.

Zusammensetzung Nachernte Kartoffel (%), konventionell

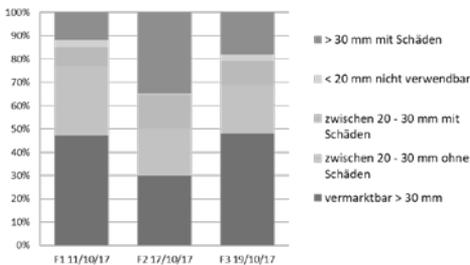


Abb. 2: Zusammensetzung der nachgeernteten Kartoffeln beim konventionellen Betrieb. F = Felderhebungstermine.

Bei Betrachtung der Zusammensetzung der klassifizierten Kartoffeln zeigt sich das zwischen 30 % und fast 50 % (dunkelgrüner Anteil) der Masse an nachgeernteten Feldfrüchten im konventionellen Betrieb den Marketingstandards entsprechen und problemlos verkauft werden könnten (Abb. 2). Bis zu 75 % (dunkel- und hellgrüner Anteil) sind potenzial nutzbar.

Beim biologisch geführten Betrieb sind die Ergebnisse bei den Kartoffeln in Hinblick auf die nachgeerntete Menge im Vergleich zum konventionellen Betrieb deutlich höher.

Tab. 2: Extrapolierte Mengen der nachgeernteten Kartoffeln im biologischen Betrieb.

Ergebnis	%-Anteil Ertrag
Gleaning-Potenzial	
F1 1.187 ± 68 kg/ha	-3 %
F2 1.200 ± 99 kg/ha	-3 %

Tab. 2 zeigt die hochgerechnete Masse und kommt zu einem durchschnittlichen Nacherntepotenzial von ca. 1.100 kg/ha, das einem Anteil von 3 % der Erntemenge entspricht.

Gründe für die wesentlich höhere Menge können sein, dass der biologisch geführte Betrieb im Gegensatz zum konventionellen Betrieb keine High-Tech Erntemaschine verwendet, wodurch offensichtlich auch kleinere Kartoffel mit geerntet werden, die beim konventionellen Betrieb bereits von der Erntemaschine am Feld ausgeschieden werden. Zusätzlich gab es auf einem Feld starken Schädlingsbefall, das zu einer relativ hohen Rückstandsmenge am Feld führt.

Von den nachgeernteten Kartoffeln im biologischen geführten Betrieb ist der prozentuell nutzbare Anteil (dunkel- und hellgrün) bei ca. 60 % (Abb. 3), was prozentuell geringer ist als beim konventionellen Anbau, jedoch einer größeren Gesamtmenge entspricht.

Zusammensetzung Nachernte Kartoffel (%), biologisch

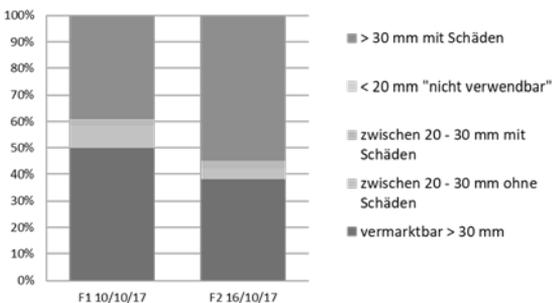


Abb. 3: Zusammensetzung der nachgeernteten Kartoffeln beim biologischen Betrieb. F = Felderhebungstermine.

Wie bereits erwähnt sind die Gründe für das Nicht-ernten mannigfaltig, und somit kann ausgehend von diesen Ergebnissen nicht auf andere konventionelle oder biologisch geführte Betriebe, Felder oder Feldfrüchte geschlossen werden.

Grundsätzlich ist unter Berücksichtigung der an dieser Stelle nicht erwähnten anderen erhobenen Feldfrüchte und hochgerechnet auf beispielsweise Gesamtösterreich ein wesentliches Abfallvermeidungspotenzial im landwirtschaftlichen Bereich erkennbar.

4 DANKSAGUNG

Die Analysen wurden im Rahmen des EU-Interreg Projektes STREFOWA (Strategies to reduce and manage food waste) durchgeführt, welches durch den European Regional Development Fund (ERDF) finanziert wird.

LITERATUR

- Hrad, M., Ottner, R., Obersteiner, G., Fink, R., Comploi, K. (2016) *Fortführung der Erhebung von Lebensmittelverlusten in der Landwirtschaft. Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VI/6*. 61 Seiten
- Schmied, E., Mayerhofer, J., Schwödt, S., Obersteiner, G. (2017) *GLEANING ACTIVITIES AS CONTRIBUTION TO FOOD WASTE REDUCTION*. In: Cossu R. and Stegmann R. (Eds.): *Sardinia 2017 - 16th International Waste Management and Landfill Symposium (2 - 6 October 2017, S. Margherita di Pula - Cagliari, Sardinia, Italy)*. Executive Summaries, CISA Publisher. ISBN 978-88-6265-0113. Full paper on USB.
- FAO (2011) *Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention*. Rome

Stoffliche Verwertung von Klärschlammaschen in der Düngemittelindustrie

A. Ragossnig, J. Maier & R. Hummel

RM Umweltkonsulten ZT GmbH, Frohnleiten / St. Veit a. d. Glan / Wien

E. Kohl

NGS Naturgas GmbH, Geschäftsführung, Strass, Steiermark

KURZFASSUNG: Phosphor ist ein essentieller und gleichzeitig nicht substituierbarer Nährstoff für das Leben auf der Erde. Die Phosphor-Lagerstätten konzentrieren sich auf geopolitisch instabile Regionen und die verfügbaren Phosphor Reserven werden zunehmend knapp. Eine wesentliche Senke für Phosphor in der Antroposphäre sind Klärschlämme, aus diesem Grund wird laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 (BAWP) eine Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen aus der Monoverbrennung angestrebt. Als bedeutendste Technologie für die Rückgewinnung werden nasschemische und thermochemische Verfahren angesehen. Um die Rechtmäßigkeit des Einsatzes von Klärschlammasche oder den daraus gewonnenen Phosphorprodukten sicherzustellen, müssen Vorgaben aus dem Abfall- und Düngemittelrecht sowie Chemikalienrecht berücksichtigt werden.

1 EINLEITUNG

Da Phosphor für die Nahrungsproduktion ein unverzichtbarer Mineralstoff ist und beinahe 90 % des Rohphosphats für diese Zwecke eingesetzt wird (Hempel, 2018), die Rohphosphat-Reserven jedoch begrenzt und von zunehmend hohen Schwermetallgehalten (Cadmium, Uran) belastet sind, wird eine Phosphorrückgewinnung aus kommunalen Klärschlämmen unter weitgehender Zerstörung bzw. Schaffung verlässlicher Senken für die enthaltenen Schadstoffe angestrebt. Eine Möglichkeit der Phosphorrückgewinnung bietet der Einsatz von Klärschlammasche als Substitution von Primärrohstoffen in der Düngemittelindustrie bzw. eine weitere Phosphorrückgewinnung aus der Asche.

2 RECHTSRAHMEN UND STOFFLICHE VERWERTUNG

Im Folgenden werden die Verwertungsmöglichkeiten von Klärschlammasche in der Düngemittelindustrie sowie der Rechtsrahmen dargestellt.

2.1 *Umweltpolitische Zielsetzung hins. Klärschlammbehandlung*

Der alle sechs Jahre herausgegebene Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP) legt in sogenannten Behandlungsgrundsätzen im Sinne eines generellen Gutachtens anzustrebende Verwertungsmaßnahmen für einzelne Abfallströme sowie die in diesem Rahmen einzuhaltenden umweltrelevanten Rahmenbedingungen fest.

In Kapitel 7.5 des im Dezember 2017 veröffentlichten Bundesabfallwirtschaftsplans 2017 wird ein Behandlungsgrundsatz hinsichtlich Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen definiert und die Strategie einer zukünftigen Klärschlammbewirtschaftung formuliert (Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft 2018).

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Abfällen stellt auch eine wesentliche Maßnahme für die Erreichung der Globalen Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (Agenda 2030) dar. Als vielversprechende Technologie wird dafür eine Monoverbrennung von Klärschlamm und somit eine Phosphorrückgewinnung aus der Verbrennungsasche angesehen. Bei thermischen Behandlungen von Klärschlämmen in Mitverbrennungsanlagen sind prinzipiell alle Bestimmungen der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) einzuhalten (Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2013)).

Es ist sicher zu stellen, dass eine langfristige landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm zu keiner Anreicherung von Schadstoffen im Boden führt. Belastete Klärschlämme sind grundsätzlich von einer Aufbringung ausgeschlossen. Voraussetzungen für eine zulässige Verwertung sind der Nutzen der Maßnahme und die Erfüllung eines konkreten Zwecks. Eine Aufbringung auf den Boden im Sinne einer landwirtschaftlichen Verwertung hat somit nur dann zu erfolgen, wenn der Klärschlamm reich an pflanzenverfügbaren Nährstoffen ist.

Als Beurteilungsgrundlage für die Zulässigkeit der Verwertung sind die Grenzwerte für Schwermetalle (Gesamtgehalte) der Kompostverordnung heranzuziehen. Eine landwirtschaftliche Aufbringung kann nur dann erfolgen, wenn eine ausreichende Hygienisierung des Klärschlammes vorgenommen wurde. Klärschlamm der durch die Zugabe von Kalk einen pH-Wert von 12 oder darüber erreicht, der entsprechend der Richtlinie „Stand der Technik der Kompostierung“ kompostiert wurde oder der getrocknet wurde, gilt als ausreichend hygienisiert (Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft 2018).

2.2 *Rechtliche Rahmenbedingungen aus dem Abfall- und Chemikalienrecht sowie Düngemittelrecht*

2.2.1 Abfallrecht

Das oberste Ziel der Abfallwirtschaft ist es schädliche Auswirkungen der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen zu vermeiden oder zu verringern, die Gesamtauswirkungen der Ressourcennutzung zu reduzieren und die Effizienz der Ressourcennutzung zu verbessern. Dementsprechend wurde eine Prioritätenreihung für abfallwirtschaftliches Handeln festgelegt, die der Verwertung von Abfällen vor einer Beseitigung den Vorrang einräumt. Laut Abfallwirtschaftsgesetz 2002 § 5 ist der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft ermächtigt, in Übereinstimmung mit den Grundsätzen und Zielen der Abfallwirtschaft, Verordnungen festzulegen, unter welchen Voraussetzungen, zu welchem Zeitpunkt und für welchen Verwendungszweck bei bestimmten Abfällen die Abfalleigenschaft endet, unter Wahrung der öffentlichen Interessen und unter Bedachtnahme auf die Vorgaben des Bundes-Abfallwirtschaftsplans. Eine derartige Verordnung ist nur dann zu erlassen, wenn die Sache üblicherweise für diesen Verwendungszweck eingesetzt wird, ein Markt dafür existiert, Qualitätskriterien, welche die abfallspezifischen Schadstoffe berücksichtigen, insbesondere in Form von technischen oder rechtlichen Normen oder anerkannten Qualitätsrichtlinien, vorliegen und keine höhere Umweltbelastung bzw. Umweltrisiko von dieser Sache ausgeht als von einem vergleichbaren Primärrohstoff oder einem vergleichbaren Produkt aus Primärrohstoffen (Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft 2002).

Die Regelungen des Abfallrechts bedingen, dass Klärschlammaschen, die aus geogenen oder prozesstechnischen Gründen definierte Grenzwerte für Kalk überschreiten, als gefährlicher Abfall einzustufen sind.

2.2.2 Düngemittelrecht

In Hinblick auf die Produktion und das Inverkehrbringen von Düngemitteln ist in Österreich das Düngemittelrecht anzuwenden. Der § 4 des Düngemittelgesetzes (DMG) 1994 besagt, dass folgende Stoffströme nicht unter den Geltungsbereich dieses Bundesgesetzes fallen: *Abfälle gemäß dem Abfallwirtschaftsgesetz 2002, ..., sowie die Verwertung von Abwässern und Abfällen, wie Klärschlamm, Klärschlammkompost, ...*

Seit der letzten Änderung des DMG im Zuge des Verwaltungsreformgesetzes fallen jedoch auch „Verbrennungsrückstände“ unter den Geltungsbereich des DMG, davor gab es laut § 4 des DMG 1994 eine explizite Ausnahme vom Geltungsbereich dieses Gesetzes für Verbrennungsrückstände.

Ein Düngemittel darf nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn entweder eine Zulassung per Bescheid vorliegt, oder das Düngemittel einem bestimmten Düngemitteltyp entspricht. Da Klärschlamm asche nicht zu den laut Düngemittelverordnung zugelassenen Ausgangsstoffen für organisch-mineralische Dünger zählt, muss ein Zulassungsverfahren nach § 9a des Düngemittelgesetzes – Zulassung per Bescheid – durchgeführt werden (Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft 1994).

Der Einsatz gefährlicher Abfälle als Ausgangsstoffe für die Düngemittelproduktion ist laut Düngemittelrecht ausgeschlossen. Da Kalk ebenfalls ein für die Düngemittelindustrie relevanter Stoff ist, wird aktuell überlegt, auch Abfälle, wo infolge des Kalkgehalts eine Einstufung als gefährlicher Abfall erforderlich ist, zuzulassen. Der aktuelle Rechtsrahmen eröffnet diese Möglichkeit nicht, hier besteht lediglich die Möglichkeit über ein Feststellungsverfahren eine Abfallendeklaration vorzunehmen.

2.2.3 Chemikalienrecht

Sobald ein „Stoff, Gemisch (Zubereitung) oder Erzeugnis“, für das der Abfallbegriff nicht zutrifft, in Verkehr gebracht wird, unterliegt dies dem Regelungsbereich der EU-Verordnung zur Registrierung, Evaluierung und Autorisierung von Chemikalien (kurz: REACH). Ein Unternehmen ist somit verpflichtet, Informationen über Eigenschaften sowie Verwendungszwecke der Stoffe, die in Mengen von über einer Tonne im Jahr hergestellt oder importiert werden, durch ein Sicherheitsdatenblatt und elektronisch über Registrierung bereitzustellen. Je nachdem welche Rolle ein Unternehmen in der Lieferkette (Hersteller- Importeur- nachgeschalteter Anwender- Händler) einnimmt, ergeben sich laut REACH unterschiedliche Verpflichtungen.

Hersteller müssen für ihren Stoff Daten zu Stoffeigenschaften und Expositionsmustern sammeln, die Sicherheit derer bewerten und gegebenenfalls Maßnahmen vorschlagen, um Risiken zu mindern und eine sichere Handhabung für alle nachgeschalteten Anwender entlang der gesamten Lieferkette sicherzustellen (Amt Europäisches Parlament und Rat 2006).

3 MÖGLICHE INTEGRIERTE ANLAGENKONZEPTE FÜR KLÄRSCHLAMM-BEHANDLUNG

Als vielversprechende Technologie für die Herstellung von Klärschlamm asche wird die Monoverbrennung angesehen. Der Klärschlamm muss zuvor einer thermischen Trocknung unterzogen werden, um den Heizwert des Materials zu erhöhen. Die Verfahren der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm asche lassen sich grundsätzlich in fünf Kategorien einteilen: nasschemisch, thermochemisch und elektrokinetisch. Verfahren sowie Bioleaching und die direkten Verwendung von Klärschlamm aschen als Ausgangsstoff für eine Düngemittelrezeptur, wobei die nasschemischen und thermochemischen Verfahren am häufigsten Verwendung finden. Beim nasschemischen Verfahren handelt es sich um eine Aufschließung der Asche mit Säuren oder Laugen.

Im Anschluss wird der Phosphor von den Schwermetallen durch Fällung, Ionenaustausch oder Solventextraktion abgetrennt. Zu den bekanntesten nasschemischen Verfahren zählen unter anderem Pasch, Leachphos, Sephos, und BioCon. Beim thermochemischen Verfahren erfolgt bei Temperaturen zwischen 1150-1250°C die Entfernung von Schwermetallen über die Bildung von Chloriden. Leichtflüchtige Metalle werden über die Gasphase abgeschieden, schwerflüchtige Metalle müssen über eine eigene flüssige Metallphase abgeschieden werden. Zu den Vertretern der thermochemischen Verfahren zählen ASH DEC, Mephrec, RecoPhos AT und das ATZ Eisenbadreaktor Verfahren (Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz Tagungsband 2017), (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft 2014).

4 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Die Monoverbrennung von Klärschlamm mit anschließendem Phosphor-Recycling in der Düngemittelindustrie stellt eine gute Möglichkeit der Phosphorrückgewinnung dar. Soll eine Klärschlammasche mit hohem Kalkgehalt in der Düngemittelindustrie als Ausgangsstoff eingesetzt werden ist im Rahmen eines Feststellungsverfahrens unter Nachweis der Nachfrage, Umweltverträglichkeit und Zulässigkeit der Verwertungsmaßnahme das Abfallende zu erklären. Um den Nachweis zu erbringen, dass keine Entledigungsabsicht besteht und somit der Abfallbegriff nicht mehr zutrifft, ist eine REACH-Registrierung als zwingendes Erfordernis für das Inverkehrbringen von Stoffen die Voraussetzung für das Erlangen des Abfallendes.

LITERATUR

- Amt Europäisches Parlament und Rat (2006) *Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EWG und 2000/21/EG der Kommission*, Wien.
- Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz Tagungsband (2017) *Vom Klärschlamm zu Phosphor – die Zukunft der Verwertung von Klärschlamm*.
- Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2018) *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017*, Wien.
- Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2013): *Abfallverbrennungsverordnung - AVV BGBl. I Nr. 127/2013 i.d.g.F.*, Wien.
- Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2018) *Bundesgesetz über eine Nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002) i. d. g. F.*, Wien.
- Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (1994) *Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln (Düngemittelgesetz 1994 - DMG 1994)*, Wien.
- Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2004) *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmung zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden (Düngemittelverordnung 2004)*, Wien.
- Hempel, M. (2018): *Kreislaufführung von Phosphor – aktuelle DBU-Projekte und Fördermöglichkeiten*, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Zugriff am 14.07.2018 unter https://www.dwa-no.de/files/_media/content/PDFs/LV_Nordrhein-Westfalen/phosphor/Hempel.pdf
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (2014) *Internationales Pilotprojekt zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen in Baden-Württemberg*, Phase 1, Baden-Württemberg.

Kreislaufwirtschaftspaket - Die Realität über Deponierung und End-of-Life-Vehicle-Recycling

B. Kummer & W. Beysiegel

Kummer umwelt:kommunikation GmbH, Rheinbreitbach, Deutschland

KURZFASSUNG: Nur ein Bruchteil der Altfahrzeuge in Deutschland wird in Deutschland verwertet, ein Großteil wird als Gebrauchtwagen exportiert, in nicht genehmigten Betrieben demontiert oder als Altfahrzeuge in ausländischen Anlagen mit niedrigeren Standards verwertet. Seit der Altfahrzeugverordnung beklagen Shredderbetreiber einen stark abnehmenden Anteil im Shredderinput. Die Menge der Altfahrzeuge mit unbekanntem Verbleib pro Jahr liegt in Millionenhöhe, der Materialwert der verlorenen Rohstoffe übersteigt eine Milliarde Euro. Ein Grundproblem stellt die schwierige Abgrenzungsfrage zwischen Abfall und Gebrauchtwagen dar. Die Richtlinie 2000/53/EG bildet auf europäischer Ebene eine Grundlage für das Management von Altfahrzeugen und enthält bereits Aspekte einer modernen Kreislaufwirtschaft. Auf nationaler deutscher Ebene bildet die Altfahrzeug-Verordnung eine rechtliche Grundlage. Die Umsetzungspraxis in der EU führt jedoch zu einigen Vollzugsproblemen. Wirtschaftliche Anreize wie eine Prämie für die Rücknahme und Rückgabe des Altfahrzeugs oder die Bescheinigung über die Straßentauglichkeit könnten mögliche Lösungsansätze darstellen.

1 EINLEITUNG

Für die Umsetzung der Altfahrzeug-Verordnung in Deutschland ist die Wirtschaft verantwortlich. Derzeit sind dies 5 Automobilhersteller, über 1.100 Demontagebetriebe, über 30 Shredderanlagen und einzelne Post-Shredder-Anlagen, die sich in Deutschland als „Wirtschaftsbeteiligte“ um die Umsetzung der Altfahrzeuggücknahme, -demontage und -verwertung kümmern. In den letzten Jahren wurden dreistellige Millionenbeträge in Shredder- und Postshreddertechnik investiert, um die ständig steigenden Anforderungen des Umweltrechts zu erfüllen. Beispielhaft zu nennen sind hier das Deponierecht, die Altfahrzeug-Verordnung, das Immissionsschutzrecht und einige andere Detailregelungen. Noch Ende der 90er Jahre sind jährlich etwa 1,8 Millionen Fahrzeuge in Deutschland verwertet worden, so wurden laut Kraftfahrt-Bundesamt 2006 von den etwa 3,8 Millionen stillgelegten Fahrzeugen noch etwa 540.000 in Deutschland verwertet und in 2014 waren es etwa 450.000. Die restlichen wurden als Gebrauchtwagen exportiert, in Deutschland in nicht genehmigten Betrieben demontiert oder als Altfahrzeuge in ausländischen Anlagen mit niedrigeren Standards verwertet. Die Shredderbetreiber sprechen von einem stark abnehmenden Anteil der Altfahrzeuge im Shredderinput im Vergleich zu einem Zeitraum vor der Altfahrzeug-Verordnung, der Anteil liegt zwischen 5 und 25 %. Trotzdem ist ein ganz erheblicher bürokratischer Aufwand zu leisten, um die noch in Deutschland verbliebenen und verwerteten Mengen statistisch zu erfassen. Die aktuellen Statistiken zeigen aus Sicht der Recyclingwirtschaft ein erschreckendes Bild. Auf der einen Seite werden zwar die Verwertungsquoten gemäß Altfahrzeugrichtlinie 2000/53/EC eingehalten, es ist aber auch eine Reihe von Fehlentwicklungen zu beobachten. (Klett 2016)

Das Ökoinstitut hat durch aufwändige Recherchen nun ermittelt, dass der unbekannt Verbleib von Altfahrzeugen in der EU 28 in den Jahren 2008 bis 2014 bei 3,5 Millionen bis fast 4,7 Millionen Fahrzeugen pro Jahr lag, wobei der Anteil in Deutschland von 2010 bis 2013 allein bei durchschnittlich etwa 1,25 Millionen Altfahrzeugen lag. Die

Datenermittlung war nach Aussage der Gutachter schwierig, weil es kein einheitliches Registrierungs- und Deregistrierungssystem gibt. Man geht davon aus, dass diese Fahrzeuge nicht ordnungsgemäß und schadlos verwertet werden und stattdessen über verschiedene Grenzen den EU-Markt in Richtung Afrika, Osteuropa oder arabische Staaten verlassen. (Ökoinstitut 2018)

Dies entspricht einem Materialwert von über einer Milliarde Euro jährlich, wenn man nur – konservativ betrachtet – den Schrottwert ansetzt, was einen erheblichen Rohstoffverlust für die europäische Metall- und Stahlindustrie bedeutet. Für den hohen Exportanteil gibt es verschiedene Gründe. Fehlende ökonomische Anreize für eine inländische Verwertung, mangelnder Vollzug der gesetzlich verlangten Vorlage eines Verwertungsnachweises bei endgültiger Abmeldung eines Altfahrzeuges, fehlende Sanktionsmöglichkeiten bei nicht vorgelegtem Verwertungsnachweis, zahlreiche illegal betriebene Lagerplätze sowie eine nicht funktionierende länderübergreifende Kooperation zwischen Polizei und Zoll. Nach Aussage der Vollzugsvertreter (mündliche Mitteilung diverser Behördenvertreter der EU-Staaten) ist in der Regel bei den Altfahrzeugen, die in den Export gehen sollen, die Betriebsbereitschaft nicht vorhanden, die Betriebssicherheit nicht mehr gegeben und die Reparaturkosten übersteigen den aktuellen Zeitwert. Ein Grundproblem stellt die schwierige Abgrenzungsfrage zwischen Abfall und gebrauchtem Produkt dar. Ist das exportierte Fahrzeug noch ein Gebrauchtwagen und unterliegt damit nicht dem Abfallrecht, kann es ohne Genehmigung exportiert werden, ist es jedoch bereits Abfall und enthält noch Flüssigkeiten, muss der geplante Export notifiziert werden. Dies wird im Folgenden anhand vorliegender rechtlicher Grundlagen aus europäischer und nationaler Sicht näher beleuchtet.

2 DIE EUROPÄISCHE RECHTSLAGE

Die Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. September 2000 zu Altfahrzeugen soll das angemessene Management der jährlich etwa 8 bis 9 Millionen Tonnen Altfahrzeuge gewährleisten. Dabei geht die Richtlinie nicht vom Ideal einer Shredderbehandlung aus, sondern sieht vor, dass Wiederverwertung und Recycling gefördert werden sollen, sowie die Verwendung toxischer Materialien schon bei der Produktion minimiert werden sollen. Obwohl schon in die Jahre gekommen, verfolgt die Richtlinie damit bereits einen bemerkenswerten modernen Ansatz der Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung, das „Eco-design“, der Aufarbeitung von Fahrzeugteilen und deren Wiederverwendung und entspricht damit weitgehend den Anforderungen an eine moderne Kreislaufwirtschaft.

In der 2014 vorgelegten Studie (European Commission 2014) zur „Ex Post-Evaluation“ der Altfahrzeugrichtlinie wurde bereits darauf hingewiesen, dass ein zentrales Problem der Richtlinie darin besteht, dass sie keine eigene Definition des Altfahrzeugs enthält, sondern stattdessen lediglich auf die allgemeine Abfalldefinition des Art. 3 Nr. 1 Abfallrahmenrichtlinie verweist. Der allgemeine Abfallbegriff ist weit und enthält das subjektive Tatbestandsmerkmal des Entledigungswillens. Auf diesem Weg lässt sich die Abfalleigenschaft eines Altfahrzeugs flexibel interpretieren. Wenn sich nicht ausnahmsweise eine Entledigungsnotwendigkeit ergibt, wie zum Beispiel bei einem ausgebrannten oder einem durch einen schweren Unfall völlig demolierten Fahrzeug, lässt sich immer argumentieren, dass es sich mangels Entledigungswillens nicht um Abfall, sondern ein instandsetzungswürdiges Gebrauchtfahrzeug handelt. Diese Umstände sind nicht hilfreich, wenn eine statistisch saubere Abgrenzung zwischen Gebrauchtfahrzeug und Altfahrzeug im Sinne von Abfall nötig wäre.

Angesichts einer alleine in der EU-25 im Jahr 2010 angefallenen Menge von 14 Millionen Altfahrzeugen ist offensichtlich, dass man sich auf dem bisher Erreichten nicht wird ausruhen können und Handlungsbedarf insbesondere im Bereich der Klärung des Verbleibs von jährlich Millionen aus der Statistik verschwundenen Altfahrzeugen

besteht. Dies ist gerade im Hinblick auf den Umbau einer linearen Wirtschaft in eine Kreislaufwirtschaft eine vordringliche Aufgabe. Altfahrzeuge sind ja nicht nur Rohmaterial, das in einem Recyclingprozess zurückgewonnen werden muss, sondern sie enthalten vor allem eine große Anzahl von Teilen, die ausgebaut und aufbereitet werden können, um danach mit voller Garantie als Ersatzteile verbaut werden zu können. In diesem Segment der Aufbereitung von Fahrzeugteilen liegt ein für die Kreislaufwirtschaft erhebliches Potential, das die obersten Bereiche der Abfallhierarchie, die Vorbereitung zur Wiederverwendung, bedient. Um diese Teile verfügbar zu machen, müssen die Fahrzeuge aber im Land bleiben.

Die Kommunikation zur Kreislaufwirtschaft vom 2.12.2015 (Europäische Kommission 2015) sieht vor, sich stärker gegen die illegale Verbringung von Altfahrzeugen zu engagieren. Ein Pfandsystem auf Kraftfahrzeuge wäre ein wirtschaftliches Steuerungsinstrument, das verspricht, besser gegen illegale Verbringung zu wirken als stärkere Kontrollen und ähnliche Maßnahmen, die sowohl höhere Gemeinkosten verursachen als auch eine zweifelhafte Wirkung versprechen. Pfandsysteme haben sich bereits in verschiedenen Mitgliedstaaten für andere Produkte bewährt: Einweg-Verpackungen in Deutschland, Elektronikschrott und Batterien in der Schweiz etc. Die norwegische Altautoverordnung sieht ein Erstattungssystem für nach 1977 zugelassene Altfahrzeuge vor. Diese Regelung wurde für notwendig erachtet, um zu verhindern, dass Altfahrzeuge in dem wenig dicht besiedelten Land illegal entsorgt werden. Man wird sich zumindest die Frage stellen müssen, weshalb diese Spielart der Produzentenverantwortung nicht in den 28 EU-Mitgliedstaaten Schule macht, wenn sie dazu führt, dass Altautos ressourcenschonend in Europa verwertet werden.

3 DIE NATIONALEN DEUTSCHEN VORGABEN

Für die Beantwortung der Abgrenzungsfrage zwischen Gebrauchtwagen einerseits und Altfahrzeugen andererseits sind die gesetzlichen Anforderungen in der Verordnung über die Überlassung, Rücknahme und umweltverträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen (Altfahrzeug-Verordnung - AltfahrzeugV) in den Blick zu nehmen.

Diese Verordnung wurde erlassen auf der Grundlage der dazu im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) vorgesehenen Vorschriften über die Produktverantwortung (§§ 23 bis 27 KrWG). Die Produktverantwortung umfasst insbesondere die Entwicklung, die Herstellung und das Inverkehrbringen von Erzeugnissen, die zur Erfüllung der Ziele der Kreislaufwirtschaft mehrfach verwendbar, technisch langlebig und nach Gebrauch zur ordnungsgemäßen, schadlosen und hochwertigen Verwertung sowie zur umweltverträglichen Beseitigung geeignet sind (§ 23 Abs. 2 Nr. 1 KrWG), den vorrangigen Einsatz von verwertbaren Abfällen oder sekundären Rohstoffen bei der Herstellung von Erzeugnissen (§ 23 Abs. 2 Nr. 2 KrWG), die Kennzeichnung von schadstoffhaltigen Erzeugnissen, um sicherzustellen, dass die nach Gebrauch verbleibenden Abfälle umweltverträglich verwertet oder beseitigt werden (§ 23 Abs. 2 Nr. 3 KrWG), den Hinweis auf Rückgabe-, Wiederverwendungs- und Verwertungsmöglichkeiten oder -pflichten und Pfandregelung durch Kennzeichnung der Erzeugnisse (§ 23 Abs. 2 Nr. 4 KrWG) sowie die Rücknahme der Erzeugnisse und der nach Gebrauch der Erzeugnisse verbleibenden Abfälle sowie deren nachfolgende umweltverträgliche Verwertung oder Beseitigung (§ 23 Abs. 2 Nr. 5 KrWG).

3.1 System der Produktverantwortung nach der Altfahrzeug-Verordnung

Mit diesem System der Produktverantwortung betreffend Altfahrzeuge sind im Wesentlichen die Rücknahmepflichten der Hersteller von Fahrzeugen sowie die Ausgestaltung dieser Rücknahmepflichten angesprochen. Diese Rücknahmepflichten der Hersteller gelten für alle Altfahrzeuge ihrer Marke vom Letzthalter oder vom öffentlich-

rechtlichen Entsorgungsträger in den Fällen, in denen der Halter oder Eigentümer des Kraftfahrzeugs nicht festgestellt werden konnte (§ 3 Abs. 2 AltfahrzeugV).

4 DIE SCHWIERIGE UMSETZUNGSPRAXIS IN DEN MITGLIEDSTAATEN DER EU

Die grenzüberschreitende Verbringung von nicht schadstoffentfrachteten Altfahrzeugen in EU-Mitgliedstaaten sowie in OECD-Staaten, bedarf gemäß der Verordnung (EG) Nr.1013/2006 über die Verbringung von Abfällen einer Notifizierung und Bewilligung seitens der jeweils zuständigen Behörden in den an der grenzüberschreitenden Verbringung beteiligten Staaten (Erzeugerstaat, Empfängerstaat, Transitstaaten). Die Ausfuhr von nicht trockengelegten Altfahrzeugen in Nicht-OECD-Beschluss Staaten ist verboten. Im Falle der grenzüberschreitenden Verbringung von Gebrauchtfahrzeugen können schriftliche Nachweise zur Dokumentation der Nichtabfalleigenschaft herangezogen werden (Technische Gutachten eines Sachverständigen für KFZ-Technik oder vollständig ausgefüllte Bescheinigung über die Reparierbarkeit eines Fahrzeuges nach Anhang 3 zu den EU-Anlaufstellenleitlinien Nr. 9), diese sind gemäß österreichischen Rechts bereits verbindlich. Die Praxis sieht jedoch teilweise anders aus, wie aus zahlreichen Fällen in Deutschland und anderen Mitgliedstaaten berichtet wird. Fahrzeuge werden vordemontiert, halbiert oder als gesamtes Altfahrzeug in Containern verschifft, nach Osteuropa oder in afrikanische Staaten exportiert, dort wieder gemäß regionalem Recht „straßentauglich“ gemacht und noch gefahren.

Bei einem seit langem bekannten Fall in Essen treten massive Vollzugsprobleme auf, die es nach Auskunft der Behördenvertreter schwierig machen, den Betrieb still zu legen. Gleichzeitig zeigt sich die Ohnmacht der Behörden, gegen illegalen Betrieb von Anlagen und Export vorzugehen: „Der Eigentümer vermietet Grundstücke als Lagerfläche an afrikanische Geschäftsleute, die Grundstücke werden parzelliert und an afrikanische Landsleute, die häufig mit Touristenvisa einreisen, untervermietet. Bei behördlichen Kontrollen sind die Parzellen verschlossen, und es wird niemand angetroffen. Die Fahrzeuge und Autoteile für den Export werden in den späten Abendstunden oder am Wochenende verladen und abtransportiert. Aufgrund der mangelnden Personalausstattung und des umfangreichen Aufgabenspektrums seitens der Vollzugsbehörde ist keine kontinuierliche Kontrolle möglich. Es wird festgestellt, dass auf den Grundstücken Demontearbeiten an Kraftfahrzeugen stattfinden, die verantwortlichen Personen sind jedoch schwer zu ermitteln, die Vermieter geben sich auf Nachfrage ahnungslos und berufen sich auf ihre Mietverträge als Lagerplatz. Durch das Verschweißen und Zuschäumen der Fahrzeuge ist ohne Öffnung der Fahrzeuge nicht zu kontrollieren, ob sich dort Güter befinden, die nicht exportiert werden dürfen. Durch fehlende Qualifikation zur Beurteilung, ob es sich um ein Altfahrzeug oder einen Gebrauchtwagen handelt, ist unklar, ob eine Exportnotifizierung zu erfolgen hat. Beim Umweltamt sind zudem keine Grundstücke vorhanden, um sichergestellte Fahrzeuge zu lagern. Aufgrund der Menge der Fahrzeuge ist die Bestellung eines Gutachters zur Begutachtung der Fahrzeuge aus Kostengründen nicht möglich.“ Ausgehend von der unbefriedigenden Rechtslage einer eindeutigen Abgrenzung von Altfahrzeug als Abfall gegenüber Gebrauchtwagen ist eine Grauzone entstanden, in der sich auch in Deutschland massive Umweltgefährdungen ereignen können. Durch die unsachgemäße Demontage von Altfahrzeugen treten bisweilen signifikante Bodenverunreinigungen und eine damit verbundene potenzielle Wassergefährdung auf. Die damit verbundenen Kosten für Sanierungsmaßnahmen, müssen von den Kommunen übernommen werden, wenn die Eigentümer der Grundstücke keine Haftung übernehmen. Die Übernahme der Kosten durch den kommunalen Haushalt könnte aufgrund fehlender Liquidität allerdings in vielen Fällen scheitern. An diesem beschriebenen Fall wird deutlich, wie schwer sich Vollzugsbehörden bei der Anwendung bestehender

Rechtsvorschriften tun. Eine effektive Lösung wäre also auf wirtschaftlicher Ebene zu suchen, welche eine illegale Lagerung, Demontage und Verbringung von vornherein unattraktiv macht. (Klett 2016)

Doch es gibt weitere Umsetzungsschwierigkeiten in der Praxis, erste Erfahrungen mit der Umsetzung der Altfahrzeuggesetzgebung in der EU wurden im Rahmen eines von der EU finanzierten Forschungsvorhabens veröffentlicht. Ein weiteres Vorhaben bezogen auf Rheinland-Pfalz beschäftigte sich mehr mit der Anwendung des Verwertungsnachweises. Der Verwertungsnachweis stellt ein wichtiges Instrument im Rahmen der Altfahrzeuggesetzgebung dar, spielt in der Praxis aber nur eine untergeordnete Rolle. Dieser Nachweis wird bei der endgültigen Stilllegung ausgestellt. So heißt es im § 4 Abs. 2 AltfahrzeugV: „Betreiber von Demontagebetrieben sind verpflichtet, die Überlassung nach Absatz 1 unverzüglich durch einen Verwertungsnachweis zu bescheinigen. Verwertungsnachweise dürfen nur von Betreibern anerkannter Demontagebetriebe ausgestellt werden. Betreiber von Demontagebetrieben dürfen nur anerkannte Annahmestellen oder anerkannte Rücknahmestellen beauftragen, den Verwertungsnachweis auszuhändigen. Mit Ausstellung oder Aushändigung des Verwertungsnachweises dürfen Altfahrzeuge nur einer ordnungsgemäßen Verwertung nach den Vorschriften dieser Verordnung zugeführt werden. Dieses wird mit Ausstellung oder Aushändigung des Verwertungsnachweises versichert.“

In den Ergebnissen der Untersuchung von Ökopol und Wuppertalinstitut (2016) für das Land Rheinland-Pfalz zum Stand der Altfahrzeugverwertung in 2016, ist dargestellt, dass auch der Verwertungsnachweis kein geeignetes Instrument darstellt, um bei der Abgrenzungsfrage eine Hilfestellung zu geben. Der Verwertungsnachweis soll zum einen eine Steuerungswirkung entfalten, indem er die ordnungsgemäße Verwertung von Altfahrzeugen in anerkannten Demontagebetrieben sicherstellt, zum anderen Informationen über den Verbleib von Altfahrzeugen generieren.

Auf Grundlage der in diesem Projekt erhobenen Daten und der Erkenntnisse aus dem UBA-Verbleibs-Projekt wurde die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das Instrument Verwertungsnachweis diese erhofften Wirkungen derzeit nur unzureichend erfüllt. Nur für ca. 4,1 % der in Rheinland-Pfalz verwerteten Altfahrzeuge wurde bei oder nach Außerbetriebsetzung ein Verwertungsnachweis genutzt. Auf ganz Deutschland bezogen sind es 10 % der im Jahr 2013 laut Abfallstatistik in anerkannten Demontagebetrieben verwerteten Altfahrzeuge, die mit einem Verwertungsnachweis außer Betrieb gesetzt wurden oder für die nachträglich ein Verwertungsnachweis (VN) vorgelegt wurde (pers. Komm. mit KBA am 11.06.2015). Folgende Hemmnisse wurden im Rahmen des rheinland-pfälzischen Vorhabens identifiziert:

- Der Verbleib von außer Betrieb gesetzten Fahrzeugen ergibt sich oftmals erst nach einer Außerbetriebsetzung (AuBS). Im Falle der Ausstellung eines VN für ein Altfahrzeug durch einen Demontagebetrieb liegt ein solcher somit in vielen Fällen erst nach der AuBS vor.
- Die Motivation zur nachträglichen Vorlage eines VN bei der Kfz-Zulassungsstelle ist bei den meisten Letzthaltern in der Regel sehr gering.
- Zudem fragen Kfz-Zulassungsstellen die Letzthalter im Rahmen einer Außerbetriebsetzung nicht immer konsequent nach dem Vorliegen eines VN fragen.
- Zudem fehlt den Kfz-Zulassungsstellen die Möglichkeit der Überprüfung, ob entgegen der Nichtangabe doch ein Verwertungsnachweis vorliegt.
- Anerkannte Demontagebetriebe stellen nicht konsequent für angenommene Altfahrzeuge einen Verwertungsnachweis aus.
- Für Fahrzeuge, die ab dem 01.01.2015 neu zugelassen oder umgemeldet wurden, besteht die Möglichkeit einer Online-Außerbetriebsetzung. Die Angabe eines Verwertungsnachweises zählt jedoch bislang nicht dazu. Dies bedeutet, dass Letzthalter, die einen vorliegenden Verwertungsnachweis angeben wollen, einen

erhöhten Aufwand haben, da sie dies nur bei einer Kfz-Zulassungsstelle tun können. (Ökopol & Wuppertal-Institut 2016)

Zusammenfassend lässt sich damit sagen, dass das Instrument des Verwertungsnachweises nicht geeignet ist für eine Verbleibskontrolle und kein Anreiz für eine ordnungsgemäße Rücknahme darstellt.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Umsetzung der Altfahrzeugrichtlinie ist bis heute nicht zufriedenstellend. Die Verwertungsquoten werden zumindest in Deutschland eingehalten, jedoch ist die Gesamtzahl der ordnungsgemäß und schadlos verwerteten Altfahrzeuge völlig unzureichend. Zahlreiche Fehlentwicklungen, die sich im Wesentlichen aus unzureichenden Abgrenzungskriterien für „Abfall“ und „Gebrauchtwagen“ und fehlendem Vollzug in fast allen Mitgliedstaaten ergeben, müssen Behörden und Politik zu weiteren Maßnahmen aufrufen. Regionale Vollzugsbehörden müssen stärker kontrollieren und politische Vertreter auf nationaler und EU-Ebene sind aufgerufen, rechtsverbindliche und eindeutige Vorgaben zu erlassen. Um verschiedene neue Instrumente einzuführen und eine Richtlinienänderung herbei zu führen, ist eine frühzeitige Stakeholderdiskussion auf europäischer Ebene von der EU-Kommission anzustoßen. Als neue Instrumente und Maßnahmen würden sich eignen:

- Technische Tauglichkeit (Straßentauglichkeit) beim Export von unabhängigen Sachverständigen bescheinigen lassen,
- Vorlage einer Versicherung für einen Gebrauchtwagenexport,
- Kriterien für die Charakterisierung eines „Gebrauchtwagen“ aus Anlaufstellenleitlinien Nr. 9 als Basis rechtsverbindlich in Richtlinie übernehmen,
- KFZ-Steuer an die endgültige Abmeldung koppeln,
- Beweislastumkehr wie für den Export von Elektro- und Elektronikaltgeräten einführen und
- Finanziellen Anreiz für die Rücknahme und Rückgabe des Altfahrzeugs einführen.

Es ist schon an anderer Stelle festgestellt worden, dass wirtschaftliche Instrumente nottun, um Kreislaufwirtschaft in Gang zu bringen.

LITERATUR

- European Commission – DG Environment (2014), Ex-post evaluation of certain waste stream Directives-Final report
- Europäische Kommission (2015) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft
- KBA (2015) Persönliche Kommunikation mit Kraftfahrt-Bundesamt am 11.06.2015
- Klett, Kummer, Maurer (2016) Abgrenzung Altfahrzeuge – Gebrauchtwagen, Behörden und Unternehmen machtlos?
- Ökoinstitut (2018), Assessment of the implementation of Directive 2000/53/EU on End-of-Life vehicles with emphasis on the end-of-life vehicles of unknown-whereabouts
- Ökopol & Wuppertal Institut (2016), Verwertung von Altfahrzeugen in Rheinland-Pfalz
- Umweltbundesamt (2017) Entwicklung von Lösungsvorschlägen, einschließlich rechtlicher Instrumente, zur Verbesserung der Datenlage beim Verbleib von Altfahrzeugen

Waste Management 4.0 - Optimization of Waste Collection and Recycling Logistics in Irkutsk (Russia)

O.V. Ulanova & M.A. Shevela

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

ABSTRACT: Waste management 4.0 is an integral part of the smart city development concept. This article analyzes functions and practical significance of the Municipal Automated MSW Information Processing System in Irkutsk, Russia (hereinafter AIPS WASTES). The system controls all municipal waste management operations from waste collection to municipal SHW dumping and recyclable material. The database was created in 2000. It is being annually updated in accordance with amendments to the legislation. As of November 22nd, 2017, the database contains data on 33,817 natural resource users (private entrepreneurs and companies), 5,471 waste collection facilities, and waste transportation companies.

1 INTRODUCTION

Waste management 4.0 provides the rational use of natural and technical resources, maximized energy saving efficiency, secondary processing of all wastes, and the production of new products, raw materials, or energy from them. Waste management 4.0 is an integral part of the smart city development concept.

In 2014, the amendments for the Federal Law FZ 89 “On production and consumption waste” were made to provide the legal basis for the new state regulation system in the sphere of MSW management. This reform includes the implementation of the regional waste flow management and the policy of extended responsibility of consumer goods and packaging producers. In 2016, the territorial waste management schemes were developed and approved by the subjects of the Russian Federation.

Currently, in pursuance of the Order of the Russian Federation Government, the following updates are being made in the unified state information system for waste registration:

- the integration of electronic models of the territorial waste management schemes and their balances of turnover in the subjects of the Russian Federation;
- the development of the regional registration systems based on the automated input of the weight control information from municipal solid waste utilization and disposal facilities and the data on waste transportation.

2 WASTE MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS (WMIS)

2.1 *WMIS Structure and Functioning*

According to the Russian and foreign experience, the efficient organization of the waste management system in a current smart city starts from the development of a waste management information system (WMIS).

The problem of the waste registration automation can be solved by developing WMIS as a complex structure of information flows, economic-mathematical methods and models, technical, program, and other technological means, and specialists operating it.

The WMIS development is performed with consideration of economic, environmental, and social factors that affect the waste management efficiency (Vaysman et al. 2013). An automated information processing system for municipal solid waste (MSW) registration must include the following parameters (Shevela & Ulanova 2017):

1. calculation of the amounts of waste produced by consumers (legal entities of all forms of ownership, individual entrepreneurs, and the housing stock according to the information provided by managing organizations) based on the waste generation limits;
2. attribution of the calculated amounts of waste to a waste accumulation facility (collection site);
3. calculation of the payment rates for the negative environmental impact, in case it is not considered in the common tariff by the regional waste management operator and for the subsequent recalculation in case waste is recycled/utilized;
4. scheduling and routing (transport logistics);
5. secondary material resource flow control;
6. EPR (extended producer responsibility) elements;
7. registration of organizations certified for waste management activities;
8. control of the activities of the regional operator and contractor operators.

2.1.1 Functional and Practical Significance of WASTES AIPS

The unified automated information processing system for registration of solid municipal waste generated in the city of Irkutsk (hereinafter referred to as WASTES AIPS) is a complex of means of communication, software, information resources (integrated databases), and qualified staff. The system is aimed at automating the processes of waste collection, production registration, accumulation, utilization, transportation, and disposal.

WASTES AIPS regards the Irkutsk city as a complex of basic systems:

- territory (electronic city map showing the locations of collection sites);
- city population (objects of multifamily housing stock are attributed to collection sites depending on availability, managing organizations specified);
- individuals and legal entities (enterprises, institutions, and organizations performing activities in the city);
- specialized organizations providing waste management services (collection, transportation, processing, utilization, disposal/landfilling).

The system work algorithm is as follows: data input into the information system can only be carried out by WASTES AIPS specialists; on a daily basis, nature users (organizations) performing activities in the Irkutsk city, provide data to these specialists (data from 4,500 nature users are received yearly, all tenants and departments located in the Irkutsk city displayed).

In online mode, the methodical calculation of the generated amount of waste is performed (with consideration of the accumulation limits), the information is input in the database, where the amounts of waste generated by enterprises, organizations, and their tenants and departments are attributed to waste accumulation facilities (container sites).

Based on the provided data, a contract is concluded with the operator that maintains a specific container site.

In addition, the WASTES AIPS database considers the information on waste from the housing stock and the number of registered citizens provided by managing organizations, homeowner associations (HOAs), etc. In this case, the accumulation limits per house are calculated with consideration of the SMW accumulation limit for 1 person/year with the subsequent attributing of the waste generation rates to a waste accumulation facility.

This system makes it possible to fully control the waste management process in the Irkutsk city from waste accumulation facilities to the final waste disposal at the city landfill for MSW with consideration of secondary material resources or secondary raw materials (SMR) to be utilized. The database has been successfully implemented since 2000 and is improved yearly in accordance with the tendencies and changes in the current legislation. As of June 15, 2018, the database contains the data on 36,867 organizations (enterprises), 5,471 waste accumulation facilities and 747 waste operator vehicles.

The uniqueness of WASTES AIPS also consists in the fact that it is connected in real-time mode to the only solid municipal waste landfill in the Irkutsk city.

2.1.2 Implementation of the Regional Solid Municipal Waste Management Operator Institution

The implementation of the new waste management system in Russia directly managed by the regional operators is focused on ordering the waste management activities, from the collection and the MSW generation data registration to the use of new environmentally oriented systems providing the integrated waste management service.

The main documents regulating the regional operator activities are the territorial waste management scheme and the regional program in the sphere of waste management. The scheme of interaction of the regional operator with nature users (legal entities and individual entrepreneurs) and individuals on waste and SMR management is shown in Fig. 1.

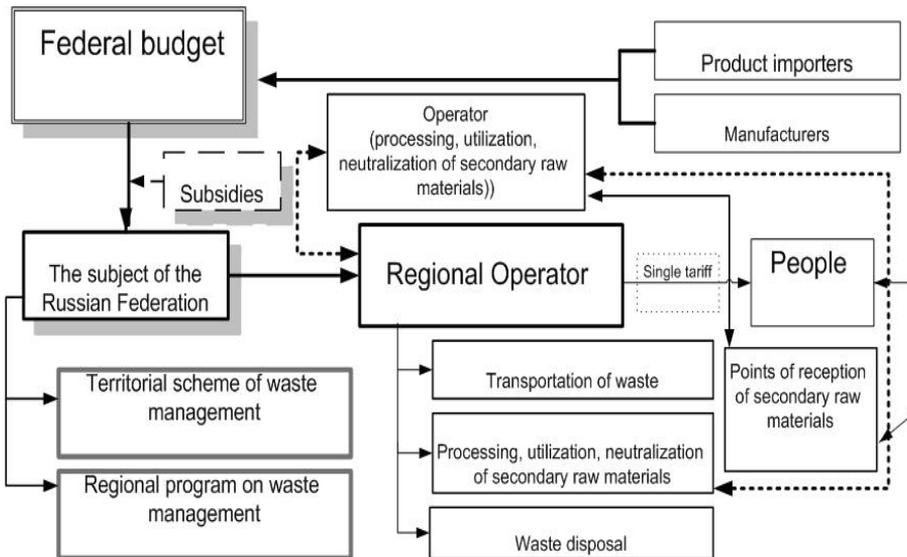


Fig. 1: Scheme of interaction of the regional operator with nature users and individuals on waste and secondary raw materials management.

According to the approved territorial waste management scheme covering solid municipal waste for the Irkutsk region (2016), the Irkutsk region is divided into two zones: South and North. The territory of the Irkutsk city is referred to the South zone. (Ministry of Natural Resources and Ecology of the Irkutsk region 2016)

2.1.3 Principles of Efficient Management. Potential of Interaction of the Municipality (Irkutsk city) and the Regional Operator

The implementation of the principles of Industry 4.0 includes the conversion of both vertical processes inside a company and horizontal relationships of a company with customers, contractors, and partners to digital format.

The activity of the regional operator should be primarily based on the principles of digitalization and system approaches. The necessary condition is the interaction of the unified information environment embedded in the system to provide the timely data exchange among all the involved structures. In addition, the interface reduction (a unified interface between the program solutions and the data center as an intermediate level) should be provided (Wilts 2017).

For the development of the efficient environmental and economic scenarios in MSW flow management, the regional waste management operator should develop a functional model for the integrated waste management system, which should be organized as follows:

- 1) inventory (lists of waste accumulation and disposal facilities and organizations providing waste management services);
- 2) strategic (waste registration at each step, maximized SMR extraction, and preventive measures);
- 3) economic (calculation/recalculation of the payment rates for the negative environmental impact by waste disposal and coverage by contractual relationships including participants of the SMR sales market).

3 CONCLUSION

In view of the basic principles of digitalization, the WASTES AIPS state-of-the-art and development approaches, and the development of the legislative initiatives toward the waste utilization, the regional waste management operator chosen for the zone that includes the Irkutsk city should transform the database into a system product integrated for the operation of the whole South zone of the Irkutsk region with the development of the unified information system for waste registration, the use of products and electronic services for supporting the extended responsibility of producers and importers, geosocial services on separate waste collection, etc.

REFERENCES

- Shevela M.A., Ulanova O.V. (2017) *Development of the functional model for the integrated solid municipal waste management system at the regional level*. In: The 10th International Forum on Waste Management, Environmental Technologies, and Renewable Energy. WasteTech, 6-8.06.2017.
- Ministry of Natural Resources and Ecology of the Irkutsk region (2016) *Territorial waste management scheme covering solid municipal waste for the Irkutsk region.*, Irkutsk, 2016.
- Vaysman Ya.I., Tagilova O.A., Sadokhina E.L. (2013) *Increasing the efficiency of waste management by its automated accounting*. *Ekologiya proizvodstva* 7. 49-57 (in Russian).
- Wilts H. (2017) *Die Ressourcen zirkulieren lassen*. In: *FactorY*, January, 9-14.

Municipal Solid Waste Management in Lahore, Pakistan - Characterization and Energy Content

M. Azam, S. Setoodeh & F. Winter

TU Vienna, Institute of Chemical, Environmental & Biological Engineering, Vienna, Austria

ABSTRACT: With rapid increase in population and urbanization, uncontrolled municipal solid waste system is causing public health and environmental issues in the mega cities of Pakistan. This study aims to investigate municipal solid waste (MSW) of Lahore, 2nd biggest city of Pakistan with a population of eleven million according to census, 2017. Socio-economic structure was considered and a set of samples was collected from different locations to study the physical composition, proximate and ultimate analysis, and heating values of MSW of Lahore. Listed in decreasing sequence, the physical components of Lahore MSW are biodegradable, nylon, textile, combustibles and mixed paper. The received results of moisture content (43.62 %), volatile content (28.37 %), ash content (24.69 %), fixed carbon (3.31 %), high heating value 7160 kJ·kg⁻¹, elemental carbon (18.05 %), nitrogen (0.73 %), hydrogen (7.28 %), sulphur (0.22 %) and oxygen (49.03 %) are in line with the MSW data of China, Malaysia and other Asian countries. These results show that the high moisture content and low heating values are the major bottlenecks to get the maximum energy from incineration facilities.

1 INTRODUCTION

1.1 Solid waste generation, challenges and potential utilization:

The population of Pakistan has been increasing at a rate of 2.4 % per annum since 1998, resulting in a population of 207.7 million according to census 2017. With the population growth of eleven million, Lahore is the second biggest city of Pakistan. The climate of Lahore consists of four seasons, with an average maximum to minimum range of a temperature from 30.8 °C to 17.5 °C and a relative humidity of 20 % to 58 %. The average maximum monsoon rainfall in Lahore is 628.8 mm.

A typical solid waste management system in developing countries displays an array of problems, including low collection coverage and irregular collection services, crude open dumping and burning without air and water pollution control, the breeding of flies and vermin, and the handling and control of informal waste picking or scavenging activities (Ogawa 2000). Like other big developing cities in the world, Lahore is also facing the challenge of handling MSWs. Currently, Lahore Waste Management Company (LWMC) collects an average of 6500 tons of municipal solid waste every day with a collection efficiency of 65 %. Some fraction of generated municipal waste is recycled and reused but these sectors are not well defined in Lahore. Lahore waste management company is producing about 500 tons per day of compost and 700 tons per day of refuse-derived fuel (RDF) from collected municipal solid waste. Most of the collected municipal solid waste is landfilled at the first scientific disposal facility of Pakistan named as Lakhodair landfill, installed on 43 hectares of land. The government of Pakistan tries to shift from the dumpsite to a landfilling system, but with the huge amount of municipal solid waste produced per day, it would be extremely difficult to keep on acquiring new places and facilities for landfill in the future. The production of electricity from landfill gases, converting closed dumpsites to a park and leachate

treatment plants are upcoming plans of Lahore municipality. The government is looking for alternative ways to manage the MSW by keeping an eye on problems of environmental pollution and the serious energy crisis, resulting in load shedding of electricity for six to eight hours per day. Other than composting and RDF, options for managing municipal solid waste are an energy recovery through various processes such as combustion, pyrolysis and gasification. Incineration is preferred to landfill disposal in MSW treatment (Eriksson et al. 2007) due to its decomposition and immobilization of hazardous substances, high-degree volume reduction, low space requirement and effective energy recovery (Huai et al. 2008). The annual production of MSW from Lahore city is almost equal to the annual production of MSW in Austria. The aim of this study is to access the different characteristics of MSW of Lahore and suggest potential sustainable remedy, which can address the adverse environmental impacts associated with MSW landfilling processes.

2 MATERIALS AND METHODS:

This study has been conducted in September 2014. The socio-economic structure was taken into consideration during the characterization study of municipal solid waste of Lahore, Pakistan. Different social levels like low, middle and high-income areas were considered in addition to commercial and institute zones as shown in table 1.

Tab. 1: Sampling area classification for characterization of MSW in Lahore.

Areas	Location 1	Location 2	Location3
Low-Income	Salamatpura	Bogiwal	Shahdra
Middle-Income	Shakir Road	Gulshan-e-Ravi	Ghari Shahu
High-Income	Hussain Chowk	Garden Town	Garden Town
Commercial/Institute	Shah Alam Market	Moon Market	SaadMetha hospital

U.S. standard ASTM D5231 and "European Commission Methodology for the analysis of Solid Waste" (SWA-Tool) are the basis for this characterization study. Twelve trucks of municipal solid waste from selected areas were weighed, unloaded and effectively mixed to get the twelve homogenized samples from respective areas. Shovel technique was used instead of quartering method, due to the size of the samples. A characterization study was carried out, with samples of 0.5 m³ from homogenized waste by using a scaling container. Waste ingredients were classified into fourteen categories as shown in table 2. The segregation and weighing of components was done according to classification in order to receive the physical composition of MSW. From each 0.5 m³ volume of MSW, a sample of five kg was taken to conduct proximate and ultimate analysis according to ASTM standards as shown in figure 1.

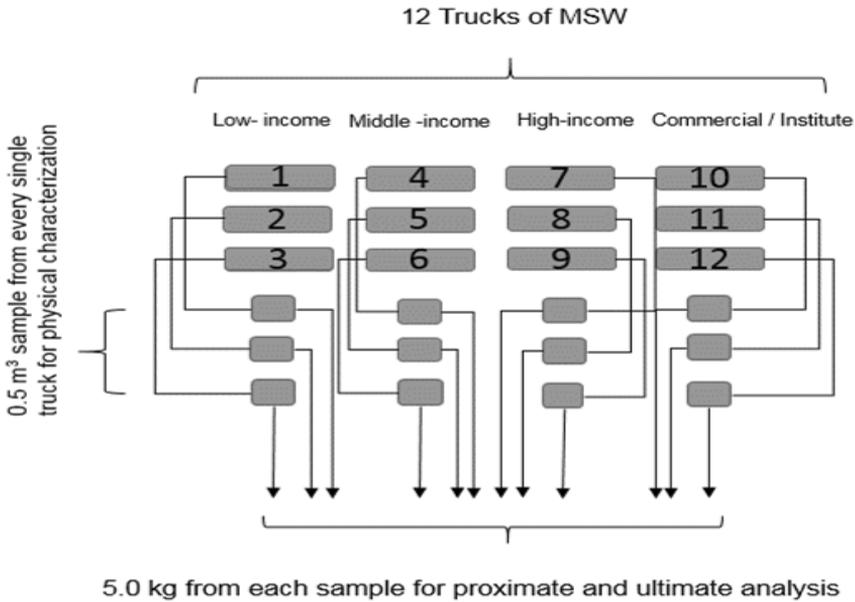


Fig. 1: The MSW sampling procedure.

Tab. 2. Component classification of MSW of Lahore.

Components	Explanation
Biodegradable	Food, fruits, Vegetables ,plants etc.
Nylon	Shopping bags made of HDPE and LDPE
Plastics	All kind of plastics except pet
PET	Water bottles
Textile	All kind of textile waste
Paper-Card-board	Newspaper, magazine, office paper etc.
Tetrapack	Milk and juice cardboard
Metals	All kind of metals
Hazardous	Accumulator, battery , medical waste etc.
Elec-Electronic	Every type of electric and electronic wastes
Diaper	Baby diapers and sanitary pads
Non combustible	Stone, demolition waste, bond , curbside
Glass	Every type of glass
Combustibles	Combustible waste which are undefined in other categories

3 RESULTS AND DISCUSSIONS:

3.1 Physical characterization of waste:

The physical composition of MSW of Lahore on average-weight basis for different socio-economic levels is represented in figure 2. To get the generalized and accurate physical composition representation of MSW of Lahore, overall average physical composition from all levels is shown in figure 3.

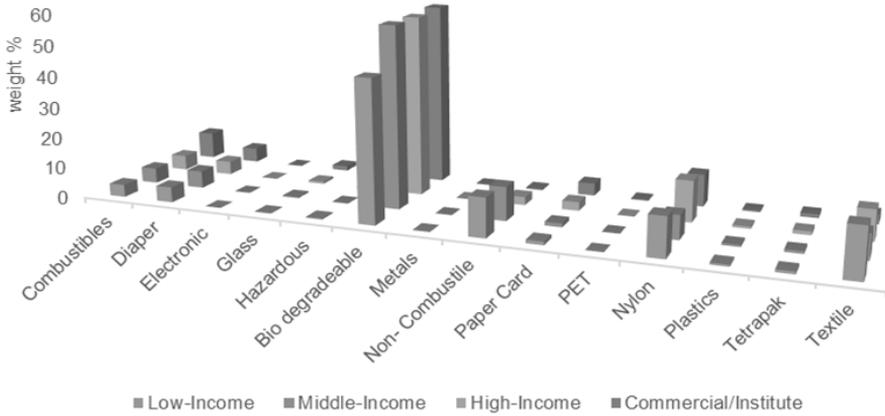


Fig. 2: Average composition of MSW on weight basis from different socio level of Lahore.

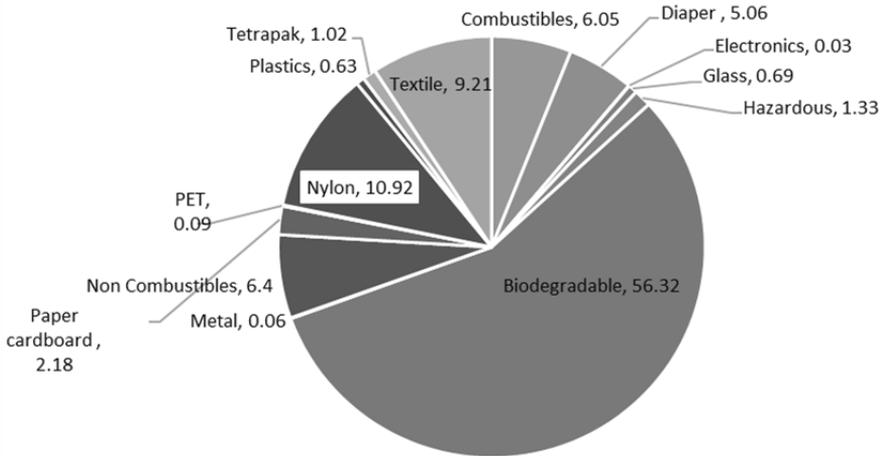


Fig. 3: Physical composition (average) of MSW of Lahore.

Overall, the dominant waste category in all socio-economic levels of Lahore is biodegradable (56.32 %) followed by nylon (10.92 %), textile (9.21 %) and diaper (5.06 %) contents. Unexpectedly, in the low-income area the lowest percentage of biodegradable (46.02 %) is found, but a higher percentage of textile (16.13 %), nylon (12.84 %) and diaper (5.0 %) occurs due to the high rate of population and the consumption habits of peoples. The highest percentage of nylon (13.41 %) in the high-income area is an indication for the use of packed products that comes with higher wealth levels. In the area of commercial/Institute occurs the highest rate of hazardous waste (5.32 %), which is not desired among the urban waste in the term of waste management, it is mostly from hospitals.

3.2. Chemical characterization of MSW:

To evaluate the feasibility of energy recovery as an integral part of the solid waste management system, it is of great importance to determine its proximate and ultimate analysis and heating value (Chang et al. 2007).

Tab. 3: Result of proximate and ultimate analysis of Lahore MSW, as received.

Analysis	Area Classification				Average
	Low	Middle	High	Commercial/Institute	
Total Moisture	37.47	57.34	39.33	40.35	43.62
Volatile Matter	27.20	23.96	30.91	31.42	28.37
Fixed Carbon	3.23	3.44	2.17	4.40	3.31
Ash	32.09	15.26	27.58	23.84	24.69
GCV (kJ/kg)	6778	6276	7824	7762	7160
Carbon	17.88	15.30	20.18	18.81	18.05
Hydrogen	6.50	8.48	7.02	7.10	7.28
Nitrogen	0.76	0.65	0.76	0.73	0.73
Sulphur	0.22	0.14	0.30	0.22	0.22
Oxygen	42.54	60.15	44.15	49.29	49.03

The proximate and ultimate analysis (as received) of MSW is presented in table 3. The main reason of the high and different moisture content in various socio economic levels in Lahore is caused due to differences in the waste content, weather condition, inadequate sorting method and collecting system for MSW. The high moisture content of MSW is regarded as one of the greatest concerns, as the high moisture content of MSW not only poses difficulties for the recovery of recyclable materials, but also increases the amount of leachate in landfills and reduces the net calorific value of MSW for incineration (Zhang et al. 2010). High moisture and ash contents in MSW affects the results of high heating value, ranging from 6280 to 7530 kJ-kg⁻¹. The variation in heating value will affect the operation of the incinerator. The high values for the volatile matter content (24.00 % to 32.5 %) will cause easier ignition of MSW in the incinerator. In an ultimate analysis, the results showed that carbon (18.05 %) and oxygen (49.03 %) were the most dominated components in MSW samples. These physical and chemical characteristics of Lahore waste are quite similar to the data of MSW of countries like China and Malaysia. Inconsistency in the terms, units and basis used for the reporting of different components, proximate and ultimate analysis and heating values of MSW have caused problems in comparing the reported values. It is evident due to a comparison with China and Malaysia MSW composition, incineration of Lahore municipal solid waste may encounter a range of problems like difficulty in ignition, unsteady flame and incomplete combustion of waste. Supplementary fuel, which would increase the operating cost significantly, is often necessary for the incineration of such high moisture and low energy content wastes. (Cheng et al. 2007), (Cheng & Hu 2010), (Nie 2008)

4 CONCLUSION

The understanding of physical and chemical composition of municipals solid waste is of great importance regarding the future planning and management. The detailed results from different socio-economic levels of Lahore show a good over all representation of MSW of Lahore in which biodegradable is the highest fraction.

Proximate and ultimate analysis of MSW of Lahore shows promising behavior towards a "Waste to Energy" program. However, the high moisture content, an inadequate collecting system (sorting method) and low collection efficiencies of municipal departments are still the major issues and bottlenecks to get maximum output from incineration facilities. The high volume of MSW produced per day, landfill process, and associated adverse environmental impact, are driving factors to shift from a landfill to an incineration process. In order to meet the upcoming challenges, there is a dire need

to utilize the potential for a production of energy by installing the state of the art incineration facility. In this way, abundantly available municipal solid waste in Lahore will be utilized as renewable energy source by minimizing the impact on the environment.

Acknowledgment: Special thanks to Lahore Waste Management Company (LWMC) and University of the Punjab for their support to conduct this research.

REFERENCES

- Cheng, H., Hu, Y. (2010) Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: current and future practices in China. *Bioresour Technol*, 101(11), 3816-3824. doi:10.1016/j.biortech.2010.01.040
- Cheng, H., Zhang, Y., Meng, A., Li, Q. (2007) Municipal solid waste fueled power generation in China: a case study of waste-to-energy in Changchun city. *Environ. Sci. Technol.*, 41 (2007), pp. 7509-7515
- Chang YF, Lin CJ, Chyan JM, Chen IM, Chang JE. (2007) Multiple regression models for the lower heating value of municipal solid waste in Taiwan. *J Environ Manag* 2007;85:891-9.
- Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T., Björklund, A. (2007) Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy*, 35(2), 1346-1362. doi:10.1016/j.enpol.2006.04.005
- Huai, X. L., Xu, W. L., Qu, Z. Y., Li, Z. G., Zhang, F. P., Xiang, G. M., Chen, G. (2008) Numerical simulation of municipal solid waste combustion in a novel two-stage reciprocating incinerator. *Waste Manag*, 28(1), 15-29. doi:10.1016/j.wasman.2006.11.010
- Ogawa, H. (2000). Sustainable solid waste management in developing countries. In: 7th ISWA International Congress and Exhibition. World health Organization. Kuala Lumpur, Malaysia
- Nie, Y. (2008) Development and prospects of municipal solid waste (MSW) incineration in China, *Front. Environ. Sci. Eng. China*, 2 (2008), pp. 1-7
- Zhang, D. Q., Tan, S. K., Gersberg, R. M. (2010) Municipal solid waste management in China: status, problems and challenges. *J Environ Manage*, 91(8), 1623-1633. doi:10.1016/j.jenvman.2010.

Analyse des Einflusses des Tourismus auf die Abfallerzeugung - Herausforderungen und Ergebnisse

G. Obersteiner & I. Gruber

Universität für Bodenkultur, Institut für Abfallwirtschaft, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 10 % des weltweiten Bruttoinlandsprodukts direkt oder indirekt vom Tourismussektor erwirtschaftet werden. Gleichzeitig verursachen Touristen aber auch negative Umweltauswirkungen und auch das Abfallaufkommen einer Region wird maßgeblich durch den Tourismus beeinflusst. Zur Ermittlung jener Abfallströme, an denen sich der Einfluss des Tourismus auf das städtische Abfallaufkommen darstellen lässt, wurden abfallwirtschaftliche, sozioökonomische und touristische Daten in 11 Pilotstädten erhoben und ausgewertet. Eine erste, vergleichende Analyse der Daten hat gezeigt, dass nur wenige ausgewählte Abfallströme geeignet sind, um in weiteren (statistischen) Analysen zur Quantifizierung der Auswirkungen touristischer Aktivitäten auf die Abfallerzeugung verwendet zu werden. Unterschiedliche Abfallsammelsysteme erschweren vergleichende Analysen. Für einzelne Städte konnte das durch den Tourismus verursachte Abfallaufkommen auf rund 1,6 bis 2,1 kg Restmüll pro Übernachtung bestimmt werden.

1 EINLEITUNG

Europäische Städte gehören zu den bedeutendsten Tourismusdestinationen weltweit. Die Anzahl der touristischen Ankünfte schätzt die Weltorganisation für Tourismus (UNWTO) für 2015 weltweit auf mehr als 1,1 Milliarden, wobei über 600 Million davon auf Europa entfallen. Der Tourismussektor ist damit ein wesentlicher Wirtschaftsmotor. Schätzungen gehen davon aus, dass etwa 10 % des weltweiten Bruttoinlandsprodukts direkt oder indirekt vom Tourismussektor erwirtschaftet werden und einer von elf Arbeitsplätzen im Zusammenhang mit Tourismus steht. Mehr als 1 Milliarde Touristen jährlich verursachen jedoch auch negative Umwelteffekte wie beispielweise Emissionen aus dem Transportbereich sowie aus Erhaltung und Ausbau der (touristischen) Infrastruktur (z.B. Flughäfen, Hotels etc.) und führen zu einem hohen Ressourcenverbrauch (v.a. Wasser und Energie). Auch das Abfallaufkommen einer Region wird maßgeblich durch Touristen beeinflusst.

Im Vergleich zu anderen Städten müssen sich touristische Städte aufgrund der saisonalen Schwankungen des Tourismus, der Besonderheit der Tourismusbranche und der zahlreichen Touristen als Abfallerzeuger besonderen Herausforderungen bei Abfallbewirtschaftung und Abfallvermeidung stellen. Eine effiziente Abfallbewirtschaftung ist für touristische Städte jedoch gleichzeitig ein wichtiger Aspekt zur Aufrechterhaltung ihrer Attraktivität. Ein Hauptziel des dreijährigen Horizon 2020-Projekts URBANWASTE („Urban Strategies for Waste Management in Tourist Cities“; <http://www.urban-waste.eu>) ist es daher, politische Entscheidungsträger dabei zu unterstützen, diesen tourismusbedingten abfallwirtschaftlichen Herausforderungen durch maßgeschneiderte umweltfreundliche und innovative Abfallvermeidungs- und Managementstrategien zu begegnen. Für URBANWASTE wurden folgende elf urbane bzw. peri-urbane Pilotstädte ausgewählt: Ponta Delgada (Azoren/Portugal), Dubrovnik (Kroatien), Florenz (Italien), Kavala (Griechenland), Kopenhagen (Däne-

mark), Lissabon (Portugal), Nicosia (Zypern), Nizza (Frankreich), Santander (Spanien), Syrakus (Italien) und Teneriffa (Adeje, Arona, Puerto de la Cruz) (Spanien).

2 METHODE

Zur Ermittlung jener Abfallströme, an denen sich der Einfluss des Tourismus auf das städtische Abfallaufkommen darstellen lässt, wurden abfallwirtschaftliche, sozioökonomische und touristische Daten in den elf Pilotstädten ausgewertet. Die für die Analyse benötigten Daten wurden von den Pilotstädten zur Verfügung gestellt. Sofern möglich, wurden alle Daten auf räumlicher Ebene der Pilotstadt erhoben (d.h. meist auf Stadt- bzw. Gemeindeebene). Für ausgewählte Datensätze wurden Zeitreihendaten für den Zeitraum 2000 – 2015 erfasst. Auf Jahresbasis wurden z.B. lokale Wohnbevölkerung und grundlegende Wirtschaftsindikatoren erhoben, auf Monatsbasis wurde versucht Daten zu Abfallaufkommen, Touristenankünfte, oder Nächtigungszahlen zu erfassen. Sofern entsprechende Abfallwirtschafts- und Tourismusdaten auf Monatsbasis zur Verfügung standen, wurde in einem weiteren Schritt mittels statistischer Analyse (lineare Regression) das Restmüllaufkommen pro Übernachtung ermittelt.

Zusätzlich wurde eine Bewertung der ökologischen Auswirkungen der bestehenden Abfallwirtschaftssysteme mittels Ökobilanzierung durchgeführt um tourismusbedingte Hotspots und relevante Themen zu künftig notwendigen Verbesserungsmaßnahmen zu identifizieren.

3 ERGEBNISSE

Eine erste Analyse hat gezeigt, dass nur ausgewählte Abfallströme geeignet sind, um in weiteren (statistischen) Analysen zur Quantifizierung der Auswirkungen touristischer Aktivitäten auf die Abfallerzeugung verwendet zu werden. Weiterführend wurden dementsprechend folgende Abfallströme verwendet: Restmüll, Bioabfälle, ausgewählte Altstofffraktionen wie Papier und Karton; Glas; Metalle / Metallverpackungen; Kunststoffe / Kunststoffverpackungen; bzw. vermischte Wertstofffraktionen (Metalle und Kunststoffe sowie Papier und Pappe), wenn keine separaten Daten verfügbar waren.

Eine vergleichende Analyse der Daten aus den elf Pilotstädten war aufgrund der großen Unterschiede in den Abfallwirtschaftssystemen nicht möglich. Während in einigen Pilotstädten beispielsweise so gut wie alle Hotels von der kommunalen Müllabfuhr miterfasst werden, sind in anderen kaum Hotels an die kommunale Abfallentsorgung angeschlossen. Nachdem Hotels weder im Rahmen der kommunalen Sammlung noch bei der Abfuhr als Gewerbemüll extra erfasst werden, ist eine direkte Vergleichbarkeit der Zahlen nicht gegeben. Zusätzlich erschweren Unterschiede in der Art der Datenaufzeichnung und damit zusammenhängend unterschiedliche Datenqualität eine vergleichende Analyse.

Daneben wurden große Unterschiede hinsichtlich der tatsächlich erfassten Abfälle innerhalb der getrennten Sammlung festgestellt. Einerseits konnten nicht immer separate Zahlen für gemeinsam erfasste Altstoffe übermittelt werden, andererseits wurden in manchen Städten nur Verpackungen als Altstoffe erfasst in anderen aber auch andere artgleiche Wertstoffe. Je nachdem ob ein Pfandsystem vorhanden ist, wurden die Daten zu den getrennt gesammelten Wertstoffen unterschiedlich erfasst und zum Teil nicht gemeinsam mit den kommunalen Zahlen zur Verfügung gestellt.

Bei Elektroaltgeräten gab es Unterschiede je nachdem ob nur Daten zur kommunalen Sammlung oder auch Daten vom Handel berücksichtigt wurden.

Für ausgewählte Pilotstädte, die entsprechende Abfallwirtschafts- und Tourismusdaten auf Monatsbasis zur Verfügung stellen konnten (Abb. 1), konnte mittels statistischer Analyse das Restmüllaufkommen pro Übernachtung ermittelt werden. In Teneriffa beträgt das touristische Abfallaufkommen rund 1,6 bis 2,1 kg Restmüll pro Übernachtung.

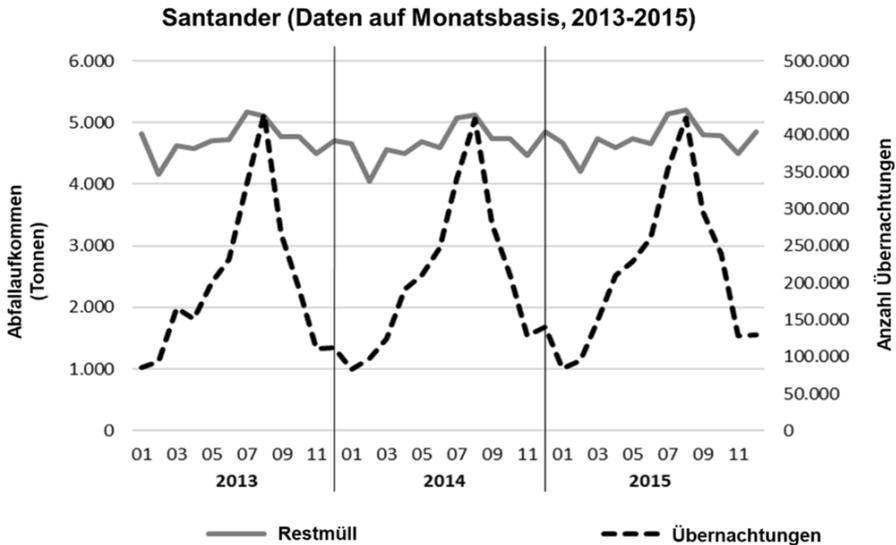


Abb. 1: Zusammenhänge zwischen Anzahl der Übernachtung und Restmüllaufkommen.

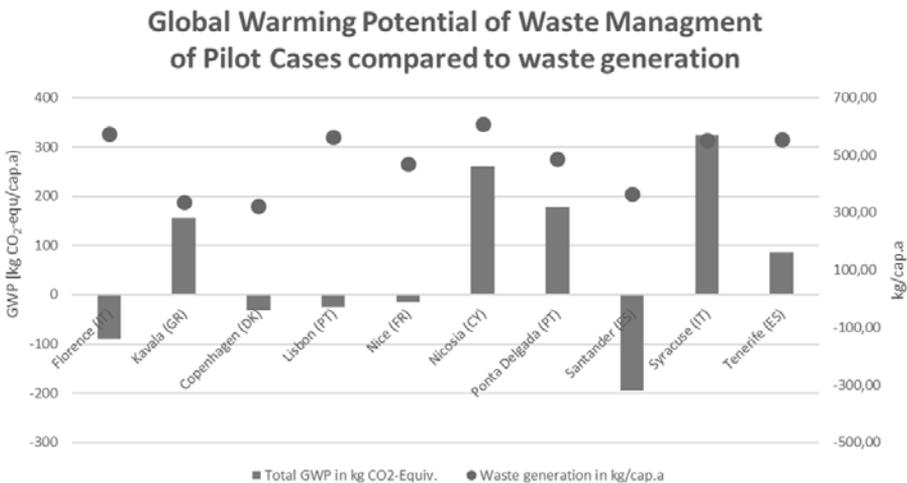


Abb. 2: Abfallwirtschaftlich verursachte Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Abfallaufkommen für zehn Pilotstädte.

Mit der ökobilanziellen Bewertung der bestehenden Abfallwirtschaftssysteme in den elf Pilotstädten sollte ein Überblick über die aktuellen Umweltauswirkungen gegeben

und Hotspots identifiziert werden um zielgerichtete Maßnahmen für die Tourismusbranche aus einem ökologischen Blickwinkel empfehlen zu können. Die durch das jeweilige abfallwirtschaftliche System verursachten Treibhausgasemissionen unterscheiden sich zwischen den einzelnen Städten naturgemäß sehr stark (Abb. 2). Die Unterschiede können einerseits auf das pro Kopf Abfallaufkommen zurückgeführt werden, andererseits zeigen sich große Unterschiede vor allem in Abhängigkeit vom Abfallwirtschaftssystem und hier wiederum vom Umgang mit biogenen Abfällen. In einigen Städten werden diese nach wie vor nicht getrennt gesammelt, sondern mit dem Restmüll deponiert.

Da Lebensmittelabfälle der Hauptgrund für die negativen Auswirkungen der Deponierung im Hinblick auf das Treibhausgaspotential sind (und ein relevanter Anteil dieser Abfälle aus touristischen Aktivitäten stammt), sollten insbesondere Pilotstädte mit einem hohen Anteil direkter Deponierung von Restmüll den Schwerpunkt auf die getrennte Sammlung und Nachbehandlung von Lebensmittelabfällen legen.

4 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die Analysen zeigen deutlich, dass ein direkter Vergleich der Pilotstädte anhand simpler Benchmarks für das gesamte kommunale Abfallaufkommen nicht möglich ist, da (zum Teil erhebliche) Unterschiede in den Abfallwirtschaftssystemen hinsichtlich der getrennt gesammelten Abfallströme sowie des Erfassungsgrades touristischer Einrichtungen (v.a. Hotels) durch die kommunale Abfallwirtschaft bestehen. Zusätzlich erschweren Unterschiede in der Datenqualität eine vergleichende Analyse.

Da für die meisten Pilotstädte der Beitrag des Tourismus zum Gesamtabfallaufkommen nicht nachgewiesen werden konnte, da der Anteil an Touristen im Verhältnis zur Gesamtbevölkerung nur in Ausnahmefällen groß genug war, sind auch generelle Änderungen im Abfallwirtschafts- bzw. Sammelsystem ausgehend von der Tourismusindustrie nicht zielführend. Daher müssen Aktivitäten im Bereich von Abfallvermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen auf dem bestehenden System basieren. Trotzdem kann vor allem die getrennte Sammlung und Verwertung von Lebensmittelabfällen aus dem Gastronomiebereich als sinnvoll umsetzbare Maßnahme für Hotels bzw. Restaurants empfohlen werden.

5 DANKSAGUNG

Das Projekt URBANWASTE „Urban Strategies for Waste Management in Tourist Cities“ wurde durch Horizon 2020, dem Rahmenprogramm für Forschung und Innovation der Europäischen Union, unter Fördervertrag Nr. 690452 gefördert.

Barcode, QR-Code und Data Matrix - Abfallkennzeichnung am Beispiel Batterien

B. Rutrecht

Saubermacher Dienstleistungs AG, Forschung & Entwicklung, Graz, Österreich

T. Schwarz & G. Gröbner

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Leoben, Österreich

KURZFASSUNG: Im Laufe des Projekts „eMPROVE“ an der Montanuniversität Leoben, durchgeführt von der Arbeitsgruppe Future Waste am Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, wurde ein Recyclingprozess für Lithium-Ionen-Batterien (LIB) entwickelt. Es hat sich herausgestellt, dass die Kenntnis über die chemische Zusammensetzung der Batterien entscheidend für die Qualität der Recyclingprodukte ist. Deshalb wurde eine Studie durchgeführt um zu erheben, welche gesetzlichen Bestimmungen für Batteriekennzeichnung gelten, welche Technologien der Kennzeichnung auf Altenergiespeichern und –batterien festgestellt werden und was für Informationen daraus herausgelesen werden können. Es hat sich herausgestellt, dass sich die gesetzlichen Rahmenbedingungen vor allem auf die Vermeidung von Umweltauswirkungen konzentrieren, aber in Hinblick auf Unterscheidbarkeit von Batterien zu allgemein gehalten sind. Obwohl in Firmen zusätzlich 2D-Codes für die Materialverfolgung eingesetzt werden, erweisen sich diese ohne Mehrwert für die Abfallwirtschaft. Um Insellösungen zu vermeiden, werden der Dialog mit allen Stakeholdern und eine allgemeine Branchenlösung empfohlen.

1 EINLEITUNG

Um die Herausforderungen des Lithium-Ionen-Batterierecyclings besser zu verstehen ist es notwendig den Begriff „Lithium-Ionen-Batterie“ zu beleuchten und zu erklären was darunter verstanden wird. In der allgemeingültigen Definition steht die Bezeichnung Lithium-Ionen-Batterie (LIB) für eine Batterie, deren Energiebereitstellung auf Lithium-Ionen beruht. Diese Begrifflichkeit ist für den allgemeinen Sprachgebrauch vollkommen richtig, jedoch ist dies ein Sammelbegriff für elektrochemische Systeme mit unterschiedlichsten Aktivmaterialzusammensetzungen.

Dieser Unterschied im verwendeten Kathodenmaterial ist ausschlaggebend für einzelnen Batterieparameter wie u.a. Energiedichte, Sicherheit, Belastbarkeit. Angewandt werden vor allem Lithiummetalloxidverbindungen. Beispiele dafür sind: Lithium-Kobalt-Nickel-Manganoxid (NMC), Lithium-Kobaltoxid (LCO), Lithium-Manganoxid (LMO), Lithium-Nickel-Kobalt-Aluminiumoxid (NCA) und Lithium-Eisenphosphat (LFP) (Korthauer 2013). Einen Überblick über die momentane Verteilung der bei LIB verwendeten Kathodentechnologien am Markt zeigt Abb. 1.

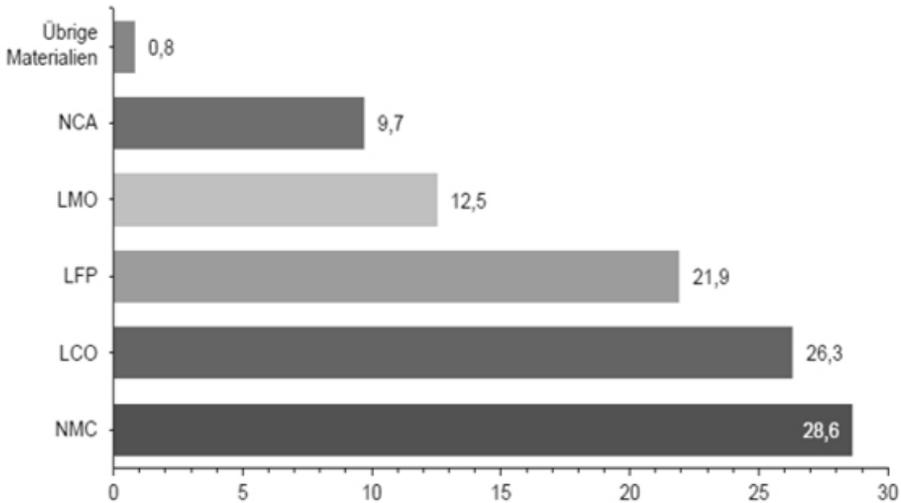


Abb. 1: Marktanteil pro LIB-Kathodentechnologie in Prozent (Gröbner 2018).

2 TREIBER FÜR DAS BATTERIERECYCLING

Auf dem Gebiet des LIB-Recyclings ist, neben den gängigen Massenmetallen, vor allem das in den Zellen enthaltene Kobalt und Nickel von wirtschaftlichem Interesse. Denn wie jeder industrielle Prozess sind auch Recyclingvorgänge, ausgenommen jener mit Subventionen, von einer ausreichenden Wertschöpfung abhängig. Beim Batterierecycling sind vor allem die Kathodenbestandteile Kobalt und Nickel Treiber für das Recycling. Der aktuelle Kurs für Kobalt rangiert momentan bei 65.000 Euro pro Tonne, während Nickel für 12.000 Euro pro Tonne gehandelt wird. Bedenkt man nun, dass zirka 40 % einer einzelnen Lithium-Ionen-Batterie aus Kathodenaktivmaterial besteht, siehe Abbildung 2, ist nicht nur eine Vorsortierung der Batterien nach Kathodentypen mit hohen Wertmetallgehalten äußerst erstrebenswert, sondern auch maßgebend für die Gewährleistung einer kontinuierlichen Produktqualität. Das gelingt aber nur, wenn die Zusammensetzung des Inputmaterials bereits vorab bekannt ist.

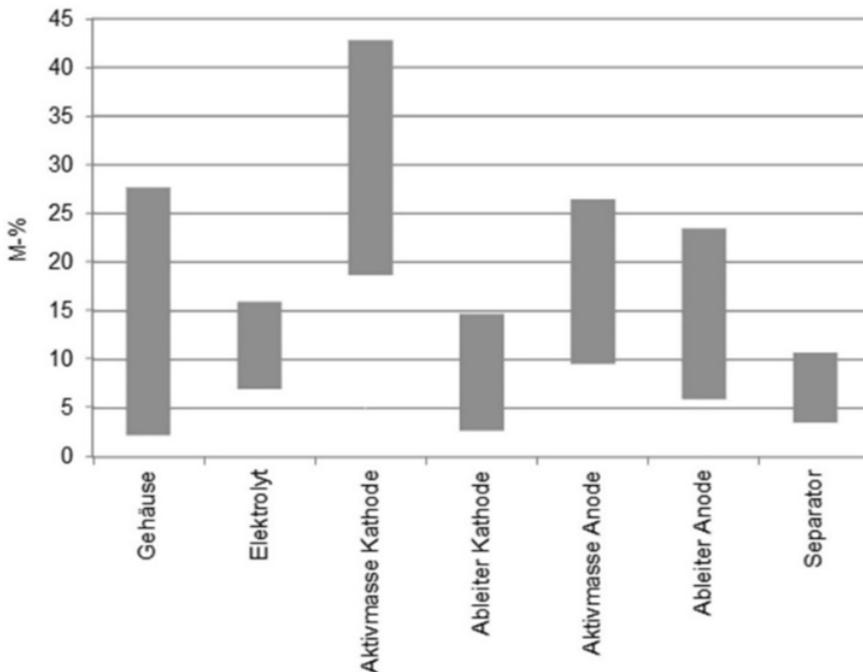


Abb. 2: Durchschnittliche Zusammensetzung einer Lithium-Ionen-Batterie (Arnberger 2016).

3 PROBLEMATIK GEMISCHTER BATTERIEABFÄLLE

Beim Entsorger landen meistens keine homogenen Chargen bestehend aus Energiespeichersystemen eines bestimmten Typs, sondern ein Mix aus verschiedensten Anbietern, die aufgrund ihrer mittlerweile immer einheitlicher werdenden Optik und ohne einer gesetzlichen Kennzeichnungspflicht nicht voneinander unterscheidbar sind. Diese Gefahr der Verwechslung führte bereits in der Bleisäureindustrie zu enormen Sicherheitsproblemen: Teilweise vollgeladene LIB-Module landeten fälschlicherweise im Zerkleinerungsprozess von Bleisäurebatterien. Im Zuge der Zerkleinerung kommt es zu einem mechanisch herbeigeführten Kurzschluss, der aufgrund der hohen Energiedichte von LIB fatale Brandereignisse zur Folge hat (Schroeder 2016).

Zusätzlich nehmen die gesetzlich vorgeschriebenen Sammel- und Recyclingeffizienzen ebenfalls keine Rücksicht darauf, welcher LIB-Typ gesammelt wird, bzw. welche Rohstoffe zu welcher Qualität mithilfe des Batterierecyclings zurückgewonnen werden sollen. Da LIB unter die Kategorie „Sonstige Altbatterien“ fallen, müssen sie dem Gesetz nach zu 50 % recycelt werden (BMLFU 2008). Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Wert mittelfristig angehoben wird. Im Batterienmix gehen jedoch Wertstoffe, die zum Erreichen dieser Vorgabe beitragen könnten, verloren und erschweren zusätzlich die Realisierung eines potentiell höheren Zielwerts. Bzw. können ohne Rücksichtnahme auf die Zusammensetzung des Inputmaterials nur Fraktionen von minderer Qualität erzeugt werden, was wiederum zu unwirtschaftlichen Recyclingprozessen führt – und ohne Subventionen, das Aus für das Batterierecycling bedeutet.

4 BATTERIEKENNZEICHNUNG

Um Abfallströme den passenden Verwertungswegen zuführen zu können, ist es notwendig die Eingangsstoffe möglichst eindeutig zu identifizieren, um sie gezielt sammeln zu können. Dafür werden momentan Methoden der chemischen Analyse herangezogen, die sehr zeit- und kostenintensiv sind und nicht unbedingt Aussagen über eine komplette Charge liefern. Die einfachere Möglichkeit wäre eine beständige Kennzeichnung der verschiedenen elektrochemischen Typen durch den Hersteller außen am Gehäuse der Zelle selbst, am Modul oder am Energiespeichersystem.

Zusätzlich wäre es durch eine solche Kennzeichnung möglich, bereits von außen und ohne Manipulation, das Sicherheitsrisiko der vorliegenden Batterie abzuschätzen. Denn es ist bekannt, dass Zellen vom Typ LFP ein stabileres Verhalten aufweisen als z.B. NMC (Korthauer 2013). Zusätzlich kann auf diese Art und Weise auf Nennkapazität, Nennspannung, Anzahl der verbauten Zellen, interne Verschaltung der Batterie etc. hingewiesen werden – anhand derer sich geschultes Fachpersonal orientieren und das elektrische Gefahrenpotential abschätzen kann.

4.1 Rechtliche Vorschriften

Bezugnehmend auf die Batterienverordnung (BattVO §6 – Kennzeichnung) (BMLFU 2008) wurde bereits einiges für typische Gerätebatterien (NiCd, NiMH, Alkaline) gesetzlich festgelegt. Diese verpflichtet Batteriehersteller zum Aufdruck des Symbols für die getrennte Sammlung, zum Ausweisen von Schwermetallgehalten (Pb, Cd, Hg) in Form einer durchkreuzten Mülltonne und zur Angabe der Zellkapazität. Nur auf freiwilliger Basis und daher auch nur in den geringsten Fällen wird vom Hersteller die Information zur Zellchemie direkt am Zellgehäuse angegeben.

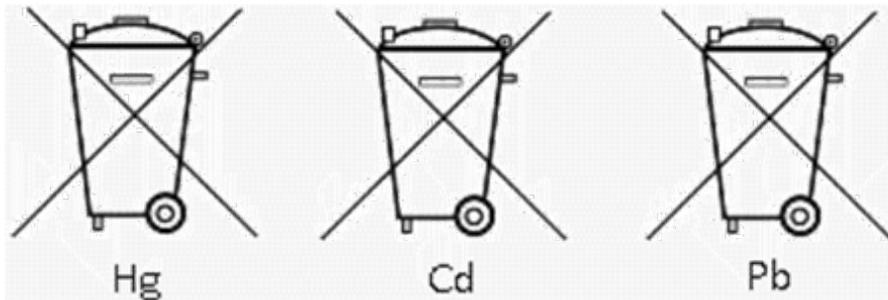


Abb. 3: Symbol für die getrennte Sammlung von Gerätebatterien nach BattVO (BMLFU 2008).

4.2 Material Tracking

Für interne Materialverfolgungszwecke kennzeichnen Batterie- und Batteriemodulhersteller ihre Produkte bereits mit 2D-Codes, der aktuelle Trend geht in Richtung einer Verwendung von Data Matrix Codes, vgl. Abbildung 4, Tabelle 1 und 2. Dabei wird keiner gängigen Norm wie z.B. der GS1 DataMatrix Guideline (GS1 2018) gefolgt, um entsprechend flexibel zu bleiben. Mit dem Nachteil, natürlich aus Entsorgersicht, dass aufgrund der mangelnden Systematik kaum bis keine für die End-of-Life Phase nützlichen Daten auslesbar sind.



Abb. 4: Bsp. Darstellung von 2D Codes auf Modulen (v.l.n.r.: Barcode, QR-Code, Data Matrix)

Tab. 1: Ergebnisse Erhebung Modulkennzeichnung.

MODULE																			
2D Code	Summe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Barcode	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0
Data Matrix	18	1	0	0	3	2	0	4	1	1	0	1	0	1	2	1	1	0	0
QR Code	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Label	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0

Tab. 2: Ergebnisse Erhebung Zellkennzeichnung.

ZELLEN																						
2D Code	Summe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	23	
Barcode	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2
Data Matrix	23	1	0	0	3	2	3	1	1	2	0	0	1	1	1	1	0	3	0	0	1	1
QR Code	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Label	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

5 AUSBLICK

5.1 IEC Standard 62908

Dieser Umstand wird momentan nicht nur in der Abfallwirtschaft stark diskutiert, sondern war auch Anstoß für die International Electrotechnical Commission (IEC) ein Verfahren zur Erstellung eines neuen Standards, dem IEC 62902 „Marking Symbols for secondary batteries for the identification of their chemistry“, einzuleiten. Mit der Veröffentlichung des Standards ist laut IEC leider nicht vor Frühjahr 2019 zu rechnen (IEC 2017). Während der Environmental, Health & Safety Conference 2016 wurde jedoch bereits eine erste Vorschau auf das Design präsentiert, siehe Abbildung 5 (Schroeder 2016). Generell ist eine derartige Kennzeichnung zu befürworten. Der einzige Kritikpunkt ist, dass keine genauere Spezifikation des LIB-Typs vorgesehen ist. Damit kann eine Verwechslung von Bleisäurebatterien mit Lithium-Ionen-Batterien vermieden werden, womit den Bleihütten sicherlich geholfen ist, der Abfallwirtschaft per se aber nur bedingt.

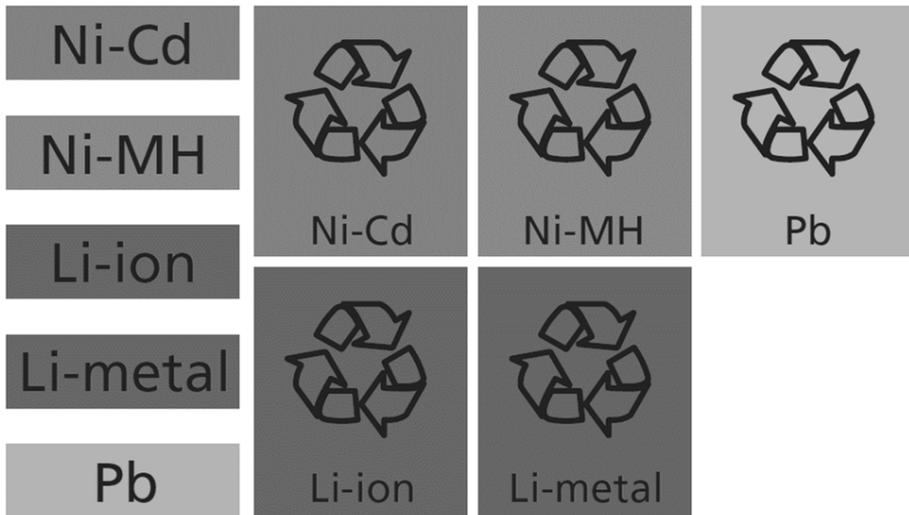


Abb. 5: Designvorschlag Batteriekennzeichnung nach IEC Standard 62908 (Schroeder 2016).

5.2 eMPROVE

Das vom KLIEN geförderte Projekt eMPROVE hat zum Ziel die Reichweite zu erhöhen, Demonstratoren mit innovativen Komponenten auszustatten und die Umwelteinflüsse zu reduzieren. Dazu werden einerseits zwei Batteriedemonstratoren aufgebaut, andererseits wird ein Recyclingkonzept entwickelt und in einer realen Recyclinganlage umgesetzt. Neben diesen Themen ist das Second Life, Logistik und Eco Design ein Thema. Die Kennzeichnung der Batterien hat in all diesen Bereichen einen maßgeblichen Einfluss und kann

- die Ressourceneffizienz erhöhen,
- zu einer Erhöhung der Recyclingquoten einzelner Batteriesysteme beitragen,
- Sicherheitsrisiken minimieren und
- die Kreislaufführung der gesamten Batterie ermöglichen.

Im Projekt eMPROVE wurde das Thema behandelt, da ein Recyclingkonzept für Aktivmaterial entwickelt und evaluiert wurde und die Problematik der gemischten Aktivmaterialfraktionen, die Outputqualitäten verschlechtert. Hierfür wurde ein Vorschlag für eine Data Matrix erarbeitet mit welcher die Möglichkeit bestünde einerseits Informationen schnell auslesbar und trotzdem mit einer Verschlüsselung anzugeben. Mit Hilfe des International Dismantling Information Systems (IDIS) könnten nur Verwertungs- und Recyclingunternehmen Zugriff zu sensiblen Daten erhalten und trotzdem wäre durch eine Linkverknüpfung eine einfache Handhabung möglich (IDIS 2018). Ein Beispiel für die sichere Datenübermittlung von mehreren Unternehmen wäre das International Material Data System (IMDS), welches den Datenaustausch zwischen Komponentenherstellern und OEM im Automobilbereich ermöglicht (IMDS). Alle Materialinformationen der einzelnen Komponenten werden eingetragen und können somit entlang der Wertschöpfungskette verarbeitet und weitergegeben werden.

Ein Vorschlag für eine Data Matrix mit den recyclingrelevanten Informationen wurde erarbeitet und findet sich nachfolgend. 9 Informationen sind direkt in der Matrix erhältlich, welche dann direkt auf der Zelle, dem Modul und dem Gesamtsystem angebracht werden sollten:

- Hersteller,
- Baujahr,
- Seriennummer,
- Anzahl Module,
- Anzahl Zellen,
- Verschaltung,
- Chemie,
- Spannung und
- IDIS Link.

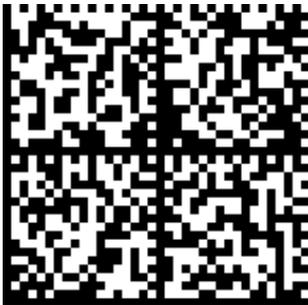


Abb. 6.: Beispielhafte Data Matrix nach dem Vorbild von eMPROVE.

Für den Recyclingbetrieb bedeutet dies für die Annahme von Batterien eine erleichterte Sortierung und Sicherheiten. In Zukunft könnte dadurch eine erleichterte Automatisierung der Demontage erfolgen.

6 SCHLUSSFOLGERUNG

Das Fazit aus mehreren Gesprächen mit Herstellern lautet, dass ihrerseits kein Interesse daran besteht für den Recycler relevante Informationen über die Zusammensetzung des Energiespeichersystems, geschweige denn ihre verwendete Zellchemie bekannt zu geben. Viel zu groß ist die Angst vor Verlust von Know-how und des Marktvorteils an die Konkurrenz.

Ebenfalls liefert der im Entstehen begriffene Standard IEC 62908 keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Aus bereits genannten Gründen soll nur eine Unterscheidung von Bleisäurebatterien von Lithiumionenbatterien und anderen Batterietypen ermöglicht werden.

Neben teuren und zeitaufwendigen chemischen Analyseverfahren werden die Entsorger so gezwungen, sich selbstständig eine Datenbasis zur Erkennung unterschiedlicher LIB zu schaffen und eine, oder mehrere, auf Identifizierung von Energiespeichersystemen spezialisierte Fachkraft/Fachkräfte auszubilden.

Deshalb sollte der Dialog aller Stakeholder ermuntert und weiter geführt werden, damit dem Verwerter branchenweit alle notwendigen Informationen zur Verfügung gestellt und umständliche Insellösungen vermieden werden. Es stehen bereits relativ einfache Werkzeuge zur Umsetzung dessen zur Verfügung – z.B. in der Form eines gut einsehbaren, robusten, eingravierten 2D-Codes außen auf dem Gehäuse des Energiespeichersystems. Dieser könnte u.a. einen Link zur IDIS- oder IMDS-Datenbank beinhalten, welche einen einfachen Datenaustausch zwischen Herstellern und

Recyclingunternehmen ermöglichen könnte. Damit wäre auch der Produzentenverantwortung genüge getan, Rohstoffe und Ressourcen könnten effizient genutzt und letztendlich im Kreislauf geführt werden.

7 DANKSAGUNG

Das Projekt eMPROVE wurde im Rahmen der Ausschreibung Leuchttürme der Elektromobilität vom Klima- und Energiefonds (KLIEN) gefördert.

LITERATUR

- Arnberger, Astrid (2016) : Entwicklung eines ganzheitlichen Recyclingkonzeptes für Traktionsbatterien basierend auf Lithium-Ionen-Batterien. Dissertation. Montanuniversität Leoben, Leoben. Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft.
- BMLFU (2008): Verordnung über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altbatterien und -akkumulatoren. Batterienverordnung - BattVO, vom 05.08.2016. In: *Bundesgesetzblatt BGBl Teil II* (159). Online verfügbar unter <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20005815>.
- Gröbner, Gloria (2018): Aktivmaterial von Lithium-Ionen Batterien. Marktforschung für die Rohstoffe und Verwertungswege. Bachelorarbeit. Montanuniversität Leoben, Leoben. AVAW.
- GS1 (Hg.) (2018): GS1 Data Matrix Guideline. Overview and technical introduction to the use of GS1 DataMatrix. Online verfügbar unter https://www.gs1.org/docs/barcodes/GS1_Data_Matrix_Guideline.pdf.
- IDIS (Hg.) (2018): International Dismantling Information System Online Data. Online verfügbar unter <http://www.idis2.com/index.php?action=home&language=german>, zuletzt geprüft am 27.07.2018.
- IEC (2017): TC 21 Dashboard - IEC 62902 ED1. Secondary batteries: Marking symbols for identification of their chemistry. Online verfügbar unter http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:23:154167690219:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1290,25, zuletzt geprüft am 27.07.2018.
- IMDS (Hg.): Internationales MaterialDatenSystem. 2018. Online verfügbar unter <http://www.mdsystem.com/imdsnt/startpage/index.jsp>.
- Korthauer, Reiner (Hg.) (2013): Handbuch Lithium-Ionen-Batterien. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-30653-2>.
- Schroeder, Rene (2016): Waste Stream Li-ion Battery Sorting Issues. Environmental, Health & Safety Conference. battery council international. Baltimore, USA, 25.10.2016.

PlasticFreeDanube – Auswirkungen von Makro-Kunststoffverschmutzungen in und entlang der Donau

J. Mayerhofer, S. Lenz & G. Obersteiner

Institut für Abfallwirtschaft, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Die Problematik von Kunststoffabfällen in der Umwelt gilt weltweit als sehr brisantes Thema, welches derzeit medial intensiv diskutiert wird. Flüsse stellen dabei die Haupteintragspfade für marine Verschmutzungen dar (z.B. Great Pacific Garbage Patch). Quellen und Wege sowie die Umweltauswirkungen in fluvialen Systemen sind jedoch weitgehend unbekannt. Das Projektziel von „PlasticFreeDanube“ ist die Etablierung eines fundierten Wissensstands zu Kunststoffverschmutzungen sowie die Festlegung standardisierter Methoden zur Einschätzung von Eintragsquellen, Quantität, Transportverhalten und Umweltgefahren in und entlang der Donau. Der folgende Artikel befasst sich mit der Methodenentwicklung standardisierter Probenahmen und Sortierungen von Kunststoffabfällen.

1 EINLEITUNG

Kunststoffabfälle in marinen Ökosystemen stellen zunehmend sowohl auf regionaler, als auch globaler Ebene ein schwerwiegendes Umweltproblem dar. Weltweit wird geschätzt, dass etwa 0,4 bis 4 Millionen Tonnen an Plastik jährlich über Flüsse, die als Hauptpfade für die Verschmutzung gelten, ins Meer gelangen (Schmidt et al. 2017). Dabei sind die Quellen und Wege sowie die Umwelt-Immissionen in Flüssen und der fluvialen Umgebung weitgehend ungeklärt. Die meisten vorhandenen Studien fokussieren auf Mikroplastik (≤ 5 mm); bisherige Studien zu Aufkommen und Herkunft von Kunststoffabfällen in Flüssen verwendeten unterschiedliche Methoden zur Sammlung, Messung und Sortierung und sind so großteils nicht vergleichbar. Belastbare Schätzungen sind aber essenziell, um Maßnahmen zur Reduktion von Kunststoffverschmutzungen zu entwickeln. Aus diesem Grund sollen im grenzüberschreitenden Projekt „PlasticFreeDanube“, finanziert aus Fördermitteln der Europäischen Union im Rahmen von Interreg Slovakia-Austria, neue Erkenntnisse zu diesem Thema für die Donau gewonnen werden. Gekennzeichnet durch das größte, grenzüberschreitende europäische Flusseinzugsgebiet, repräsentiert die Donau ein optimales Projektgebiet. Als Hauptader beeinflusst die Donau das Schwarze Meer direkt und wesentlich. Die jährliche Fracht an Plastik durch die Donau ins Schwarze Meer wird auf etwa 1.530 Tonnen geschätzt (Lechner et al. 2014). Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen richtet sich auf Makro-Kunststoffverschmutzungen (> 5 mm) in und entlang der Donau.

Im Zuge zweier Exkursionen in Österreich sowie der Slowakei konnten sehr unterschiedliche Gegebenheiten bzw. Bedingungen festgestellt werden. Im Nationalpark Donau-Auen kommt es neben Akkumulationen entlang seichter Uferbereiche auch zu punktuellen Verschmutzungshotspots, beispielsweise in Seitenarmen. Ebenso ist zu meist eine gute Zugänglichkeit an den Ufern gegeben und der überwiegende Austrag durch Wellen (Schiffahrt) bedingt. Die slowakische Seite des Projektgebiets ist hingegen von überwiegend hohen Dämmen (bis zu 15m) geprägt, die einen Austrag an Land verhindern. Demnach ist eine Klassifizierung von unterschiedlichen Flussabschnitten erforderlich, um Empfehlungen und Ratschläge für die Probenahme in den

jeweiligen Landschaftstypen abzuleiten. Des Weiteren ist diese Einteilung für die statistische Bewertung und Mengenabschätzung notwendig, da von keiner durchgehend gleichmäßigen Verteilung der Kunststoffabfälle entlang der Uferbereiche ausgegangen werden kann.

2 PROJEKTZIEL

Ziel des Projekts ist die Etablierung eines fundierten Wissensstands zu Kunststoffverschmutzungen sowie die Festlegung standardisierter Methoden zur Einschätzung von Eintragsquellen, Mengen, Transportverhalten und Umweltgefahren in fluvialen Ökosystemen. Folgende Kernziele wurden dabei formuliert:

- Bereitstellung von Methodik und Daten für die Beurteilung und das Monitoring von Kunststoffverschmutzung von Fließgewässern;
- Entwicklung eines Aktionsplans und Umsetzung von Pilotmaßnahmen gegen die Verschmutzung von Kunststoff (KS) in und entlang der Donau;
- Bewusstseinsbildung von Öffentlichkeit und Stakeholdern betreffend die Kunststoffverschmutzung von Flüssen;

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über den Donaauraum samt angrenzender Uferbereiche (Flächen, die bei 30-jährigen Hochwasser - HQ30 - betroffen sind) von den Ballungszentren Wien und Bratislava bis zum slowakischen Kraftwerk Gabčíkovo.

3 METHODIK

Basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche wurden bestehende Leitfäden, Handlungsempfehlungen, Konzepte und Berichte betreffend Monitoring von (marinen) Kunststoff-Verschmutzungen evaluiert. Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden für eine standardisierte Methodenentwicklung zur Sammlung und Sortierung von Kunststoffabfällen in und entlang von Flusssystemen berücksichtigt und implementiert.

3.1 Probenahme

Die Probenahme der Kunststoffabfälle erfolgt auf österreichischer Seite in Kooperation mit dem Projektpartner Nationalpark Donau-Auen (NPDA). Gemeinsam mit freiwilligen Helfern (Schulklassen, Firmen, Vereine, etc.) werden in Abhängigkeit der Gruppengröße, des durchschnittlichen Alters, der Witterung und Vegetation an unterschiedlichen Gebieten sämtliche Abfälle gesammelt, wobei der Plastikmüll getrennt erfasst wird. Die fünf Hauptsammelstellen (Abb. 1) wurden aufgrund jahrelanger Beobachtungen seitens der Nationalparkmitarbeiter gewählt, da es hier regelmäßig zu Kunststoffablagerungen kommt. Zusätzlich sind die Bereiche für die Sammelteams gut erreichbar. In manchen Au-Abschnitten können verstärkt punktuelle Akkumulationszonen verzeichnet werden. Innerhalb von nur wenigen Quadratmetern ist hier ein verstärktes Müllaufkommen ersichtlich, während in den umliegenden Bereichen keine Abfälle auszumachen sind. Die aktuellen Sammlungen stellen in den ausgewählten Abschnitten eine Vollerhebung dar. Es wird meist eine „definierte“ Länge (bis zu einige hundert Meter) in Abhängigkeit der Gruppengröße und verfügbaren Zeit in Stromrichtung abgegangen. Dabei wird die im direkten Einflussbereich der Donau liegende Uferzone (50-100m) abgedeckt. Vorläufig beschränkt sich die Probenahme an Land, jedoch sind auch Sortierungen des Rechenguts der im Projektgebiet liegenden Donaukraftwerke Freudenau und Gabčíkovo geplant. Mithilfe eines Messgerätes zur direkten Erfassung von Makro-Kunststoffen im frei fließenden Gewässer stromab der Kraftwerke soll zusätzlich das Rückhaltevermögen von (Kunststoff-) Abfällen durch diese wasserbaulichen Barrieren untersucht und bestimmt werden.



Abb. 1: Hauptsammelstellen im österreichischen Projektgebiet (Nationalpark Donau-Auen).

3.2 Sortieranalyse

Im Hinblick auf das Monitoring von anthropogenen Verschmutzungen im Meer existieren bereits eine Vielzahl an Abfallklassifikationen (Cheshire et al. 2009; OSPAR 2010; van der Wal et al. 2015). Diese dienen als Ausgangslage für eine Gegenüberstellung bestehender Kataloge bzw. der darin definierten Kunststofffraktionen. Um die Eintragspfade von Kunststoffen zu bestimmen und Vermeidungsmaßnahmen zu erarbeiten bzw. zu bewerten, ist es notwendig, Kunststoffabfälle zu klassifizieren. Da eine Einteilung stets von der jeweiligen Fragestellung abhängig ist, liegt der Projektfokus auf der Erstellung einer standardisierten Methodenentwicklung.

Durch die erste „Vor“-Sortierung von Kunststoffabfällen aus dem Nationalpark Donau-Auen konnte zunächst ein grober Überblick über die Materialzusammensetzung der vorliegenden Kunststoffgegenstände geschaffen werden. Anhand dieser Erkenntnisse wurde im Anschluss versucht, durch das Zusammenfassen, Vereinfachen und Vereinheitlichen ähnlicher (Produkt)Gruppen bzw. Kategorien der Vorsortierung und der gesichteten Protokolle, eine vorläufige Kategorisierung von Kunststoffabfällen in Fließgewässern festzulegen. Aufgrund der projektspezifischen Fragestellung nach der Herkunft der Kunststoffabfälle, wurde eine vorwiegend funktionelle Klassifizierung vorgenommen, um die jeweiligen Fraktionen bestmöglich dem emittierenden Sektor bzw. Quelle zuordnen zu können. Kunststoffgegenstände bzw. -kategorien, die wegen ihrer chemischen Zusammensetzung, beigemengten Additive oder physikalischen Struktur auf ein erhöhtes Umweltgefährdungspotenzial schließen lassen, wurden zusätzlich auf materieller Ebene untergliedert.

Aktuell sind 24 unterschiedliche Kategorien (siehe Tab.1) definiert, die im Zuge der fortlaufenden Sortieranalysen vor allem auf Nachvollziehbarkeit und Plausibilität überprüft und gegebenenfalls adaptiert werden. In weiterer Folge soll so ein Sortierprotokoll für Kunststoffabfälle in und entlang von fluvialen Systemen entstehen, dass auch für Laien ohne spezielles Hintergrundwissen bei nachfolgenden Projekten verwendet und zur Vergleichbarkeit der Kunststoffzusammensetzung / -mengen der gesammelten Abfälle herangezogen werden kann. Empfehlungen sowie Details zur richtigen Handhabung des Sortierprotokolls werden in einem Handbuch festgehalten.

Tab. 1: Kunststoffabfall Klassifizierung und Unterteilung.

Hauptgruppe	Untergruppe	Nr.	Kategorie	Nr. Unterkategorie	
Verpackung	PET-Flaschen	1	PET Getränkeflaschen		
		2	Lebensmittelverpackungen	2a Flexible 2b Hartplastik 2c Getränke-Vbd 2d Verbund Vpkg 2e Geschäumte	
	Lebensmittelverpackungen	3	Kosmetikartikel		
		4	Sonstige KS-Verpackung		
		5	Verpackungsfolien		
Geschäumt	Geschäumte Kunststoffe	6	Geschäumte Verpackung, Dämmplatten, u.Ä. (EPS / XPS, PUR)		
		7	Einweg-Geschirr+Becher		
Nicht-Verpackung	Häuslich/Freizeit/Sport	8	Plastiksackerl (Einkauf)		
		9	Spielzeug, Sport & Freizeitartikel		
		10	Streetwear		
		11	Fischerei-Zubehör		
		12	Zigaretten inkl. Verpackung		
		13	Feuerzeuge		
		14	Haushalts(ähnliche) Waren		
	Sanitär-& Medizinische Artikel	15	Sanitärartikel		
		16	Med. & pharm. Artikel		
		17	Seile und Schnüre		
	Andere Nicht-Verpackungen		18	Klebebänder	
			19	Schifffahrtsgegenstände	
			20	Sonstige KS-Gegenstände	
			21	Sonstige Gummi-Teile	
Bauabfälle Gefährlicher KS		22	Automobilteile		
		23	Baustellenabfälle		
		24	Gefährliche Kunststoffabfälle		

4 ERGEBNISSE

Von Herbst 2017 bis Frühjahr 2018 wurden im Zuge von 7 Sammelaktionen rund 375 kg reiner Plastikmüll aus den Hauptsammelstellen des Nationalparks Donau-Auen entfrachtet und anschließend durchsortiert. Abb. 2 zeigt die Zusammensetzung des KS-Abfalls. Die einzelnen Kategorien wurden zur Vereinfachung zu Untergruppen zusammengefasst. Die Definition der Untergruppen basiert einerseits auf der gängigen Untergliederung des Kunststoffabfallaufkommens seitens Kunststoffindustrie (PlasticsEurope 2018) und andererseits auf der zusätzlichen Ausweisung von Kategorien, die angesichts ihrer masse- bzw. volumenbezogenen Vorkommnisse bei den Sortierungen explizit hervorzuheben sind.

Die Ergebnisse der ersten Sortieranalysen (Abb. 2) zeigen, dass PET-Getränkeflaschen und geschäumte Kunststoffe volumenbezogen zu den beiden größten Fraktionen zählen, aber auch in 3 der 7 Proben gemeinsam rund 50 Gew.-% ausmachen. Neben den haushaltsähnlichen bzw. Sport- und Freizeit Abfällen weist die Untergruppe der Nicht-Verpackungen einen nicht unerheblichen Anteil auf, wobei der Großteil davon auf die gemischte, nicht weiter zuordenbare Kategorie „Sonstige Kunststoffgegenstände“ zurückgeht. Die Baustellenabfälle umfassen nur jene Gegenstände, die prinzipiell verbaut werden, mit Ausnahme von geschäumten Isolierplatten (und Ähnlichem). Da es sich oftmals um bereits stark verwitterte und meist kleinere Schaumstoffteile handelt, kann meist der ursprüngliche Verwendungszweck des Gegenstands nicht festgestellt werden. Somit ist die Zuordnung zur jeweiligen Kategorie (beispielsweise EPS-Dämmplatte → Kat. Bauabfälle; EPS-Verpackung → Kat. Sonstige KS-Verpackungen) nicht oder nur sehr schwer möglich. Dahingehend wurde entschieden, sämtliche geschäumte Kunststoffteile vorerst gemeinsam in einer Kategorie zu erfassen (Geschäumte Kunststoffe). Versuche für eine schnelle weitere Unterteilung werden derzeit durchgeführt.

Betrachtet man die Zusammensetzung auf Basis der Hauptgruppen, so stellen die Verpackungen im Schnitt den Hauptanteil dar, wobei hier der Anteil der geschäumten Verpackungen nicht eingerechnet ist.

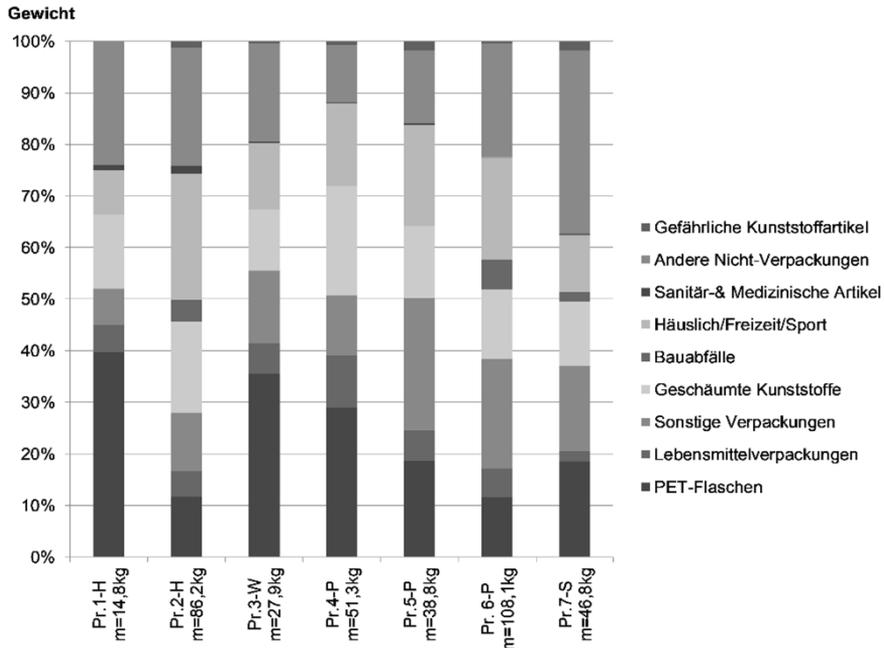


Abb. 2: Zusammensetzung der gesammelten Kunststoffabfälle im NPDA.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Anhand der Beschaffenheit der gesammelten und sortierten Kunststoffabfälle sowie Erfahrungen der Nationalparkmitarbeiter ist darauf zu schließen, dass einerseits der Großteil des gefundenen Mülls dem direkten bzw. indirekten Littering zuzuschreiben ist und andererseits der Hauptteil der Abfälle - als Treibgut von Wien kommend - aus der Donau in das umliegende Augebiet ausgetragen wird. Regelmäßige Besichtigungen und Kontrollen im Nationalpark haben diesbezüglich ergeben, dass die Besucher kaum bis keine Abfälle im Erholungsgebiet zurücklassen. Gezielte bewusstseinsbildende Maßnahmen der vergangenen Jahre, wie die Reduzierung der bestehenden Mistkübelanzahl entlang beliebter Wegstrecken und Aufenthaltsflächen, führten zu einem deutlichen Rückgang des Abfallaufkommens.

Des Weiteren macht der Vergleich mit Studien zu Fließgewässern in Deutschland ersichtlich, welchen signifikanten Einfluss ein Pfandsystem auf das Littering von KS-Getränkeflaschen mit sich bringt. Während im österreichischen Untersuchungsgebiet die PET-Getränkeflaschen bei fast sämtlichen Sammlungen die massenreichste Fraktion bilden, spielt diese Kategorie in den untersuchten deutschen Flüssen (Rhein, Saale, Fulda, Haune) und deren Umgebung durch die Pfandpflicht eine sehr untergeordnete Rolle (Breitbarth 2017).

LITERATUR

- Breitbarth, M. (2017) *Abfälle in deutschen Fließgewässern - Eintrags- und Austragspfade, Zusammensetzungen, Aufkommen und Vermeidungsmaßnahmen*. Schriftenreihe des Fachgebietes Abfalltechnik. kassel university press, Germany.
- Cheshire, A., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jeftic, L., Jung, R.-T., Kinsey, S., Kusui, E.T., Lavine, I., Manyara, P., Oosterbaan, L., Pereira, M.A., Sheavly, S., Tkalin, A., Sampath, V., Wenneker, B., Westphalen, G. (2009) *UNEP/IOC guidelines on survey and monitoring of marine litter*. Regional Seas reports and studies. United Nations Environment Programme, Regional Seas Programme; Intergovernmental Oceanographic Commission, Integrated Coastal Area Management and Regional Programme, Nairobi : Paris.
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E., (2014) *The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbered fish larvae in Europe's second largest river*. Environmental Pollution 188, 177–181. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>.
- OSPAR, (2010) *Guideline for Monitoring Marine Litter on Beaches in the OSPAR Maritime Area*. OSPAR Commission, London.
- PlasticsEurope, (2018) *Plastics - the Facts 2017*. An analysis of European plastics production, demand and waste data.
- Schmidt, C., Krauth, T., Wagner, S., (2017) *Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea*. Environmental Science & Technology 51, 12246–12253. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>.
- van der Wal, M., van der Meulen, M., Tweehuysen, G., Peterlin, M., Palatinus, A., Kovac Virsek, M., Coscia, L., Krzan, A., (2015) *Final Report on Identification and Assessment of Riverine Input of (Marine) Litter*. Eunomia Research & Consulting Ltd, Bristol.

ZEROS - Zerstörung organischer Schadstoffe in Wässern mittels innovativer Verfahrenskombination (Teil 1)

P. Müller, R. Mischitz, B. Binder & L.M. Krois
ferroDECONT GmbH, Leoben, Österreich

K.P. Sedlazeck & D. Vollprecht
Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Leoben, Österreich

W. Trois
ECOCAN GmbH, Leoben, Österreich

I. Maunz
envionix engineering gmbh, Graz, Österreich

R. Frate
pro aqua Diamantelektroden Produktion GmbH, Niklasdorf, Österreich

KURZFASSUNG: Im Forschungsprojekt ZEROS wird nach einem Weg gesucht, ein alternatives Verfahren zu den vornehmlich mit Aktivkohle abzureinigenden organischen Verunreinigungen im Grundwasser zu entwickeln. Dabei wird nullwertiges Eisen von einem Reduktionsmittel für gelöste schwermetallhaltige Verbindungen zu einem Oxidationspool für Fe^{II}-Spezies konvertiert und dient somit katalytisch für den oxidativen Abbau von organischen Schadstoffen in Gegenwart von Wasserstoffperoxid (H₂O₂). Durch eine Kombination des ferrodecont®-Verfahrens mit anderen Verfahren (Diamantelektrode, UV-Bestrahlung) wird eine Produktion von H₂O₂ im Prozess erreicht, wodurch alle Reaktanden für eine Fenton-Reaktion zur Verfügung stehen. Der oxidative Abbau und somit die Zerstörung organischer Schadstoffe im Wasser konnte damit erreicht und erfolgreich nachgewiesen werden. Die Darstellung der Verfahrenskombination und der Aufbau der Versuchsanlage werden in diesem Artikel beschrieben.

1 EINLEITUNG

Das ferrodecont®-Verfahren ist ein Wasserbehandlungsverfahren, bei dem nullwertiges Eisen in Fließbettreaktoren fluidisiert wird und somit durch turbulente Fließbedingungen eine gute Durchmischung und Verteilung der Schadstoffe mit den Feststoffoberflächen des Granulats gewährleistet ist. Im Forschungsprojekt ZEROS wurde ein Schritt verwirklicht, dieses Verfahren mit weiteren Verfahren derart zu kombinieren, sodass der ursprünglich rein auf Schwermetalle ausgerichtete Prozess auf organische Schadstoffe übertragen werden kann. Diese Schadstoffe weisen gerade bei zahlreichen Altlasten ein großes Anwendungspotential auf.

Als Grundlage für den oxidativen Abbau organischer Schadstoffe kann die Fenton-Reaktion herangezogen werden. Durch diese Reaktion ist es möglich, organische Schadstoffe vornehmlich im sauren Medium abzubauen. Das Eisen (Fe²⁺-Ionen) dient hierbei als Katalysator. Das Redoxpotential ($E_h = 2,85 \text{ V}$) der in diesem Reagenz freigesetzten Hydroxyl-Radikale (OH-Radikale, ·OH) liegt nur knapp unter den Werten von Fluor und ist eines der stärksten bekannten Oxidationsmittel. Dadurch können persistente organische Schadstoffe abgebaut werden, wobei die Reaktionen nicht selektiv sind.

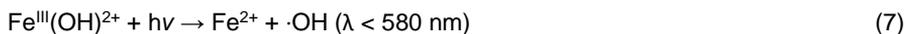
Die nach heutigem Stand der Technik verfügbare Elektrode mit der höchsten Überspannung gegenüber der Sauerstoffentwicklung in wässrigen Lösungen ist die Bor-dotierte Diamantelektrode (BDD). Diese Elektroden zeichnen sich durch eine Überspannung für die Sauerstoffentwicklung mit 2,7 bis 2,9 V vs. Standardwasserstoffelektrode (SHE) und Wasserstoffentwicklung mit -1,3 bis -1,5 V vs. SHE aus (Tröster et al., 2002). Damit wird das größte Potentialfenster von ca. 2,8 V im Vergleich zu herkömmlichen Elektrodenmaterialien, wie Platin- oder Mischoxidelektroden, erzeugt. Ursache für die hohe Überspannung ist die Inertheit der Diamantoberfläche gegenüber der Adsorption von Stoffen (Alfaro et al. 2006). Diese hohe Überspannung bewirkt die Produktion einer relevanten Menge an OH-Radikalen an deren Oberfläche (Glg. 1) während der Elektrolyse von Wasser (Boye et al. 2006). Diese Radikale sind sehr reaktionsfreudig und somit besonders bei oxidativen Prozessen erwünscht. Gleichzeitig sind OH-Radikale auch ein Ausgangsprodukt bei der Produktion von weiteren Oxidationsmittel direkt an der Anode, wie z.B. H₂O₂ (Thosten-son 2017, Glg. 2) oder O₃ (Kraft 2008, Glg. 3).



Das im Prozess erzeugte H₂O₂ kann neben gelöstem Sauerstoff und oxidierenden organischen Verbindungen (z.B. TCE) nullwertiges Eisen zu zweiwertigem Eisen (Fe²⁺) oxidieren (Glg. 4) oder direkt mit Fe²⁺-Ionen reagieren, um die Produktion von ·OH im Sauren gem. der klassischen Fenton-Reaktion (Glg. 5) zu fördern. Eine wichtige Bildung von superoxidiertes Eisen-Spezies, wie etwas das vierwertige Ferryl-Ion (Glg. 6), wird in neutraler bis basischer Umgebung angenommen (Chen et al. 2013).



Die Oxidschicht von passiviertem nullwertigen Eisen zeigt bei Anwesenheit von H₂O₂ deutliche Fenton und Photo-Fenton Reaktivität (Minelle et al. 2016), wodurch es keine Einschränkung von bereits oxidiertem Material für den Einsatz in diesem Verfahren gibt. Eine Bestrahlung mit UV-Licht löst die Photo-Fenton Reaktion über einen photochemischen Reduktionsprozess aus, in der gelöstes dreiwertiges Eisen zu zweiwertigem umgewandelt wird (Glg. 7) und somit der klassischen Fenton-Reaktion wieder als Katalysator zur Verfügung steht (Babuponnusami & Muthukumar 2014, Deng & Zhao 2015). In einem zweiten photolytischen Prozess werden OH-Radikale unter Einwirkung von sehr kurzweiligem UV-Licht aus Wasserstoffperoxid gebildet (Glg. 8) und etwaiges Ozon kann zu H₂O₂ umgesetzt werden (Glg. 9).



2 VERFAHRENSKOMBINATION

Die Kombination der eingesetzten Verfahren (elektrochemische Oxidation, katalytisches-, photokatalytisches Verfahren) setzt eine Reaktionskette in Gang, die ein möglichst breites Spektrum an Schadstoffen - auch schlecht an Aktivkohle adsorbierbare Substanzen – abreinigen kann. Die an der Anode gebildeten Oxidationsmittel (u.a. H_2O_2 , Cl_2 , O_3 , $\cdot\text{OH}$ in Abhängigkeit der Wasserbeschaffenheit) bewirken einen ersten Abbau organischer Schadstoffe und oxidieren das reduktiv wirkende nullwertige Eisen. Das gebildete H_2O_2 dient als Ausgangsstoff für die Bildung der OH-Radikale und die zweiwertigen Eisenionen stehen nun als Katalysator der klassischen Fenton-Reaktion zur Verfügung. Die Bestrahlung mit hochenergetischem UV-Licht und die kathodische Reduktion lösen einen Redoxprozess aus, der Fe^{3+} in Fe^{2+} umwandelt und somit den Kreislauf der Kettenreaktionen mit H_2O_2 aufrechterhält.

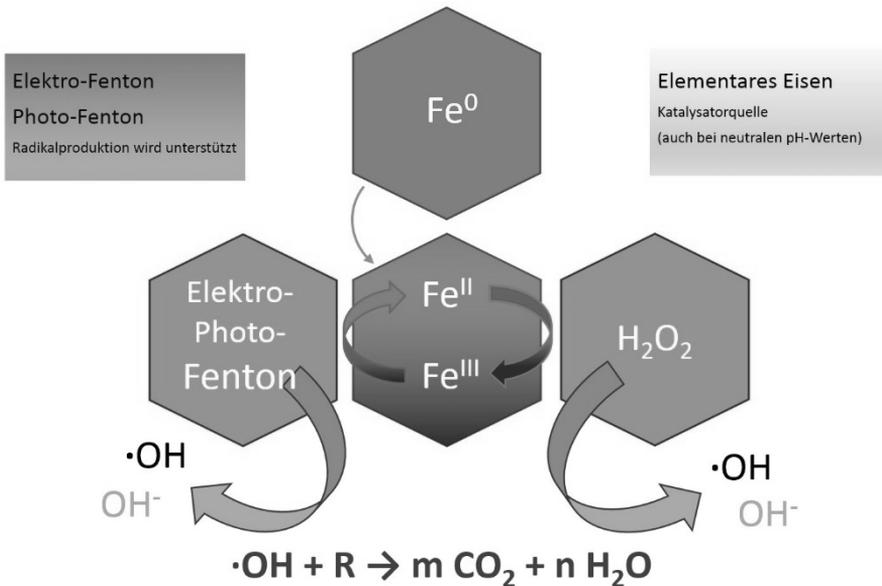


Abb. 1: Schematische Verfahrenskombination.

Vereinfacht werden in Abb. 1 die für die Fenton-Reaktion relevanten Verbindungen, nämlich das gelöste Eisen, Wasserstoffperoxid und die daraus entstehenden Oxidationsprodukte dargestellt. Die klassische Fenton Reaktion aus Glg. (5) auf der rechten Seite der Abbildung wird dabei durch Elektro- und Photo-Fenton in Gang gehalten und verstärkt, indem H_2O_2 und zusätzliche OH-Radikale im System gebildet werden.

Durch die Regenerierung des Katalysators (Umwandlung von drei- zu zweiwertigem Eisen) wird der Eiseneintrag und damit die Schlammproduktion im Prozess gegenüber einer rein klassisch durchgeführten Fenton-Reaktion reduziert.

2.1 Anlagenaufbau

Die Versuchsanlage wurde nach ersten Laborversuchen mit einer Anlage in Tischgröße nach den Erkenntnissen aus diesen Versuchen konzipiert, am PC mit Solid Edge konstruiert und im Technikum der ferroDECONT GmbH aufgebaut.

Ziel war es dabei, Messwerte nach jedem Prozessschritt aufzunehmen und den Einfluss der Einzelverfahren auf die Parameter pH-Wert, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential, gelöster Sauerstoffgehalt, Wasserstoffperoxid-Konzentration und Trübung zu erhalten. Nach den Durchflusszellen mit Diamantelektroden wurde zusätzlich der Chlorgehalt (frei und gesamt) bestimmt. Daneben wurden die Prozessparameter wie Durchflussmenge und Druck im System und Strom-/Spannungswerte der Elektrode mitprotokolliert.

Die Anlage gliedert sich grob in folgende Hauptkomponenten (siehe Abb. 2):

- Kreiselpumpe zur Förderung des Mediums ①,
- Durchflusszelle mit Diamantelektrode (Elektro-Fenton) ②,
- Fließbettreaktoren mit Eisengranulat (Katalysatorquelle) ③,
- UV-Bestrahlung (Photo-Fenton) ④,
- Messeinrichtung ⑤ / Messverstärker ⑥ und
- Steuer- Regeleinheit / PC (nicht abgebildet).

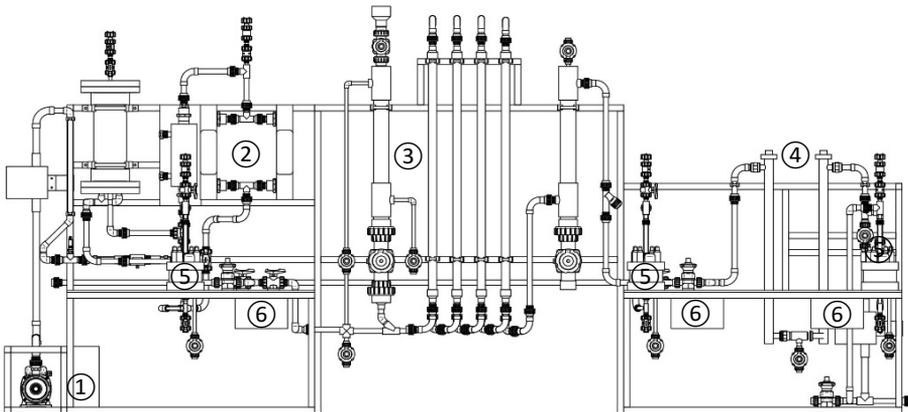


Abb. 2: Anlagenskizze der Versuchsapparatur: Diamantelektrode (linker Bereich), Fließbettreaktoren mit Katalysatorquelle (mittlerer Bereich), UV-Bestrahlung (rechter Bereich).

2.1.1 Anlagendimensionierung

Die Größe der Anlage wurde auf die Probenmenge eines IBC (max. 1.000 L) ausgelegt, sodass relevante Probenmengen mit dem Verfahren getestet werden konnten. Als Durchflussgeschwindigkeit wurden 0,5 L/s (über Frequenzsteuerung regelbare Kreiselpumpe) gewählt, sodass die gesamte Kubatur eines IBC in einer halben Stunde durchgeführt werden konnte.

Für die Elektro Fenton-Reaktion wurde eine Durchflusszelle mit sieben Bor-dotierten Diamantelektroden sowie zwei Ir/Ru beschichtete Titanelektroden verbaut. Die Fläche der einzelnen Elektroden (BDD und Ir/Ru) sind 150 cm² und der Elektrodenabstand beträgt 2mm. Die beiden Ir/Ru beschichteten Titanelektroden erzeugen ein elektrisches Feld, womit eine bi-polare Betriebsweise der BDD Elektroden gewährleistet werden kann. Bei den Versuchen wurde die Durchflusszelle mit einer Leistung von ca. 3 kW (I = 12 A, U = 250 V) betrieben. Die Stromversorgung mit 12 A führt zu einer Stromdichte von 80 mA/cm² an jeder Elektrode.

Die zwangsweise durch den Betrieb der Elektroden eingetragene Wärme in das zu behandelnde Abwasser wird über einen Wärmetauscher abgeführt, wodurch die Probe keinem signifikanten Temperaturanstieg ausgesetzt ist.

Als Katalysatorquelle und dem Treiber der Fenton-Reaktion werden 5 kg nullwertiges Eisenmaterial verwendet, welches in vier Reaktoren fluidisiert wird und für den Eiseneintrag in den Prozess verantwortlich ist. Ein Bypassen der Eisenreaktoren ist jederzeit möglich, sodass ein zu hoher Eiseneintrag in das System vermieden werden kann.

Die Photo-Fenton-Reaktion wird durch eine UV-Bestrahlungseinheit ausgelöst, welche aus zwei 90 W Niederdruck-UV Lampen besteht und die schadstoffbelasteten Proben mit einer Wellenlänge von 254 nm bestrahlt.

Die gesamte Anlage wird mit einer elektrischen Nennleistung von < 4 kW betrieben und braucht neben einer etwaigen Säurezugabe zur Absenkung des pH-Wertes keine weiteren Betriebsstoffe.

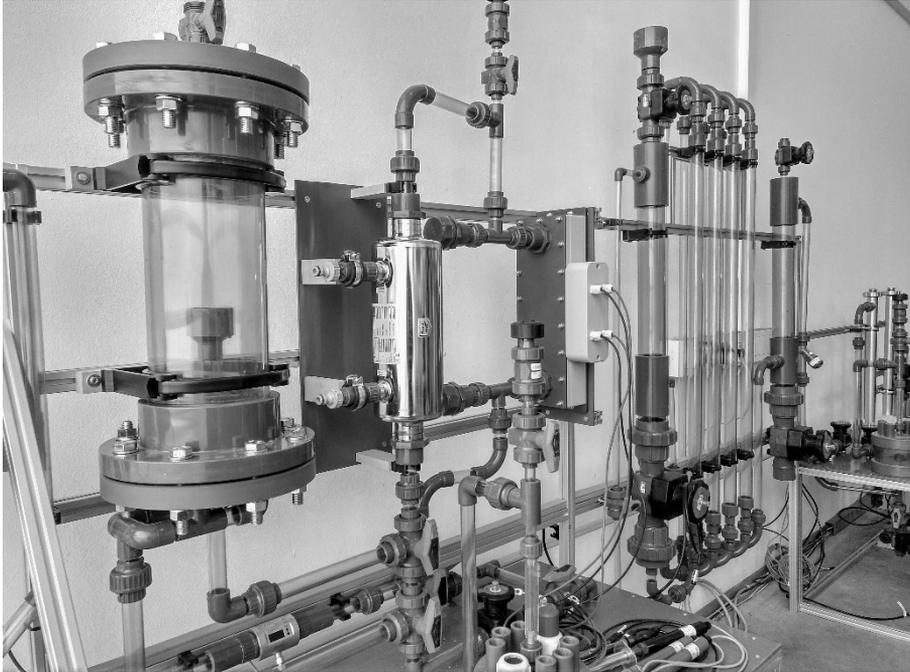


Abb. 3: Aufbau der Versuchsanlage.

Der Versuchsablauf wurde durch eine Kreislaufführung bestimmt, bei dem zu definierten Zeiten (1...n Umwälzungen des IBC) Proben entnommen wurden, die im Anschluss an ein Labor geschickt und der Schadstoffabbau mittels Gaschromatographie ermittelt wurde.

3 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Aus den vorliegenden Ergebnissen zum Abbau von organischen Substanzen mit diesem Kombinationsprozess wurde ersichtlich, dass die Konzeption des Anlagenbaus die Erwartungen zum Schadstoffabbau von organischen Verunreinigungen in Wässern erfüllen konnte (siehe dazu Sedlazeck et al. 2018). Das Verfahren eignet sich für Schadstoffbelastungen, wie sie im Altlastenbereich erwartet werden können, ohne dabei durch künstlichen Zusatz von Wasserstoffperoxid die Fenton-Reaktion anzutreiben. Die Bildung von Fentons Reagenz und die Regenerierung des Fe-

Katalysators im Prozess werden ermöglicht, in Gang gehalten und sogar verstärkt. Aufgrund der Prozessführung kann mit geringerem Schlammanfall als in der klassischen Fenton-Behandlung gerechnet werden. Da keine Eisensalze zugegeben werden, verringert sich insgesamt die Salzfracht der behandelten Abwässer gegenüber einer konventionellen Behandlung.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Verfahrens liegt zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Artikels noch nicht vor, ist jedoch ein Bestandteil des Projektes und wird die weitere Richtung des Verfahrens vorgeben. Bei positiver abgeschlossener Bewertung wäre ein weiterführendes Projekt im Feldmaßstab der nächste sinnvolle Schritt und eine Anlage in dieser Größenordnung könnte im Hinblick auf eine Optimierung des Verfahrens (pH-Werte, Schadstoff-/Reaktandenkonzentrationen) unter realen Einsatzbedingungen getestet werden.

4 DANKSAGUNG

Das Projektteam bedankt sich beim Förderungsgeber, der im Rahmen des Umweltförderungsgesetzes dieses Forschungsprojekt zum größten Teil finanziert hat, dem Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (Dr. H. Berghaler), vertreten durch die Kommunalkredit Public Consulting GmbH (Dr. T. Wirthensohn, DI J. Warnstorff) und dem Umweltbundesamt für die engagierte Unterstützung und Diskussion (Dr. G. Döberl).

LITERATUR

- Alfaro M.A.Q., Ferro S., Martinez-Huitle C.A., Vong Y.M. (2006) *Boron Doped Diamond Electrode for the Wastewater Treatment*. J. Braz. Chem. Soc. 17 (2), 227-236.
- Babuponnusami A., Muthukumar K. (2014) *A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment*. Journal of Environmental Chemical Engineering 2 (1), 557-572.
- Boye B., Brillas E., Marselli B., Michaud P.-A., Comninellis C., Farnia G., Sandonà G. (2006) *Electrochemical incineration of chloromethylphenoxy herbicides in acid medium by anodic oxidation with boron-doped diamond electrode*. Electrochimica Acta 51, 2872-2880.
- Chen L., Jin S., Fallgren P.H., Liu F., Colberg P.J.S. (2013) *Passivation of zero-valent iron by denitrifying bacteria and the impact on trichloroethene reduction in groundwater*. Water Science & Technology 67 (6), 1254-1259.
- Deng Y., Zhao R. (2015) *Advanced Oxidation Processes in Wastewater Treatment*. Current Pollution Reports 1, 167-176.
- Kraft A. (2008) *Electrochemical Water Disinfection: A Short Review – Electrodes using platinum group metal oxides*. Platinum Metals Rev. 52 (3), 177-185.
- Minelle M., Sappa E., Hanna K., Barsotti F., Maurino V., Minero C., Vione D. (2016) *Considerable Fenton and photo-Fenton reactivity of passivated zero-valent iron*. RSC Advances 6, 86752-86761.
- Sedlazeck K.P., Vollprecht D., Gill J., Hartl M., Müller P., Mischitz R., Trois W., Maunz I. & Frate R. (2018) ZEROS - Zerstörung organischer Schadstoffe in Wässern mittels innovativer Verfahrenskombination (Teil 2). Recy & DepoTech 2018 Konferenzband, 489-494.
- Thostenson J.O., Ngaboyamahina E., Sellgren K.L., Hawkins B.T., Piascik J.R., Klem E.J.D., Parker C.B., Deshusses M.A., Stoner B.R., Glass J.T. (2017) *Enhanced H₂O₂ Production at Reductive Potentials from Oxidized Boron-Doped Ultrananocrystalline Diamond Electrodes*. ACS Applied Materials & Interfaces 9 (19), 16610-16619.
- Tröster I., Fryda M., Herrmann D., Schäfer L., Hänni W., Perret A., Blaschke M., Kraft A., Stadelmann M. (2002) *Electrochemical advanced oxidation process for water treatment using DiaChem electrodes*. Diamond and Related Materials 11 (3-6), 640-645.

Kataster anthropogener Lagerstätten in der Region Harz basierend auf einem Geo-Informationssystem

K. Schneider & D. Goldmann

Technische Universität Clausthal, Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik, Lehrstuhl für Rohstoffaufbereitung und Recycling, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland

KURZFASSUNG: Der Rückbau von Tailings aus früheren Bergbauaktivitäten und von Deponien wird vermehrt erforscht und erste Projekte werden im Rahmen des Landfill Mining umgesetzt. Bedingt durch die lange Bergbautradition im Harz sind viele bergbauliche Rückstände in der Region vorhanden. Um das Rohstoffpotential und Umweltentlastungspotentiale durch einen Rückbau anthropogener Lager zu analysieren, sind umfassende Standortkenntnisse notwendig. In bisherigen Arbeiten wird jedoch meistens nur eine Teilregion des Harzes betrachtet. Daher verfolgt diese Arbeit eine methodisch basierte Katastererstellung anthropogener Lager für insgesamt sechs Landkreise über die Bundeslandgrenzen Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen hinweg. Zuerst werden standortbezogene Daten durch eine Recherche erhoben und im Anschluss mittels eines Geo-Informationssystems erfasst, bearbeitet, organisiert und analysiert. Basierend auf diesen Ergebnissen können landkreisübergreifende Rückschlüsse auf das Vorkommen anthropogener Lager und deren Standorte im Harz getroffen werden.

1 EINLEITUNG

Der Rückbau von Tailings des Bergbaus und von Deponien gelang zunehmend in den Fokus der Wissenschaft. Diese anthropogenen Lager enthalten zum Teil Wertstoffe, die zu ihrer Entstehungszeit technisch nicht zurückgewonnen werden konnten oder zum damaligen Zeitpunkt wirtschaftlich nicht interessant waren. Diese Art des Rückbaus wird durch den Begriff Landfill Mining charakterisiert. Nach Cossu und Williams umfasst Landfill Mining alle Aktivitäten, die sich mit der Extraktion und Verarbeitung von bereits abgelagerten Abfällen befassen. Basierend auf dieser Definition ist Landfill Mining ein Teilaspekt des Urban Mining (Cossu, Williams 2015).

Durch die 2000-jährige Bergbaugeschichte hat die Region Harz europaweit eine herausragende Rolle in der Primärrohstoffgewinnung inne. Während 1992 die Erzgewinnung im Oberharz eingestellt worden ist, spielt der großtechnische Abbau von Hartgesteinen weiterhin eine wesentliche Rolle in der Region (Ließmann 2018). Durch die Bergbauaktivitäten sind viele Tailings in der Region Harz vorhanden, die für Landfill Mining von Interesse sein könnten.

Vor diesem Hintergrund entstand das Forschungsprojekt „Recycling 2.0 – Die Wertstoffwende“ gefördert vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Im Projekt sollen erste Schritte zur ganzheitliche Optimierung von Strukturen, Erschließung und insbesondere Ausnutzung von anthropogenen Potenzialen sowie Lagern eingeleitet werden. Aus der Vernetzung von Kommunen, Unternehmen und Forschungseinrichtungen entstehen so Vorschläge zur Information und Kommunikation im Abfall- und Rohstoffbereich einschließlich der Logistik und Vernetzung neuer sowie adaptierter Technologien. Durch diese Vorgehensweise soll die Region zur „Recyclingregion Harz“ ausgebaut werden.

An der Technischen Universität Clausthal werden im Rahmen des Projektes drei rohstofflich relevante Bereiche untersucht:

- Consumer to Business – C2B: Abfallsteuerung vom Konsumenten zum Verwerter,
- Business to Business – B2B: Steuerung von Verarbeitungsrückständen aus Unternehmen zurück in den Wirtschaftskreislauf und
- Deposit to Business – D2B: Wiederaufnahme anthropogener Lager als mögliches Rohstoffpotential und Maßnahmen zum Umweltschutz.

Um im Bereich D2B das Rohstoffpotential und Umweltentlastungspotentiale durch einen Rückbau von Tailings und Deponien zu analysieren, sind umfassende Standortkenntnisse notwendig. Daher wird im Rahmen dieses Forschungsprojektes erstmalig ein Kataster anthropogener Lager erstellt, das die gesamte Region Harz umfasst. Ziel ist es, abgelagerte Abfallkörper zu identifizieren, welche für zukünftige gezielte Untersuchungen interessant sein können. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf der methodischen Vorgehensweise zur Erstellung des Katasters. Zunächst werden die Daten durch Recherche erhoben. Im Anschluss werden die Daten mittels eines Geo-Informationssystems (GIS) erfasst, bearbeitet, organisiert und analysiert.

2 REGION HARZ

Das Kataster anthropogener Lager wird für die Region Harz erstellt. Zur räumlichen Abgrenzung werden die Grenzen der Landkreise verwendet, die in Abb. 1 gezeigt werden. Die Region Harz umfasst insgesamt sechs Landkreise in den drei Bundesländern Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen: Landkreis Goslar und Landkreis Göttingen (Niedersachsen), Landkreis Harz und Landkreis Mansfeld-Südharz (Sachsen-Anhalt) sowie Landkreis Nordhausen und Kyffhäuserkreis (Thüringen).

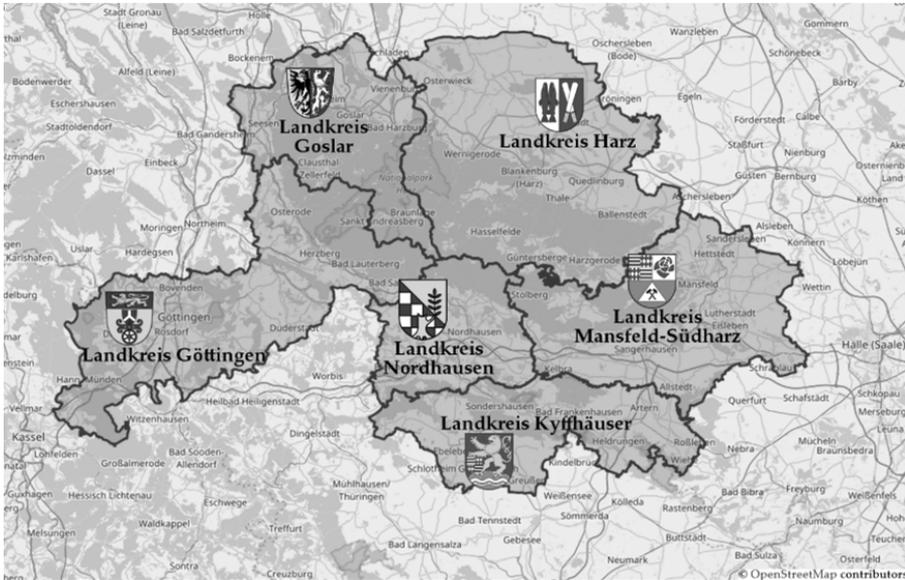


Abb. 1: Räumliche Abgrenzung der Region Harz.

3 BISHERIGE FORSCHUNGSARBEITEN

In vorliegenden Arbeiten wird meistens nur eine Teilregion des Harzes in Form eines Katasters dargestellt. Eine Betrachtung über Bundeslandgrenzen hinweg oder für die gesamte Region existiert nach Wissen der Autoren nicht. Insbesondere für den Westharz, der den Landkreis Goslar und den ehemaligen Landkreis Osterode umfasst, sind seit den 1990er Jahren verschiedene Arbeiten veröffentlicht worden.

Zeller beschreibt in seiner Arbeit, inwiefern wissenschaftlich abgesicherte Gemeinsamkeiten bergbaulicher Altablagerungen hinsichtlich des Stoffpotentials und des Emissionsverhaltens eine optimierte Erfassung und Bewertung des Handlungsbedarfs ermöglichen. Die bergbaulichen Halden des Westharzes werden als Beispiel bergbaulicher Ablagerungen in Niedersachsen in der Arbeit behandelt (Zeller 1998).

Im Rahmen des Förderschwerpunktes r^3 - Innovative Technologien für Ressourceneffizienz des BMBF sind zwei relevante Projekte hervorzuheben: „Nutzung des Rohstoffpotenzials von Bergbau- und Hüttenhalden unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit am Beispiel des Westharzes - Robeha“ und „Konzeption und Entwicklung eines Ressourcenkatasters für Hüttenhalden durch Einsatz von Geoinformationstechnologien und Strategieentwicklung zur Wiedergewinnung von Wertstoffen – REStrateGIS“. Im Projekt Robeha ist ein Kataster anthropogener Lager im Westharz erstellt worden, welches Halden mit einem Volumen von über 100.000 m³ beinhaltet. Diese Informationen sind in das GIS-basierte Kataster des Projektes REStrateGIS aufgenommen worden, welches im Internet zur Verfügung steht (REStrateGIS). Weiterführende Projektinformationen sind in den Veröffentlichungen von Poggendorf et al. und Nühlen et al. zu finden (Poggendorf u. a. 2015; Nühlen u. a. 2016).

4 VORGEHENSWEISE

Zur Erstellung des Katasters werden vier aufeinander aufbauende Arbeitsschritte durchgeführt, die schematisch in Abbildung 2 dargestellt werden. Zuerst werden die Daten erhoben. Basierend auf diesen Daten wird der Aufbau des Katasters definiert sowie das Kataster erstellt. Im letzten Schritt werden die Daten mit einem GIS analysiert, um eine zukünftige Bewertung des Rückbaupotentials zu unterstützen. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte vorgestellt.



Abb. 2: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Erstellung des Katasters.

4.1 Datenerhebung

Für das Kataster sind verschiedene Quellen herangezogen worden. Aufgrund des potentiellen Schadstoffgehalts sind die meisten Bergbauhalden und Deponien als Altablagerungen in Altlastenkatastern erfasst. Für die Erfassung von altlastenverdächtigen Flächen und Altlasten sowie deren Aufnahme in Altlastenkataster sind die Umweltämter der Länder oder Kommunen zuständig. Die Datenerhebung erfolgt meist durch die unteren Bodenschutzbehörden (Bilitewski, Härdtle 2013).

Vor diesem Hintergrund sind die unteren Bodenschutzbehörden der sechs Landkreise kontaktiert worden. Den Behörden ist das Forschungsprojekt persönlich vorgestellt

worden und ein Datenaustausch wurde initiiert. Des Weiteren liefern die Landesbergämter, Berichte aus früheren Forschungsprojekten und Literaturquellen Daten für dieses Kataster. Bei den meisten Daten handelt es sich um Geodaten, denen eine räumliche Lage zugewiesen werden kann. Die Daten sind in den meisten Fällen als Shapefile zur Verfügung gestellt worden.

Während der Datenerhebung sind verschiedene Probleme identifiziert worden. An erster Stelle ist der Datenaustausch mit den Behörden zu nennen. Trotz großer Bemühungen der Verwaltungsangestellten ist es nicht immer möglich gewesen, aktuelle Auszüge aus dem Altlastenkataster in vollem Umfang zur Verfügung zu stellen. Des Weiteren sind die Daten sehr heterogen, da die Erfassung von Altlasten in Deutschland Ländersache ist.

4.2 Erstellung des Katasters

Basierend auf der Datenlage ist der Aufbau dieses Katasters abgeleitet worden. Das Kataster umfasst insgesamt fünf Kategorien, die in Abbildung 3 schematisch dargestellt werden.

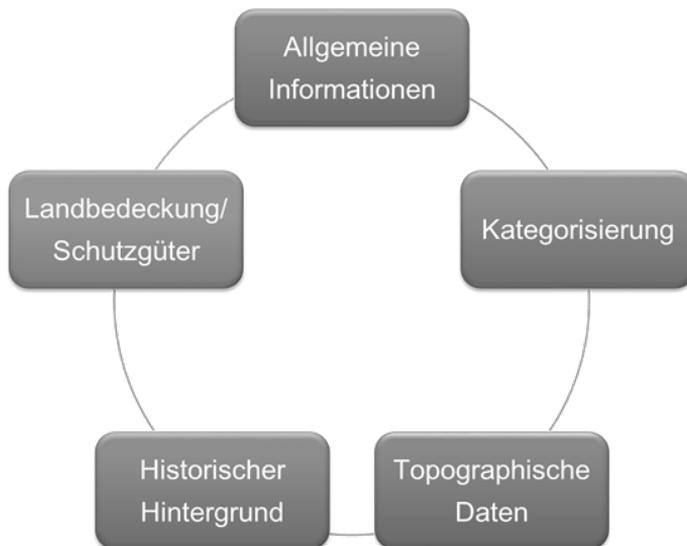


Abb. 3: Schematische Darstellung des Katasteraufbaus.

Die allgemeinen Informationen enthalten für jede Ablagerung den Namen sowie die Information, aus welchem Datensatz die Ablagerung in das Kataster aufgenommen worden ist. Im nächsten Schritt werden die Ablagerung in eine Haupt- und eine Unterkategorie eingegliedert. Die Hauptkategorie umfasst dabei Halden, Deponien und sonstige Ablagerungen. Unterkategorien der Deponien sind beispielweise Hausmülldeponien, Betriebsdeponien und wilde Müllplätze. Im Abschnitt der topographischen Daten sind der Standort der Ablagerung sowie deren Fläche und Volumen erfasst. Besonders für Halden aus früheren Bergbauaktivitäten sind historische Informationen von Interesse, um auf das Alter und das Stoffpotential der Ablagerung schließen zu können. Zum Abschluss werden die aktuelle Landbedeckung der Ablagerung sowie die Entfernung zu Schutzgütern bestimmt. Hierbei handelt es sich um Ergebnisse der Datenanalyse, welche in Abschnitt 2.4 vorgestellt wird.

An dieser Stelle ist anzufügen, dass für eine Beurteilung des Rückbaupotentials weitere Daten erhoben werden müssen. Darunter fallen z.B. die Aufschlüsselung der Inhaltsstoffe, die Materialeigenschaften, die Besitzverhältnisse und die Information, ob die Fläche unter Bergaufsicht fällt.

4.3 Räumliche Datenanalyse

In dieser Arbeit werden erste räumliche Datenanalysen durchgeführt, die eine zukünftige Bewertung des Rückbaupotentials unterstützen. Das Kataster wird als File-Geodatabase mit dem Programm ArcGIS Version 10.3.1 der Firma ESRI Inc. angelegt. In der File-Geodatabase werden zuerst alle Daten der Ablagerungen aus dem Arbeitsschritt Datenerhebung erfasst. Für die Datenanalyse werden Themenlayer vom Bundesamt für Naturschutz und Bundesamt für Kartographie und Geodäsie bezogen, welche Informationen zur Landbedeckung, Naturschutzgebieten, Gewässern und Straßen umfassen.

Anhand der räumlichen Datenanalyse soll geklärt werden:

- Welche Art von Landbedeckung liegt vor?
- Liegt die Ablagerung in einem Schutzgebiet bzw. wie weit ist das nächste Schutzgebiet entfernt?
- Wie weit ist die nächste Verkehrsanbindung im Falle eines Rückbaus entfernt?

In ArcGIS stehen viele Werkzeuge für die Beantwortung dieser Fragen zur Verfügung. In dieser Arbeit werden die Werkzeuge Near, Puffer und Überschneiden (Intersect) verwendet. Die Landbedeckung der Ablagerung kann durch Überschneiden mit dem Layer CORINE Land Cover ermittelt werden, welches europaweit harmonisierte Landbedeckungsdaten enthält. Das digitale Landschaftsmodell 1:250.000 des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie beschreibt topographische Objekte der Landschaft und das Relief der Erdoberfläche im Vektorformat. Die Objekte werden einer bestimmten Objektart zugeordnet. Für diese Arbeit werden die Ebenen Gewässer und Verkehr verwendet, um den Abstand einer Ablagerung zu diesen Objekten mit den Werkzeugen Near und Puffer zu bestimmen.

5 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen dieser Arbeit ist zum ersten Mal ein Kataster anthropogener Lager für die gesamte Harzregion erstellt worden. Basierend auf diesen Daten können nun landkreisübergreifende Rückschlüsse auf das Vorkommen anthropogener Lager und deren Standorte getroffen werden.

Innerhalb dieses Projektes kann jedoch nur eine Grundlage für zukünftige Arbeiten geschaffen werden, da eine Erfassung aller Standorte einen sehr hohen Rechercheaufwand bedingt. Daher sind in zukünftigen Arbeiten weiterführende Recherchen zur Komplettierung der Standorte durchzuführen sowie zusätzliche Informationen zu bereits erfassten Ablagerungen in das Kataster aufzunehmen. Insbesondere die chemische und mineralogische Charakterisierung von Ablagerungen sind für einen Rückbau aus technologischer Sicht von Interesse.

Nach der Katastererstellung sind zur Identifikation potentieller anthropogener Lagerstätten im Harz neben technologischen auch gesellschaftliche, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen systematisch zu erfassen und kritisch zu diskutieren.

LITERATUR

- BILITEWSKI, Bernd ; HÄRDTLE, Georg: Altlasten. In: BILITEWSKI, Bernd; HÄRDTLE, Georg (Hrsg.): *Abfallwirtschaft*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2013, S. 759–791
- COSSU, Raffaello ; WILLIAMS, Ian D.: *Urban mining : Concepts, terminology, challenges*. In: *Waste management* 45 (2015), S. 1–3
- LIEBMAN, Wilfried: *Steinreicher Harz : Eine Gesteinskunde für Einsteiger und Fortgeschrittene*. Wiebelsheim : Quelle & Meyer Verlag, 2018
- NÜHLEN, Jochen ; DENK, Michael ; GLÄBER, Cornelia ; TEUWSEN, Sebastian ; ALGERMISSEN, David: Sekundärrohstoffe in Hüttenhalden : Strategien zur Haldendetektion und -analyse auf Basis von Geoinformationstechnologien. In: THOMÉ-KOZMIENSKY, Karl J. (Hrsg.): *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle : Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen*. Neuruppin : TK, 2016, S. 359–382
- POGGENDORF, Christian ; RÜPKE, Anke ; GOCK, Eberhard ; SAHELI, Hadjar ; KUHN, Kerstin ; MARTIN, Tina: Nutzung des Rohstoffpotentials von Bergbau- und Hüttenhalden am Beispiel des Westharzes. In: THOMÉ-KOZMIENSKY, Karl J. (Hrsg.): *Mineralische Nebenprodukte und Abfälle : Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen*. Neuruppin : TK, 2015, S. 579–599
- RESTRATEGIS: *Konzeption und Entwicklung eines Ressourcenkatasters für Hüttenhalden durch Einsatz von Geoinformationstechnologien und Strategieentwicklung zur Wiedergewinnung von Wertstoffen*. URL <https://ressourcenkataster.de/> – Überprüfungsdatum 2018-07-01
- ZELLER, Torsten: *Stoffpotential und Emissionsverhalten ausgewählter bergbaulicher Altablagerungen in Niedersachsen: ein konzeptioneller Beitrag zur Erfassung und Bewertung von Altablagerungen*. Clausthal-Zellerfeld, Technische Universität Clausthal-Zellerfeld, Institut für Anorganische und Analytische Chemie. Dissertation. 1998

PAK in Koksfraktionen und deren Analytik

M. Kleinhappl

Ziviltechniker für Verfahrenstechnik, Sicherheitsfachkraft, Sachverständiger, ZT-Kanzlei Kleinhappl, Thannhausen bei Weiz, Österreich

Y. Neubauer

TCKON, Berlin, Deutschland

C. Unger

Fraunhofer GmbH, UMSICHT, Oberhausen, Deutschland

KURZFASSUNG: PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) kommen häufig in Feststoffen aus der Pyrolyse und Vergasung vor. Die besonderen Stoffeigenschaften dieser Probenmatrizes erfordern geeignete Bestimmungsmethoden, insbesondere in der Probenaufbereitung (d.h. Gewinnung aus der Probe). Die zuverlässige Bestimmung der „wahren“ Konzentration ist für die Beurteilung von Entsorgung und Verwertung, sowie auch für die Erstellung eines Sicherheitsdatenblattes erforderlich. Bestehende Normen wie z.B. EN 15527 sind im Abfallbereich zwar etabliert, weisen aber bei der bisherigen praktischen Anwendung in Bezug auf die Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit für diese Art der Proben ein erhebliches Verbesserungspotential auf. Typischerweise sind Gesamtkonzentrationen (16 EPA) von rund 10-50 mg/kg bzw. 0,5 bis 5 mg/kg der Einzelverbindungen zu bestimmen. Aus einem bisherigen Vergleich wurden Maßnahmen zur Verbesserung (genauere Festlegung der Prozeduren) abgeleitet, sowie die Prüfung in einem Ringversuch vorgeschlagen.

1 EINLEITUNG

PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) kommen in Spuren in einer Vielzahl von Abfallstoffen der Industrie vor. In thermochemischen Umwandlungsprozessen wie z.B. Pyrolyse und Vergasung können diese Verbindungen in erheblichen Konzentrationen im Produktgas, und in der Folge auch in Feststoffen, welche mit dem Gas in Kontakt waren, vorkommen. Grundsätzlich sollte der betroffene Prozess so geführt werden, dass z.B. Filterstaub unter heißen Bedingungen aus dem Gas abgetrennt wird, und folglich die Beladung möglichst gering ausfällt. Bei der Entsorgungsbeurteilung dieser Nebenprodukte ist eine zuverlässige Bestimmung wünschenswert. Im Fall der gezielten Erzeugung von Pyrolysekoks in speziellen Verfahren für das Produkt Biochar (sog. ‚Biokohle‘, Pflanzenkohle) ist schon für eine detaillierte Qualitätssicherung des Produktes und damit auch vieler notwendigen Untersuchungsverfahren gesorgt (EBC, sog. European bio char certificate).

Es ist eingangs darauf hinzuweisen, dass die angeführten Filterstäube bei Temperaturen zwischen 150 und 550 °C aus dem Gasstrom der Anlagen separiert werden, und bei einem eher geringen Aschegehalt einen Kohlenstoffgehalt zwischen 75 und 90 % besitzen. Zwar ist der Pfad der technischen Entstehung nicht direkt mit dem der Herstellung von Holzkohle vergleichbar, aber die betrachteten Feststoffe weisen z.B. in Bezug auf den Gehalt an Flüchtigen (Summenwert) und die spezifische Oberfläche und folglich beim Sorptionsverhalten ähnliche Eigenschaften auf. Schon daher begründet sind Beladungen mit leichtflüchtigen Verbindungen (BTX und Monoaromaten), Phenolen und PAK in den meisten Fällen zu erwarten.

Die Sorption aufgrund der Ähnlichkeit von hoch-karbonisierten und entgasten Feststoffstrukturen zu aromatischen Verbindungen stellt eine besondere Situation in Bezug auf die Eigenschaften dieses Probenmaterials dar: Es sind besonders gewählte Bedingungen erforderlich, um die angeführten Verbindungen akzeptabel vollständig aus diesen Probenmatrizes zu lösen, um diese später der Identifikation und Quantifizierung zuführen zu können. In dem Zusammenhang kann nicht abgegrenzt werden, ob diese Verbindungen nachträglich aufgenommen worden sind, oder sich aus der ursprünglichen Struktur noch nicht abgelöst haben (Fortschrittsstadien des pyrolytischen Zerfalls).

Die Bindung an den Oberflächen erfolgt als Sorption und Porenkondensation, wobei zu beachten ist, dass die Schmelzpunkte der Verbindungen erheblich über Raumtemperatur liegen. Im Stadium der Anlagerung wurden die Verbindungen aber durch Diffusion aus dem Produktgas durch Poren an die Oberflächenzentren transportiert. Je nach Extraktionsbedingung liegen die Verbindungen aber unter oder maximal nahe der Schmelztemperatur vor (ohne jetzt genauer auf die Bindungssituation während der Extraktion bzw. bei Siedetemperatur des Lösemittels genauer eingehen zu können).

Die Relevanz der zuverlässigen Bestimmung ergibt sich aus der vergleichenden Bestimmung bei der Prozessoptimierung, der Einstufung im Entsorgungs- bzw. Verwertungsfall und auch bei der Erstellung eines Sicherheitsdatenblattes (gemäß REACH) für die Beurteilung der Handhabung (Deklarationspflichten von CMR-Stoffen, sowie sonstige Promille-Grenze anderer gefährlicher Inhaltsstoffe).

2 BISHERIGE UNTERSUCHUNGSMETHODEN UND STANDARDS

Grundsätzlich wären für die Beurteilung dieser Art von Proben genormte Verfahren aus dem Bereich der Bodenuntersuchung (inkl. Altlasten), Abfallbeurteilung, des Düngemittelbereiches bzw. für sonstige technische Produkte (Aktivkohlen) geeignet. Für die Untersuchung von Biochar wäre die Methode für das EBC bindend.

In der praktischen Durchführung hat sich die EN 15527 als am besten geeignet für die Probenaufbereitung erwiesen, um abschließend die Verbindungen mittels GC-FID bzw. GC-MS zu bestimmen.

Die Art der Extraktion in Bezug auf die Geräteausrüstung, die Handhabung, und die Dauer des Vorganges lässt aber lt. Norm einige Bedingungen wählbar. Dies schlägt sich in der Vergleichbarkeit und in der Reproduzierbarkeit nieder, wenn die angeführten Proben nach dieser Norm in unterschiedlichen Labors untersucht werden.

Grundsätzlich sind die folgenden Verbindungsklassen aus den Proben interessant: BTX (Monoaromaten), PAK und Phenole.

Fokussiert auf die PAK lassen sich die folgenden kritischen Schritte anführen:

- Probenaufbereitung bei der Handhabung des Feststoffes, sowie einer notwendigen Trocknung,
- Extraktion in Apparaturen auf dem Funktionsprinzip von Soxhlet, Lösemittelauswahl,
- Aufkonzentration der Extrakte,
- Aufreinigung auf Feststoffphasen, zur Abtrennung z.B. polarer Begleitstoffe und
- Gaschromatographische Trennung in Bezug auf Bedingungen der Kalibration.

Die bisher üblichen Bedingungen zur Trocknung und der Extraktion führen zu einer breiten Streuung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse, welche der Bestimmung des wahren Konzentrationswertes nicht dienlich sind.

Im Detail sind merkliche Verluste z.B. der leichtflüchtigen Verbindungen wie Naphthalin und Anthracen möglich. Des Weiteren kann es durch die Wahl eines ungeeigneten Lösemittel zu Minderbefunden der höher siedenden Verbindungen mit 5 oder 6 aromatischen Ringen kommen. Grundsätzlich mag die Norm bei der Unterscheidung von Verunreinigungen über oder unter 1000 mg/kg adäquat sein, jedoch ist die Zuverlässigkeit unter 100 mg/kg unbefriedigend.

Zur Einschätzung dieser Situation wurde durch die FEE (Fördergesellschaft für Erneuerbare Energien in Deutschland) 2017 eine Vergleichsuntersuchung anhand einer speziellen Probe initiiert. Die oben angeführten Aussagen sind aus der internen Beurteilung der Ergebnisse abgeleitet, ohne hier jetzt alle Details anzuführen.

Ohne auf die Detailergebnisse einzugehen folgende qualitative Beurteilung:

- Bei Extraktionen nahe der Raumtemperatur ist mit Minderbefunden zu rechnen.
- Bei Extraktionen mit niedrig siedenden Lösemitteln, welche ev. auch polar sind, ist bei den höher siedenden Verbindungen mit Minderbefunden zu rechnen (obwohl die Bestimmung von Naphthalin und Anthracen damit verbessert wäre).
- Polare Lösemittel sind ungünstiger (Selektivität) im Vergleich zu unpolaren (alle Aromaten).
- Die Extraktion in der Soxhletapparatur wird durch den Siedepunkt des Lösemittels, die zeitliche Dauer, die Art der Beheizung und Kühlung beeinflusst.
- Minderbefunde entstehen durch unvollständige Extraktion, Abdampfverluste bei der Extraktion sowie späteren Aufkonzentration.

Die widerstreitenden Effekte geben in sich natürlich die Chance der Optimierung.

3 ANSATZ ZUR VERBESSERUNG

Mithilfe der Beratung bei zwei Workshops (Freiberg 09/2017 und Oberhausen 03/2018) wurden die folgenden Schlussfolgerungen zur Verbesserung der Untersuchungspraxis gezogen:

- Die Untersuchung bleibt weiterhin im Rahmen der EN 15527.
- Die Trocknung der Proben ist auf dem chemischen Wege empfohlen.
- Die Extraktion erfolgt in einer Soxhletapparatur mit dem Lösemittel Toluol.
- Die Extraktionsdauer sowie die technischen Prozessbedingungen sind noch festzulegen und zu vereinheitlichen.
- Die Analyse erfolgt bevorzugt nach Aufkonzentration und ohne Aufreinigung.
- Die chromatographischen Trennbedingungen sind zu vereinheitlichen.

Als Arbeitstitel für diese Zusatzempfehlungen für die Anwendung der EN 15527 ist der Begriff ‚Freiberger Protokoll‘ gewählt worden. Dies ist eine vorläufig freiwillige Vereinbarung zur Vereinheitlichung der Untersuchungsbedingungen und Arbeitsgrundlage für die weitere Vorgehensweise.

Die Prüfung dieser vorgeschlagenen Präzisierungen ist in einem Ringversuch mit realem Probenmaterial vorgeschlagen worden (Redaktioneller Stand Mai 2018).

4 SCHLUSSFOLGERUNG UND ZUSAMMENFASSUNG

Die Bestimmung der PAK in karbonisierten Feststoffen erfordert eine geeignete Methode zur Probenaufbereitung, insbesondere zur Gewinnung der Verbindungen von der aktiven Feststoffoberfläche.

Die Anwendung der EN 15527 erlaubt derzeit gewisse Wahlmöglichkeiten bei der Art der Extraktion und den technischen Bedingungen ihrer Durchführung. Eine von der FEE initiierte Vergleichsuntersuchung zeigte, dass die Ergebnisse einer realen Prüfprobe bei der Untersuchung in verschiedenen Laboratorien stark streuten (Reproduzierbarkeit).

Insbesondere die Optimierung von technischen Anlagen bzw. der darin erzeugten Produkte sind unter diesen Bedingungen der Materialuntersuchung unsicher. Weiterhin ist z.B. für die Beurteilung der Verwertbarkeit und die Erstellung von Sicherheitsdatenblättern eine Ermittlung „wahrer“ Werte erstrebenswert.

Daher wurde eine Liste von Maßnahmen abgeleitet, welche zwar die Untersuchung der Proben weiterhin im Rahmen der EN 15527 erlaubt, aber eine Zahl von zusätzlichen Festlegungen zu Details erfordert.

Die Eignung dieser Festlegungen wird in einem speziellen Ringversuch überprüft werden. (Redaktioneller Stand Mai 2018).

Dieser Bericht über die laufenden Arbeiten entspringt der Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut Umsicht in Oberhausen, der BAM Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin und der FEE Fördergesellschaft für erneuerbare Energien in Berlin. Für die schon jahrelange konstruktive Zusammenarbeit auf ausschließlich ehrenamtlicher Basis sei gedankt.

Die Unterlagen zu den angeführten Workshops sind kostenpflichtig bei der FEE Berlin erhältlich.

LITERATUR

- European Biochar Foundation (EBC) (2012) *European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar*. EBC Arbaz, Switzerland.
<http://www.europeanbiochar.org/en/download>. Version 6.4E of 2nd June 2018, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043EBC
- Austrian Standards Institute (ASI) (2008) *ÖNORM EN 15527 Charakterisierung von Abfällen – Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfall mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC/MS)*.
- Austrian Standards Institute (ASI) (2017) *ÖNORM EN 16181 Entwurf zu: Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm – Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)*.
- ISO Institute (ISO) (2004) *ISO/TS 21748 Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurements uncertainty estimations*.

Charakterisierung von belüftetem Deponiematerial betreffend Verwertbarkeit und Ablagerfähigkeit

M. Rapf

Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA), Lehrstuhl für Abfallwirtschaft und Abluft, Stuttgart, Deutschland

KURZFASSUNG: Als ein Teil der Erfolgskontrolle nach dreijähriger Belüftung eines Deponieabschnitts der Kreismülldeponie Konstanz wurde eine umfangreiche Probenahme- und Analysenkampagne durchgeführt. Ziel war darzustellen, mit welchem Aufwand sich von dem behandelten Deponiegut Wertstoffe abtrennen lassen, in welchem Zustand sich diese befinden und ob der Sortierrest sich ohne weitere Vorbehandlung auf einer MBA-Deponie ablagern ließe.

1 EINLEITUNG

Über drei Jahre wurde der mit unbehandelten Siedlungsabfällen verfüllte Abschnitt BA IV der Deponie Konstanz-Dorfweiher mittels extensiver Intervallbelüftung aerobisiert. Im Anschluss an die folgende zweijährige Monitoringphase wurden der Deponie größere Mengen Material entnommen, um zum einen die Veränderung des Abfalls mit dessen Zustand vor der Belüftungsmaßnahme zu vergleichen, und zum anderen den Abfall hinsichtlich der Verwertbarkeit und Deponierbarkeit verschiedener Abfallfraktionen im Falle eines eventuellen Rückbaus zu untersuchen.

Hierfür wurden an drei sich in unterschiedlichen Zuständen befindenden Stellen des Deponiekörpers Bohrungen von bis zu sieben Metern Tiefe angefertigt. Von jedem der insgesamt 16 Bohrmeter wurden Proben entnommen, gesiebt, sortiert und auf entscheidende biologische, chemische und physikalische Parameter untersucht. Es sollte u.a. die Frage beantwortet werden, ob sich eine Aerobisierung positiv auf die Verwertbarkeit der Abfälle auswirken und somit die Kosten eines Rückbaus verringern kann.

2 PROBENAHME

Die Bohrungen erfolgten an drei Stellen (BS = Bohrstelle), welche sich in ihrem Temperaturverlauf während der Belüftung und in ihrem Wassergehalt deutlich unterschieden.

BS 1 befand sich in eher trockenem, gut luftdurchlässigem Abfall. Die Temperatur stieg während der Belüftung schnell auf über 70 °C an und fiel nach einigen Monaten von allein wieder ab.

BS 2 befand sich im Bereich dauerhaften Wassereinstaus, die Temperatur stieg bei Belüftung nur zögerlich und erreichte selten mehr als 50 °C, jedoch mit ständig steigender Tendenz. Es wurde vermutet, dass sich eingeblasene Luft nicht weit verteilt hatte, und dass daher das Material nur unvollständig abgebaut worden war.

BS 3: Der Bereich um diese Bohrstelle kann zwischen den Charakteristiken von BS 1 und BS 2 eingeordnet werden. Der Temperaturanstieg erfolgte später als bei BS 1, nach einigen Monaten jedoch kühlte der Bereich wie bei BS 1 trotz anhaltender Belüftung wieder ab.

Die Bohrtiefen betragen bei Einhaltung eines Sicherheitsabstands zur Basis vier Meter an BS 1, sieben Meter an BS 2 und fünf Meter an BS 3.

2.1 Gewinnung von Deponiematerial aus verschiedenen Tiefen

Als Bohrergerät kam ein Kettenbagger mit ca. elf Meter langem Ausleger und Zweischalengreifer zum Einsatz. Mit ihm konnten senkrechte Bohrlöcher/Gruben mit einer Abmessung von ca. 1 Meter x 1,7 Meter hergestellt werden; das Gerät war für eine maximale Bohrtiefe von acht Metern ausgelegt.

Das nach Entfernung und getrennter Lagerung der Abdeckschichten entnommene Abfallmaterial wurde nach einem Meter mächtigen Bohrhorizonten sortiert auf der angrenzenden Fläche abgelegt. Jeder der 16 so gewonnenen Haufen entsprach damit 1,7 m³ Abfall im Einbauzustand.

Sobald die Proben genommen worden waren, wurde das Material mit dem Greifer wieder aufgenommen, ins Bohrloch zurück verfüllt und verdichtet. Zuletzt wurden die Lagerplätze von restlichem Abfall gesäubert und die Abdeckschichten wieder aufgetragen.

2.2 Gewinnung der Proben für Sortierung und Analysen

Aus jedem Haufwerk wurden mit Schaufeln an verschiedenen Stellen Proben genommen und in je drei Kunststoff-Spannringfässer à 60 Liter Inhalt gefüllt. Die maximale Korngröße der Proben betrug, bedingt durch die Größen von Schaufeln und Fässern etwa 30 bis 40 Zentimeter. Durchschnittlich wurden je Bohrmeter 50 Kilogramm Material entnommen.

Zusätzlich wurde auf die gleiche Weise feinkörniges Material (ca. zehn Millimeter) entnommen und umgehend gekühlt, um die biologischen Parameter gemäß DepV noch vor der weiteren Aufbereitung des Probenmaterials zeitnah bestimmen zu können.

3 SIEBUNG UND SORTIERUNG

Um die Zusammensetzung des gewonnenen Deponieguts zu bestimmen, die Qualität der enthaltenen Wertstoffe zu beurteilen und um das Verhalten des Materials bei der Klassierung zu beobachten, wurden die ca. 800 Kilogramm Probe für Siebung, Sortierung und Analytik in die Einrichtungen des ISWA nach Stuttgart transportiert.

3.1 Zweistufige Siebung

Die Proben aus den Fässern wurden für die weitere Aufarbeitung in der auf die Probenahme folgenden Woche in drei verschiedene Fraktionen (< 20 Millimeter, 20 bis 80 Millimeter und > 80 Millimeter) abgesiebt und sortiert. Die Grobfraction wurde über ein Durchwurfsieb, die feinen Fraktionen in einem Trommelsieb abgetrennt.

Bei den stark vernässten Proben aus den Tiefen von BS 2 verstopfte das zwei-Zentimeter-Trommelsieb. Die Abtrennung der Grobfraction dieser Proben sowie die gesamte Siebung der Proben aus den ungesättigten Bereichen erfolgten problemlos.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die drei gewonnenen Fraktionen der Abfallproben.



Abb. 1: Siebfraktionen.

3.2 Sortierung

Die beiden größeren Fraktionen (20 bis 80 Millimeter; > 80 Millimeter) wurden nach folgenden Bestandteilen sortiert:

- Heizwertreiches (Kunststoffe, Papier/Pappe, Holz, Textilien u.a.),
- Fe-Metall,
- Aluminium,
- Buntmetall,
- Verbundmaterialien (v.a. Metall mit Kunststoff) und
- Anorganik (Steine, Glas usw.).

Die heizwertreiche Fraktion wurde nicht weiter aufgetrennt, da eine stoffliche Verwertung von derart verschmutztem Material nicht in Frage kommt (siehe folgendes Kapitel).

4 VERWERTBARKEIT UND ABLAGERFÄHIGKEIT

Ziel eines Rückbaus ist die Siebung des Deponiematerials zur Auftrennung in Wertstoffe (Überkorn) und zu deponierenden Siebrest (Unterkorn). Die Art der Verwertung des Überkorns hängt von seinem Zustand nach der Siebung ab, und damit das Unterkorn ohne weitere Behandlung auf einer MBA-Deponie abgelagert werden kann, muss es die Zuordnungskriterien der DK II (MBA) nach DepV erfüllen. Die Ergebnisse der entsprechenden Untersuchungen werden in diesem Kapitel vorgestellt.

4.1 Sortierung der Siebfraktionen

Die Heizwertreiche Fraktion stellte mit 51 Massen-% der Gesamt-Probenmasse den größten Anteil dar; die beiden größeren Fraktionen bestanden im Schnitt zu 75 Massen-% aus heizwertreichem Material, fallweise waren bis über 90 Massen-% vorhanden. Abhängig von der Art der Materialien waren die Wassergehalte jedoch oft erheblich.

Bei einem durchschnittlichen Wassergehalt von etwa 45 Massen-% und unter Annahme eines mittleren Heizwerts von 20 MJ/kg TS ergibt sich ein Heizwert der Ori-

ginalsubstanz von etwa 10 MJ/kg. Zudem ist das Material stark verschmutzt, was seinen Heizwert weiter verringert. Es ist somit fraglich, ob diese Fraktion sich ohne Trocknung für die energetische Verwertung eignet und somit einen Erlös erzielen kann.

Auch andere Studien kommen zu dem Ergebnis, dass auf Grund mangelnder Reinheit die Verwertung der heizwertreichen Fraktion oft nicht rentabel ist. Siehe hierzu beispielhaft die Veröffentlichung „Deponierückbau“ des österreichischen Umweltbundesamts von 2011, Seite 46:

„Bei Kunststoffen erschweren starke Verschmutzungen und unbekannte Zusammensetzung die stoffliche Verwertung und auch deren Verwendung als Ersatzbrennstoff (EBS)“ (Hervorhebung hinzugefügt).

Es soll an dieser Stelle aber angemerkt werden, dass Papier und Holz anaerob zwar sehr schlecht abgebaut werden, auf lange Sicht jedoch einen erheblichen Anteil der gesamten Methanemissionen einer Deponie ausmachen können. Die Abtrennung der heizwertreichen Fraktion wäre somit auch ein Beitrag zum Klimaschutz.

Der massenmäßig bedeutendste Wertstoff nach der heizwertreichen Fraktion war der Eisenschrott. Mit etwa 3 % der Gesamt-Probenmasse liegt er in den Proben deutlich unter den in der einschlägigen Literatur verzeichneten Werten. Zudem ist das Material stark störstoffbehaftet (z.B. durch Deformation unter Einschluss größerer Mengen Nichtmetalls, siehe beispielhaft folgende Abbildung), so dass ein Erlös auch aus dieser Fraktion nur schwer erzielt werden kann.



Abb. 2: Deformiertes Metallrohr mit Störstoffen.

Die o.g. Studie kommt auf Seite 59 betreffend die Verwertbarkeit des Eisenanteils zu einer ähnlichen Aussage wie die vorliegende Untersuchung:

„Trotzdem ist es schwierig, bei der magnetischen Sortierung den Fremdstoffanteil klein zu halten. Wird eine thermisch verwertbare Altmüllfraktion aussortiert, kann es daher unter Umständen besser sein, eine Magnetabscheidung erst an der Müllverbrennungsanlage, nach der thermischen Behandlung, durchzuführen.“

wodurch ein Erlös durch aussortierten Eisenschrott allenfalls der MVA zugute käme. Alle anderen potentiell verwertbaren Fraktionen spielten bei den untersuchten Proben massenmäßig keine Rolle.

Der Massenanteil des nicht verwertbaren Siebrests betrug etwa 46 %, was sich in 33 % Unterkorn < 20 mm und 13 % Sortierreste der Fraktion 20 bis 80 Millimeter aufteilt.

4.2 Analysen gemäß DepV

Für die biologischen Tests und die Herstellung der Eluate wurde das vor Ort genommene und umgehend gekühlte Material < 10 Millimeter verwendet. Für die weiteren Feststoffanalysen (Glühverlust, TOC) wurde das Material aus der Siebfraktion < 20 Millimeter getrocknet, gemahlen und untersucht.

Eine zentrale Rolle für den Zustand des Deponieguts nach Belüftung spielte offenbar der Kontakt des Abfalls zu Wasser, wie die Abbildung 3 anhand der Werte für den DOC des Eluats demonstriert.

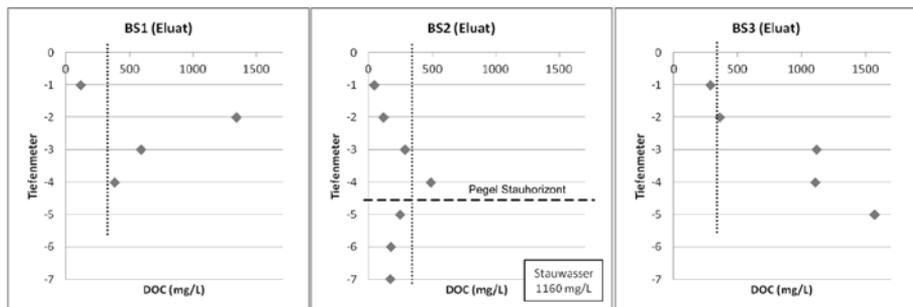


Abb. 3: gelöster organischer Kohlenstoff der Eluate der Abfallproben aus verschiedenen Tiefen.

In den oberen Schichten wurde der Abfall vom Regenwasser stark ausgewaschen, in den tieferen Schichten der wasserungesättigten Zone nimmt dieser Einfluss ab. Hier wurde durch die Belüftung mehr Wasser ausgetragen als nachfließen konnte, bestimmte Bereiche trockneten aus. Die durch die Belüftung anzuregenden biologischen Prozesse wurden dort gewissermaßen durch die Belüftung unterbrochen (Abbildung 4).

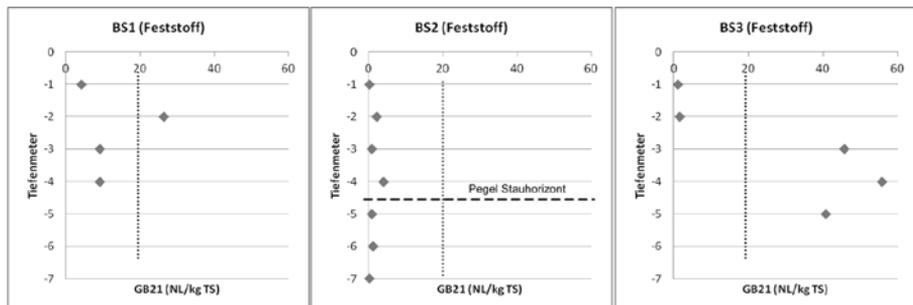


Abb. 4: GB21 der Abfallproben < 10 mm aus verschiedenen Tiefen. Markierung: GB21-Zuordnungswert für MBA-Rückstände gemäß DepV (20 NL/kg TS).

In den Bereichen mit nicht ausreichendem Wasserkontakt ließen sich zum Teil nach der Belüftung höhere biologische Aktivitäten feststellen als vor der Belüftungsmaßnahme. Offenbar wurden Substanzen biologisch teil-zersetzt, aber wegen Wassermangels (gemessene Wassergehalte unter 40 %) nicht weiter abgebaut und auch nicht ausgewaschen.

In Bereichen mit ausreichendem Wasserkontakt sorgten aerob biologischer Abbau und Auswaschungsprozesse für eine ausreichende Mineralisierung des Materials bis weit unter die Zuordnungswerte der DK II (MBA).

Im Übrigen konnten die Proben in allen anderen Parametern die Kriterien der DepV erfüllen, was aber auch bereits vor der Belüftungsmaßnahme der Fall war.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse einer groß angelegten Probenahme aus einer belüfteten Ablagerung unbehandelten Siedlungsabfalls mit Sortierung und Analytik der Proben können wie folgt zusammengefasst werden:

- Belüftetes Deponiegut lässt sich gut mittels Siebung klassieren; Wertstoffe, v.a. Heizwertreiches und Eisenschrott, können so einfach abgetrennt werden.
- Eine Aufwertung der Wertstoffe kann wegen deren intensiven Verbunds mit Störstoffen nicht beobachtet werden:
 - Die heizwertreiche Fraktion ist stark verschmutzt und hat einen sehr hohen Wassergehalt und wird deshalb nur geringe oder keine Erlöse erzielen.
 - Der Eisenschrott ist stark mit Störstoffen vermengt und wird deshalb nur geringe oder keine Erlöse erzielen.
- Durch die Abtrennung der Wertstoffe erfolgt jedoch eine starke Verringerung des erforderlichen Deponievolumens.
- Durch die Belüftung kann ein deponiefähiger, emissionsarmer Reststoff erzeugt werden.
- Durch die Entfernung von Papier und Holz können kleine, aber langanhaltende und damit doch bedeutende Methanemissionen vermieden werden.

6 AUSBLICK

Im Falle eines geplanten Rückbaus von Ablagerungen unbehandelten Siedlungsabfalls kann eine Belüftung vor allem betreffend der Deponierung der Siebreste eine sinnvolle Vorbehandlungsmaßnahme sein. Es können so Deponieraum eingespart und Methanemissionen verringert werden.

Eine Wertsteigerung recyclingfähigen Materials durch die Belüftung auf Grund verbesserter Entfernung von Störstoffen bei der Siebung ist nicht zu erwarten – das Material ist wasserhaltig und stark verschmutzt. Es ist aber auch keine Verschlechterung zu befürchten.

Sowohl die beschleunigte biologische Inaktivierung durch die Belüftung unter Vermeidung von Methanemissionen als auch die Abtrennung biologisch abbaubarer heizwertreicher Substanzen aus dem Deponiegut können einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Der Autor dankt dem baden-württembergischen Umweltministerium für die finanzielle Unterstützung des Projekts.

Statistisches Werkzeug zur Industriebrachflächen-Bewertung

C. Brandstätter, R. Prantl & P. Brandner
blp GeoServices gmbh, Wien, Österreich

A. Weinzettl, M. Ondra, N. Jafari & W. Schwaiger
TU Wien, Institut für Managementwissenschaften, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Das Forschungsprojekt ENTEKER hatte die Zielsetzung mittels statistischer Modellierung Vorhersagen über die Entwickelbarkeit österreichischer Industriebrachflächen von einer gewerblichen zu einer höherwertigen Nutzung zu treffen. Durch die Anwendung des entwickelten Werkzeugkastens erhält man einen Wahrscheinlichkeitswert, ob sich eine Fläche prinzipiell zur Entwicklung eignet. Die Datengrundlage für die Modellierung waren österreichweite soziokulturelle Daten auf Gemeinde- und Bezirksebene, räumliche Auswertungen, sowie anonymisierte Verdachtsflächendaten des Umweltbundesamts. Im Laufe des Projekts wurden drei verschiedene statistische Modelle erstellt: eines basierend auf Experteneinschätzung, eine multivariate Faktorenanalyse und ein Machine-Learning-Ansatz. Der Machine-Learning-Ansatz zeigte schließlich die besten Resultate.

1 EINLEITUNG

Viele kleine und mittelgroße österreichische Städte müssen mit den Herausforderungen umgehen, dass die industrielle Produktion in Europa generell abnimmt. Dabei bleiben oft Industriebrachflächen zurück, auch auf eigentlich attraktiven innerstädtischen Arealen. Obwohl die Wiedernutzung von solchen Industriebrachflächen eine Vielzahl an Vorteilen mit sich bringt, werden solche Flächen häufig nicht entwickelt.

Um diesen Missstand zu beheben, wurde ein Industriebrachflächen-Erkundungswerkzeug entwickelt und evaluiert. Das statistische Werkzeugset ermöglicht mit wenigen Daten die Berechnung der Umsetzungswahrscheinlichkeit für die Entwicklung einer Industriebrachfläche von einer gewerblichen zu einer höherwertigen Wohnnutzung. Das Modell wurde anhand österreichweiter Daten erzeugt, kalibriert und validiert. Die Modellüberprüfung erfolgte anhand der Nutzung zum Zeitpunkt der Verdachtsflächen-erhebung, die im Verdachtsflächenkataster des Umweltbundesamtes hinterlegt ist.

2 DATENGRUNDLAGE

Eine Übersicht über die im Projekt verwendeten Daten liefert die folgende Tabelle 1:

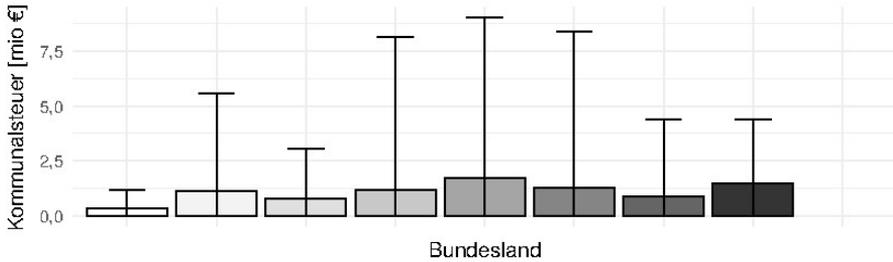
Tab. 1: Datenquellen (C. Brandstätter et al. 2018).

Datensatz	Ebene	Herkunft
Bevölkerungsdaten	Gemeinde	Statistik Austria
Straßendaten	räumlich, auf Gemeinde aggregiert	Graphenintegrationsplattform
Gemeindegrenzen	räumlich, Gemeindeebene	https://data.gv.at , BEV
Umkreisbevölkerung	Gemeinde	https://data.gv.at , Statistik Austria
Bahnhofsdaten	Gemeinde	Wikipedia
Immobilienpreise	Bezirk	Immobilienpreisspiegel WKÖ, http://www.immopreise.at/
Altstandorte	Flächenbezogen	Umweltbundesamt

Die Grundlagendaten lagen auf verschiedenen Ebenen vor: im Wesentlichen waren das Bezirks-, Gemeinde- und Flächenebene für die einzelnen Standorte. Die Daten wurden kombiniert und gemeinsam für die einzelnen Modelle verwendet. Zwei Beispiele für die vorhandenen Daten finden sich in Abbildung 1.

Kommunalsteuer Österreich nach Bundesländern

Quelle: Statistik Austria, "Blick auf die Gemeinde", abgerufen am 18.11.2016



Akademikerquote Österreich 2014 nach Bundesländern

Quelle: Statistik Austria, "Blick auf die Gemeinde", abgerufen am 18.11.2016

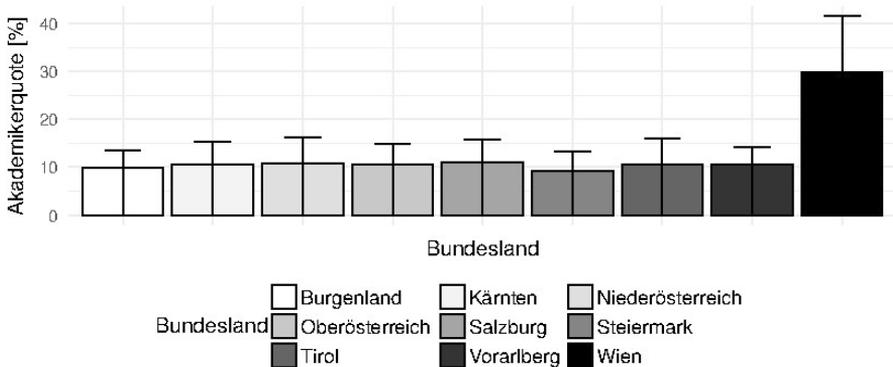


Abb. 1: Auszug aus dem Datensatz; Anmerkung: Die Werte sind Mittelwerte der einzelnen Gemeinden pro Bundesland und die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar.

3 MODELLIERUNG

Es wurden drei Modelle erstellt, angewendet und validiert.

3.1 Expertenmodell nach TIMBRE

Das im Rahmen des Projekts verwendete angepasste „TIMBRE-Modell“ (TIMBRE 2014) basiert auf dem EU Projekt „Tailored improvement of Brownfield Regeneration in Europe“ (kurz TIMBRE). Dieses Projekt bietet ein generisches Modell zur Bewertung von Brachflächen hinsichtlich ihrer Weiternutzung.

Hierbei werden unterschiedliche Indikatoren zunächst von Experten bestimmt und gewichtet, diese werden aggregiert zu Faktoren, welche wieder in gewichteter Form zu

Dimensionen zusammengefasst werden. Die Adaptierung für Österreich erfolgte anhand der Datenverfügbarkeit und Experteneinschätzungen. Das Modell (Abb. 2) wurde in mehreren Meetings gestaltet.

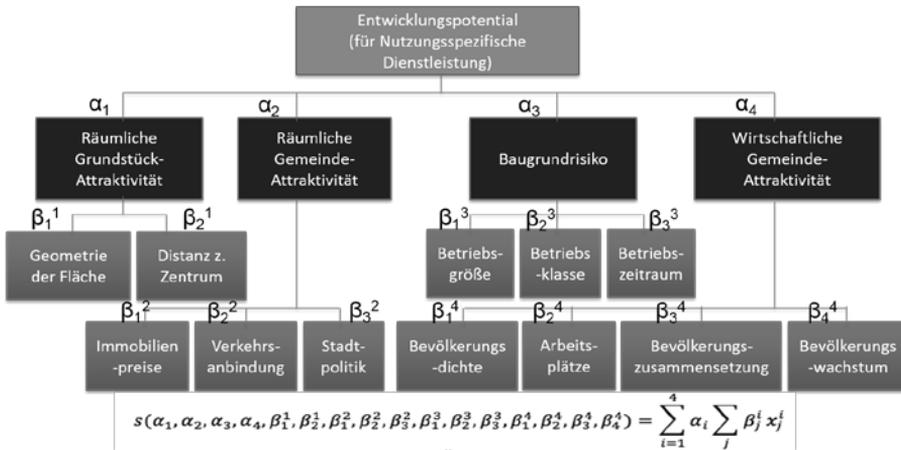


Abb. 2: Adaptierung des TIMBRE-Modells für Österreich.

Die Gewichtung auf beiden Ebenen des Modells (Abb. 2) erfolgte im Rahmen einer Expertenbefragung. Diese erfolgte mittels einer online-Befragung und es nahmen hauptsächlich Projektbeteiligte (bfp GeoServices gmbh, TU Wien und Umweltbundesamt) teil (Abb. 3).

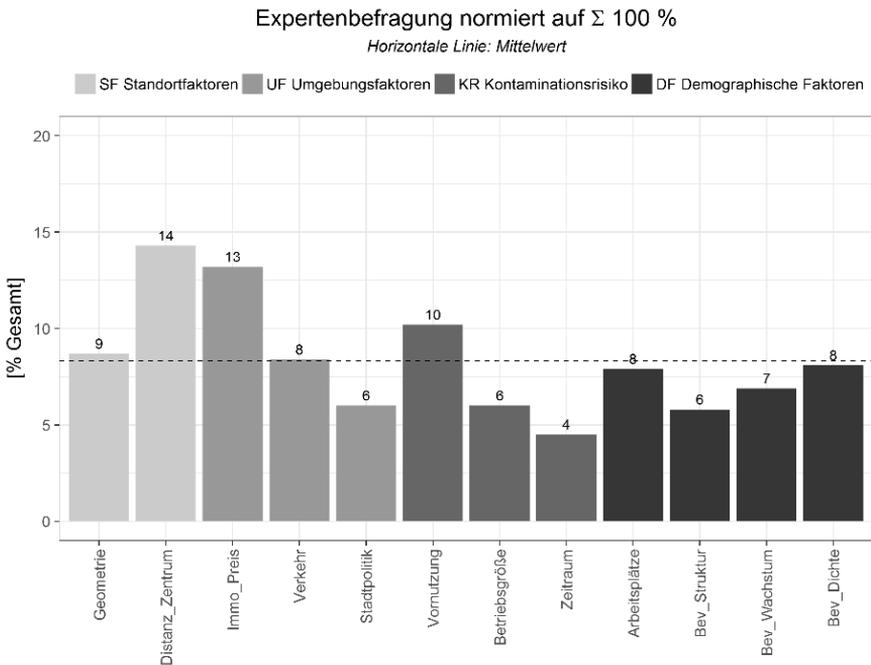


Abb.3: Ergebnis Expertenbefragung für die Eingangsparameter in das TIMBRE-Modell.

Als wichtigster Einflussfaktor auf die Wiedernutzung einer Industriebrachfläche wurde die Zentrumsnähe der einzelnen Flächen identifiziert, gefolgt vom allgemeinen Immobilienpreis und erst an dritter Stelle von der Vornutzung. Die Summe der Gewichtungen werden gemittelt, normiert und ein Ergebnis $> 0,5$ ergab, dass ein Standort für die Aufwertung zur Wohnnutzung geeignet war.

3.2 Faktorenanalyse mit logistischer Regression

In diesem Modell wurden zwei multivariate Verfahren angewandt (siehe Abb. 4): eine Korrespondenzanalyse für Daten auf der Standortebene (Grundstück-Daten), die, auch aus Gründen der Anonymisierung, als kategorielle Daten vorlagen. Auf Gemeinde-Ebene waren konnten numerische Daten für die zugrunde gelegten Variablen herangezogen werden, die einer Hauptkomponentenanalyse unterzogen wurden.

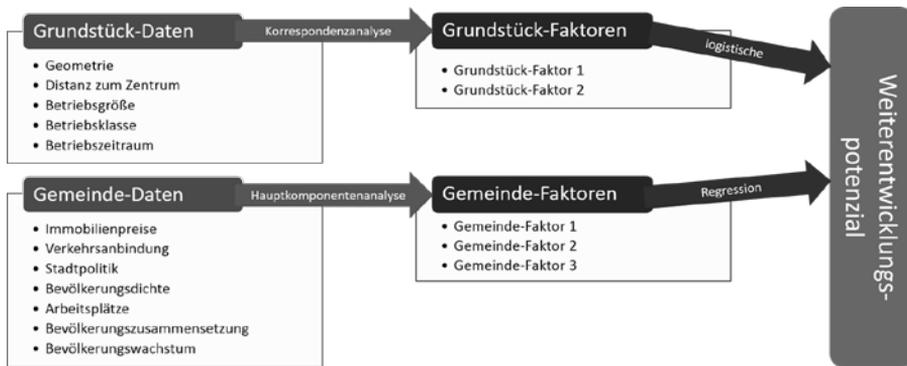


Abb. 4: Übersicht Faktorenmodell.

Die Scorewerte beider Verfahren wurden vereinigt und in eine logistische Regression überführt. Die logistische Regression liefert eine Ja / Nein Antwort, ob ein Standort für eine Wohnnutzung geeignet ist.

3.3 Machine-Learning-Ansatz

Beim Machine-Learning Ansatz schließlich wurden die Daten ebenfalls mittels einem logistischen Regressionsmodells analysiert. Dabei wurde zunächst für jedes Bundesland außer Salzburg und Wien ein globales Modell, welches alle Variablen enthält, initialisiert. Salzburg wurde ausgeschieden, weil es das erste Bundesland war, in dem die Verdachtsflächen erfasst wurden und gleichermaßen als Grundlage für die Erfassung der anderen diente. Die Daten unterschieden sich in der Erfassungs-Qualität stark und wurden daher nicht näher betrachtet. Wien wurde ausgeschieden, weil viele österreichweite Daten nicht verfügbar waren, die Grundstücksdaten noch nicht in derselben Erfassungsqualität vorlagen. Mit Hilfe des R-Pakets glmulti wurden aus der Gesamtheit aller möglichen Modelle unter Verwendung eines effizienten Suchalgorithmus die besten 50 Modelle gereiht.

Es werden jene Modelle als gleichwertig angesehen, die innerhalb von zwei AIC-Werten (Akaike Information Criterion) liegen. Diese Modelle werden dann als mögliche Kandidaten für das beste Modell angesehen. Aus diesen Modellen, gilt es über ein weiteres Optimalitätskriterium das beste Modell zu bestimmen. Die Modelle werden dann nach ihrer Vorhersagbarkeit (Predictability) gereiht. Dazu wird eine Monte Carlo Cross Validation durchgeführt, in welcher der Datensatz in einen Trainings-Datensatz, der 80 % der Daten enthält, und einen Test-Datensatz, der 20 % der Daten enthält,

zufällig aufgespalten wird. Dann wird jedes der Modelle aus den möglichen Kandidaten mit dem Trainings-Datensatz kalibriert und mit dem Test-Datensatz validiert. Das Verfahren wird dann 500-mal wiederholt und die durchschnittliche Vorhersagbarkeit (Predictability) dieser 500 Durchläufe berechnet. Dabei wird ein Grundstück als „erfolgreich weiterentwickelt“ vorhergesagt, falls das Modell eine Wiedernutzungswahrscheinlichkeit von mehr als 50 % aufweist. Umgekehrt wird ein Grundstück als „nicht erfolgreich weiterentwickelt“ vorhergesagt, falls die Wiedernutzungswahrscheinlichkeit kleiner als 50 % ist. Jenes Modell, welches den besten Wert dieser durchschnittlichen Vorhersagbarkeit aufweist, wird als das beste Modell ausgesucht. Diese besten Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

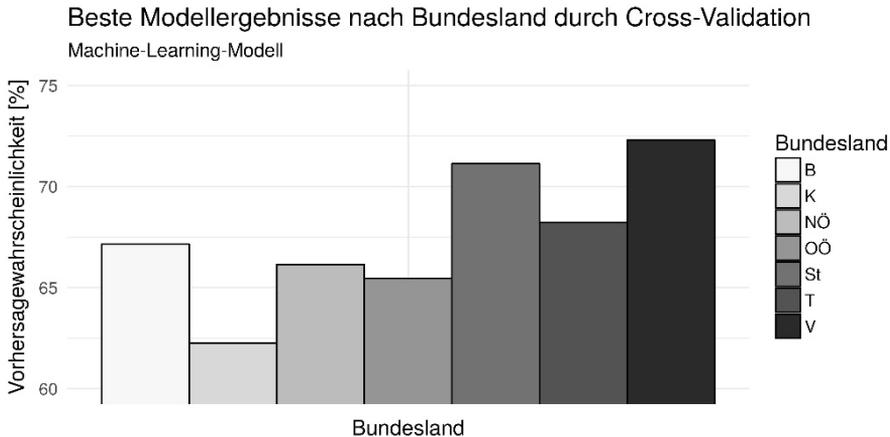


Abb. 5: Ergebnis Machine-Learning Ansatz.

Der Machine-Learning Ansatz lieferte von den drei Modellansätzen die besten Ergebnisse. Mit dem Modell konnte die Entwickelbarkeit einer Brachfläche abhängig vom Bundesland mit Werten zwischen 63 und 73 % vorausgesagt werden.

Um den Rahmen nicht zu sprengen, wird auf die Ergebnisdarstellung der anderen beiden Modelle an dieser Stelle verzichtet. Interessenten können gerne mehr Details dazu bei den Autoren erfragen.

4 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts konnte ein Werkzeugset, bestehend aus drei stat. Modellen, erstellt werden. Dieses erlaubt, die mögliche Nutzungsaufwertung eines Industriebrachflächenstandortes, etwa von einer gewerblichen zu einer Wohnnutzung, vorherzusagen.

Um das Modell auf einzelnen Standorten anwenden zu können, sind folgende Angaben notwendig (Tab. 2):

Tab. 2: Notwendige Eingaben für die Modellanwendung.

Eingaben / Fläche	Variable	Einheit	Erläuterung
einmalig	Bundesland	[-]	-
einmalig	Bezirk	[-]	-
einmalig	Gemeinde	[-]	-
einmalig	Katastralgemeinde	[-]	-
einmalig	Gemeindenname	[-]	-
einmalig	Postleitzahl	[-]	-

einmalig	Fläche	[m ²]	-
einmalig	Umfang	[m]	-
einmalig	Distanz zum Zentrum	[1-5 km, 5-10 km, oder über 10 km]	Auswahl; Distanz zum Rathaus, Ortszentrum oder dgl.
einmalig	Grundstücksnummern lt. Grundbuch*	[-]	Für alle betroffenen Grundstücke
Von allen bekannten Betrieben auf der Fläche	Branchen	Textbeschreibung	Falls bekannt: welche Branchen: Metallverarbeitung, etc.
Von allen bekannten Betrieben auf der Fläche	Betriebsgröße	[Klein-, Mittel- oder Großbetrieb]	Auswahl für alle bekannten Betriebe
Von allen bekannten Betrieben auf der Fläche	Betriebszeitraum	[von, bis, oder seit]	Dauer aller bekannten betrieblichen Aktivitäten (jeweils)
einmalig	Aktuelle Nutzung	Textbeschreibung	Was wird aktuell mit der Fläche gemacht?

Ziel ist es nun, dieses Werkzeug Immobilienentwicklern und Grundstücksbesitzern zur Verfügung zu stellen, um Ihnen ein Instrumentarium zur Risiko- und Chancenbewertung ihrer Industriebrachflächen in die Hand zu geben.

LITERATUR

- C. Brandstätter, A. Weinzettl, R. Prantl, P. Brandner, M. Ondra, N. Jafari, W. Schwaiger (2018) ENTEKER – ENTwicklung Eines Kostenlosen Industriebrachen-ERkundungsservices für Smart-City Stadtteile (Endbericht). Url: http://www.blp-geo.at/unser-unternehmen/downloads/enteker_inhaltlicher_abschlussbericht..
- TIMBRE (2014) "Tailored Improvement of Brownfield Regeneration in Europe". Url: <http://www.timbre-project.eu/timbre-project-170.html>.

Sicherung der Altlast N12 Kapellerfeld

S. Taborsky & A. Rath

PORR Umwelttechnik GmbH, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Am Rande des Marchfelds, direkt neben dem Marchfeldkanal, liegt die Altlast N12. Eine ehemalige Schottergrube die bis in die 80er-Jahre mit Hausmüll verfüllt wurde. Von der Firma PORR Bau GmbH Abteilung Spezialtiefbau wurde eine knapp 2 km lange Einphasenschlitzwand rund um das Gelände der ehemaligen Deponie errichtet. An fünf ausgewählten Stellen der Umschließung wurden zusätzlich Aktivkohlefilterfenster zur Reinigung des Grundwassers errichtet. Von der PORR Umwelttechnik GmbH wurde die erforderliche Oberflächenprofilierung hergestellt und die Erdarbeiten abgewickelt. Zur Absaugung der Deponiegase, die sich immer noch im Deponiekörper bilden wurden insgesamt 96 Gasbrunnen errichtet. Seit November 2017 ist die dazu erforderliche Bodenluftabsauganlage in Betrieb. Die Anlage wurde komplett von der PORR Umwelttechnik GmbH ausgelegt, geplant und installiert und wird für mindestens fünf Jahre betrieben. Das Projekt N12 startete im Oktober 2016 und Ende April 2018 wurden die Bauarbeiten abgeschlossen.

1 BESCHREIBUNG DER ALTLAST

Die ca. 190.000 m² umfassende Altlast N12 „Kapellerfeld“, die aufgrund der Nutzungsgeschichte in 4 Teilbereiche (B bis E siehe Abb. 1) unterteilt werden kann, befindet sich ca. 500 m nördlich der Ortschaft Gerasdorf bei Wien, unmittelbar nördlich des Marchfeldkanals. Die Altlast wurde von 1966 bis 1985 mit ca. 1.350.000 m³ Aushubmaterial/Abraum, Bauschutt und Hausmüll verfüllt.

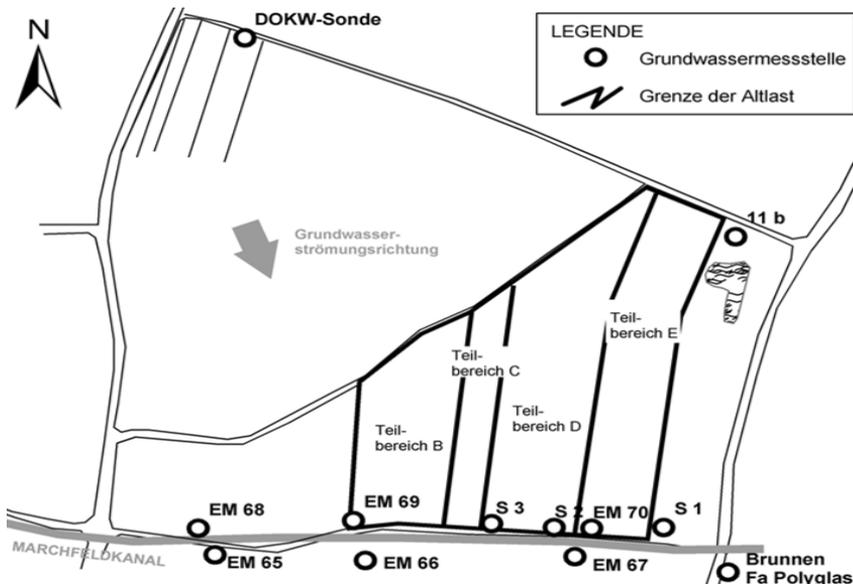


Abb. 1: Teilbereiche der Altlast N12 Kapellerfeld.

2 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Kleinflächig bestanden im Nahgebiet der Altlast bereits vor dem zweiten Weltkrieg Schottergruben. In der Nachkriegszeit kam es zu einer raschen Intensivierung und Ausdehnung des Schotterabbaues. Im Jahr 1972 war das gesamte Areal der Altablagerung von Auskiesung betroffen. Luftbildauswertungen aus den Jahren 1966, 1972, 1980 und 1986 ergaben, dass in allen Teilbereichen der Altablagerung "Kappellerfeld" der Schotterabbau bis in den Grundwasserschwankungsbereich erfolgte. In den Jahren 1966 und 1972 lagen in allen Teilbereichen die Sohliefen auf etwa 157 m ü.A. bis 158 m ü.A. Der Großteil der Altablagerung, die teils in das anstehende Grundwasser erfolgte, wurde zwischen 1970 und 1985 eingebracht.

Die Altablagerung wurde per 02.09.1991 als Altlast N12 ausgewiesen, per 20.04.1992 erfolgte die Zuordnung der Prioritätenklasse 1.

3 SANIERUNGSZIELE UND MASSNAHMEN

Aufbauend auf den Ergebnissen sämtlicher zur Verfügung stehenden Unterlagen, wurde durch die PORR Umwelttechnik GmbH eine Sanierungsvariantenstudie zur Ermittlung der ökologisch-ökonomischen Bestvariante zur Sanierung oder Sicherung des Standorts erstellt und bei der Kommunalkredit Public Consulting GmbH zur Förderung nach dem Umweltförderungsgesetz eingereicht.

Am 17.12.2012 wurde die gegenständliche Ausführungsvariante als die kostengünstigste Variante und gleichzeitig als die ökologisch-ökonomische Bestvariante mit dem höchsten Gesamtwirksamkeits- Kostenwert durch den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft – vorbehaltlich der Notifikation der Förderung durch die Europäische Kommission – formell genehmigt.

Das primär maßgebliche Schutzgut für die gegenständliche Verdachtsfläche ist das Grundwasser. Das Schutzgut Luft wird ebenfalls einerseits durch klassische Depo-niegase (Methan, CO₂) aber auch durch LHKW und BTEX erheblich verunreinigt, wobei LHKW und BTEX in der Bodenluft primär für das Schutzgut Grundwasser von Relevanz sind (siehe Abb. 2). Der kontaminierte Boden ist zwar die Ursache für die Verunreinigung des Grundwassers, stellt aber im gegenständlichen Fall nicht das eigentliche Schutzgut dar, da der Boden nicht landwirtschaftlich genutzt wird.

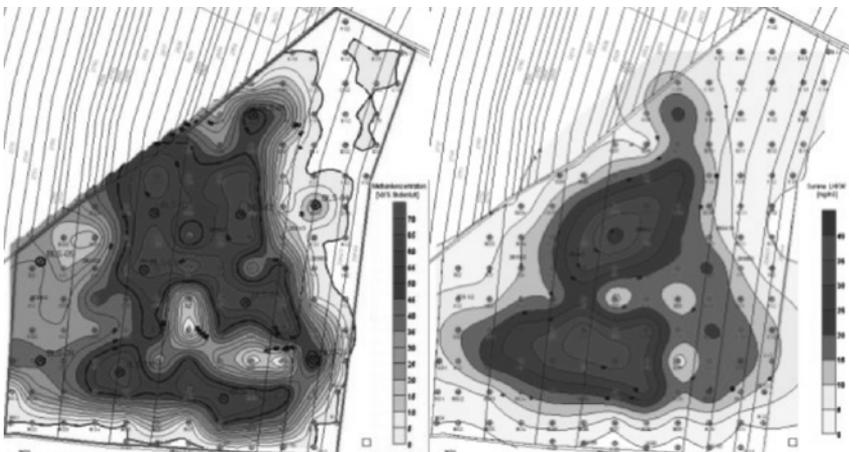


Abb. 2: Interpolation Methan-Konzentration (links) und LHKW-Belastung (rechts) jeweils in 2m Tiefe.

Ziel der Maßnahmen zur Sicherung bzw. Sanierung war, dass die bestehende Schadstoffverfrachtung in das Grundwasser so weit unterbunden wird, dass es einerseits kurzfristig zu keiner weiteren erheblichen Schadstoffausbreitung mehr kommt und dass es andererseits mittelfristig zu einer Rückbildung der Schadstoff-fahne kommt.

Die ARGE Sanierung Altlast N12, bestehend aus der Fa. PORR Bau GmbH Abteilung Spezialtiefbau und der Fa. PORR Umwelttechnik GmbH, wurde mit der Ausführung der Sanierung der Altlast mittels einem Funnel + Gate System, einer Oberflächenabdeckung und einer Bodenluftabsaugung beauftragt.

4 FUNNEL + GATE SYSTEM

Die Deponieumschließung wurde in Form einer Einphasendichtschlitzwand mit einer Wandstärke von 80 Zentimeter ausgeführt. Die Abwicklungslänge beträgt über 1.800 Laufmeter und reicht bis zu 42 m in die Tiefe. Um die Dichtigkeit nach unten zu gewährleisten, bindet die Schlitzwand 1,5 m in den Stauer ein. Um den Grundwasserstrom möglichst ungestört zu belassen, wurden Öffnungen mit Filterfenster (siehe Abb. 3) in der Dichtwand vorgesehen, die mittels Aktivkohle das durchströmende Wasser reinigen.

Dabei handelt es sich um ein passives Grundwasserdekontaminierungsverfahren, dass auf dem Durchtritt des Grundwasserstromes nur aufgrund des natürlichen Potentialgefälles basiert. Diese Art der in-situ Grundwasserreinigung ist eine besonders nachhaltige Methode zur Sicherung von Altlasten mit langfristig anberaumter Betriebsdauer, da jegliche Pumpmaßnahmen entfallen und systembedingt geringe Betriebs- und Wartungskosten entstehen.

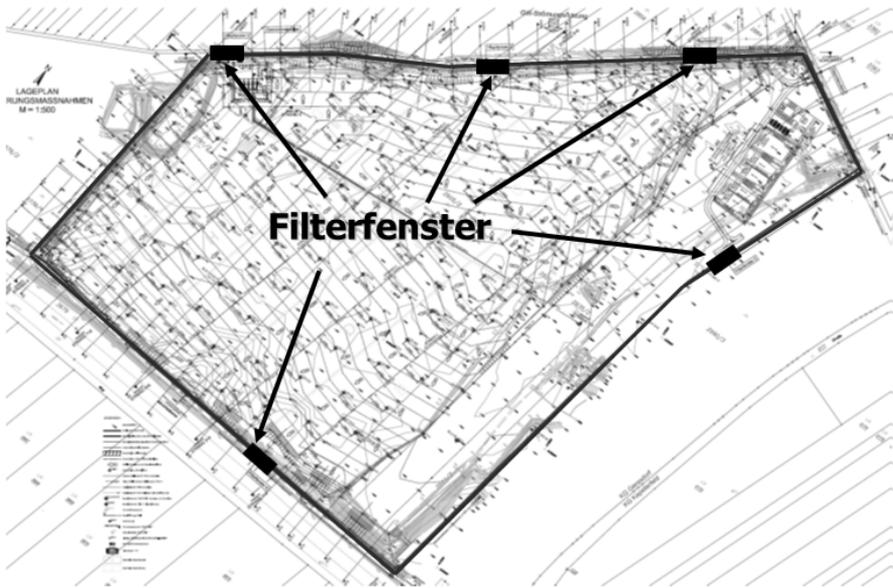


Abb. 3: Fünf Aktivkohlefilterfenster zur In-Situ Grundwasserbehandlung.

5 BODENLUFTABSAUGUNG

Die Sicherungsmaßnahme wurde ergänzt durch eine Bodenluftabsaugung in Kombination mit einer Oberflächenabdeckung. Die Abdeckung gewährleistet mittels definierter Durchlässigkeit das Eindringen von Regenwasser, um die chemischen Abbauprozesse im gesamten Deponiekörper zu ermöglichen. Die Bodenluftabsaugung entfrachtet die so entstandenen leichtflüchtigen, halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) und die aromatischen Kohlenwasserstoffe (BTEX) aus dem Müllkörper.

Zur Absaugung der Deponiegase, die sich noch immer im Deponiekörper bilden, wurden 96 Gaspegel gebohrt. Über diese Gaspegel wird mittels Filterrohren das Deponiegas abgesaugt und über neun Sammelstränge zur Absauganlage befördert.

Um die Anlage vor Schäden durch Wasserschläge oder mitgesaugte Partikel am Gebläse zu schützen, wurden ein Wasserabscheider und ein Filter in der Rohrleitung installiert. Das abgesaugte Deponiegas wird danach über zwei Aktivkohlefilter und einen Biofilter gereinigt und in die Atmosphäre befördert. Die Anlage bleibt vorerst für die nächsten 5 Jahre in Betrieb.

Die verschiedenen Komponenten der Bodenluftabsauganlage (siehe Abb. 4) wurden ebenfalls von der PORR Umwelttechnik ausgelegt. Dazu zählen zum Beispiel: der Manometer, Druck- und Temperaturmessungen, die automatische Regelklappe - die Frischluft beimengen kann, um die Explosionsgrenzen nicht zu überschreiten - und Schwingungssensoren. Ein 20-Fuß-Container wurde als Maschinenraum beansprucht. Gemeinsam mit der PORR Equipment Services wurde die Hard- und Software Ausrüstung der Anlage ausgearbeitet.

Die Sicherheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wird über Gasdetektoren und Alarmeinrichtungen sichergestellt.



Abb. 4: Containerausführung der Absauganlage (v.l.n.r.): Steuerungs- und Maschinencontainer, Aktivkohlefilter(schwarz) und Biofiltern (niedriger blauer Abrollcontainer).

6 OBERFLÄCHENABDECKUNG

Um eine effiziente Bodenluftabsaugung zu ermöglichen, wurde eine Oberflächenabdeckung (siehe Abb. 5) auf die Altlast aufgebracht. Die Oberflächenabdeckung um-

fasst ausschließlich jene Deponiebereiche, die von der Bodenluftabsaugung betroffen sind. Die Oberflächenabdeckung wurde auf ein Gefälle von mind. 2 % projektiert.

Der primäre Zweck dieser Oberflächenabdeckung ist die Vergleichmäßigung des Zustroms atmosphärischer Luft in den Deponiekörper im Rahmen der Bodenluftabsaugung (LHKW und BTEX). Dabei soll eine Ausgleichsschicht Kurzschlussströmungen von atmosphärischer Luft vermeiden und zugleich Niederschlagswässer flächig verteilt in den Ablagerungskörper eindringen lassen.

Die darauf aufgebrachte Rekultivierungsschicht soll neben der eigentlichen Verbesserung der Erosionsstabilität durch Vegetationsausbildung auch die Funktion der Ausgleichsschicht unterstützen.

Der Schichtaufbau der Oberflächenabdeckung wurde wie folgt ausgeführt (von oben nach unten):

- 0,50 m bewuchsfähiges Material ca. 67000 m³,
- 0,40 m Ausgleichsschicht ca. 57500 m³,
- Profilierungsmaterial BAWP Klasse A2 ca. 62000 m³ und
- Vorhandenes Deponiegut der Altlast.

Der Einbau der Wasserhaushaltsschicht erfolgte mit Erdbaugeräten mit breiten Kettenlaufwerken, um einen zu hohen Verdichtungsgrad des Materials zu vermeiden.

Nach der Bepflanzung wird sich langfristig durch den natürlichen Bodenbildungsprozess ein Schichtaufbau mit abgestuften organischen Gehalten, ähnlich einem natürlichen Bodenaufbau, einstellen.



Abb. 5: Baufeld mit Sicht auf Oberflächenabdeckung und Bodenluftabsauganlage.

7 REKULTIVIERUNG UND WIEDERAUFFORSTUNG

Auf dem gerodeten Teilbereich wurde eine Wiederaufforstung von 29018 m² (siehe Abb. 6) mit den Baumarten Eiche, Hainbuche, Bergahorn, Vogelkirsche und Elsbee-

re in einer ausreichenden Pflanzenanzahl (3.000 Stk. pro ha) im Pflanzverband 2,2 m x 1,5 m, durchgeführt. Die Aufforstung wurde mittels einer Einzäunung vor Wildverbiss geschützt.

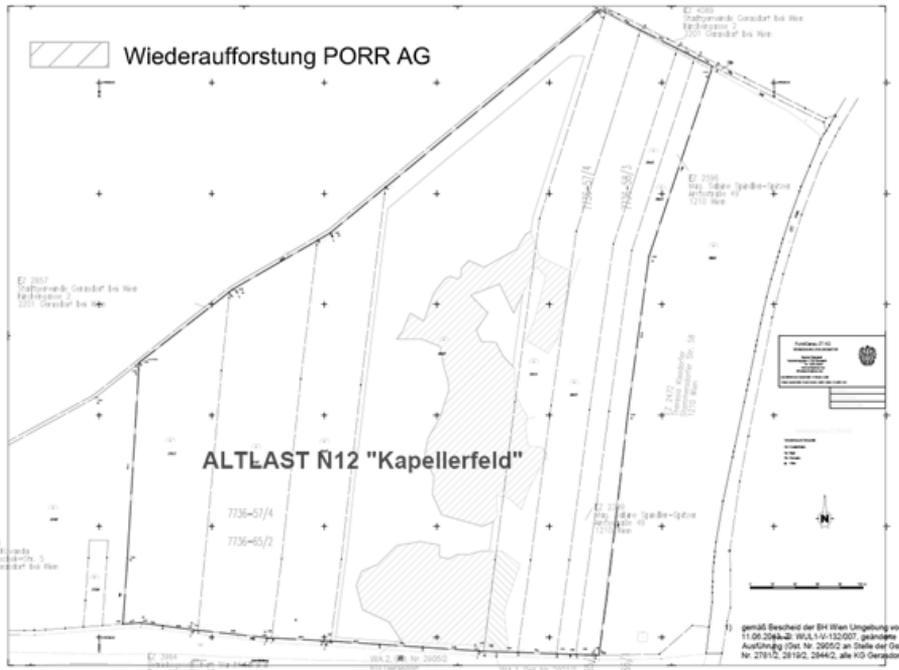


Abb. 6: Ersatz und Wiederaufforstungsfläche.

8 DAUER DER MASSNAHMEN

Die erforderliche Dauer der Maßnahmen lässt sich nur grob abschätzen. Auf Basis von Erfahrungswerten mit vergleichbaren Altlasten wird davon ausgegangen, dass die LHKW-Belastung in der Bodenluft nach rund 10 Jahren soweit reduziert ist, dass die Bodenluftabsaugung beendet werden kann. Sobald die LHKW-Belastung in der Bodenluft auf einen tolerablen Wert abgesunken ist, wird es auch zu keinen nennenswerten Einträgen von LHKW in das Grundwasser mehr kommen.

Die voraussichtliche Dauer der erforderlichen Grundwassersicherung bis zur dauerhaften Einhaltung des Sanierungsziels für das Grundwasser wird auf weitere 5 bis 15 Jahre geschätzt. Die Gesamtdauer der Maßnahmen wird somit auf Basis des derzeitigen Wissensstandes auf ca. 15 bis 25 Jahre geschätzt.

Die Anlage wird mindestens fünf Jahre betrieben und sollte wartungsfrei laufen. Die automatischen Aufzeichnungen stehen dem zuständigen Techniker online zur Verfügung. Bei Problemen meldet sich die Anlage mittels SMS mit einer Fehlermeldung.

Das Projekt N12 startete im Oktober 2016 und Ende April 2018 wurden die Bauarbeiten abgeschlossen.

Sanierung Ölschaden Floridsdorf

H.-P. Weiß, R. Philipp & M. Fencel
TERRA Umwelttechnik GmbH, Wien, Österreich

KURZFASSUNG: Die Sanierung von Kohlenwasserstoff-Kontaminationen in Untergrund und Grundwasser im dicht bebauten städtischen Gebiet erfordert eine Reihe von aufeinander abgestimmten Maßnahmen. Im Folgenden wird eine Kombination aus Ex-situ- und In-situ-Sanierungsmaßnahmen am Beispiel einer Kontamination durch Heizöl beschrieben. Rund 4.000 Liter Heizöl gelangten im Rahmen einer Fehlbetankung über einen Schacht im Keller einer Wohnhausanlage in den Untergrund. Nach der sofortigen Errichtung eines Sperrbrunnens wurde der Schadensherd mit insgesamt 20 Bohrungen eingegrenzt und das Schadensausmaß anhand von Feststoffproben erfasst. Die Kontamination im Feststoff erstreckte sich über eine Fläche von rd. 1.400 m². Die hydraulischen Sofort- und Sicherungsmaßnahmen gegen ein Verdriften der Schadstofffahne wurden innerhalb von zwei Monaten zu einer Pump & Treat Sanierungsanlage erweitert. Zwei Sanierungsbrunnen werden zur Grundwassersicherung dauerhaft bepumpt. Die dem Grundwasser aufschwimmende Ölphase wird von Skimmern abgezogen. Zur Grundwasserbeweissicherung werden monatlich aus 12 Messstellen Proben entnommen und analysiert. Im Bereich des Schadensherdes wurde zur Entfernung der Kontamination der ungesättigten Zone ein Aushub unterhalb der Kellersohle durchgeführt. Das im Grundwasserschwankungsbereich am Sediment anhaftende Öl wurde mittels Spüllanzen ausgespült, abgesaugt und entsorgt. Zur weiteren Sanierung der gesättigten Bodenzone wurde eine Belüftungsanlage errichtet. Dafür wurden, von der Baugrubensohle aus, Lanzen in den Boden eingebracht, über die Luftsauerstoff eingepresst wird. Zur Absaugung der Bodenluft wurden an der Baugrubensohle Absaugleitungen verlegt.

1 EINLEITUNG UND SCHADENSBIELD

Im nachfolgend beschriebenen Sanierungsfall gelangten fast 12.000 Liter des Heizöls „leicht Schwechat 2000“ statt in einen Tank, in den Heizöllagerraum im Keller einer Wohnhausanlage. Etwa 8.000 Liter konnten umgehend abgepumpt werden. Daraus ergibt sich, dass rd. 4.000 Liter Heizöl durch die undichte Ölwanne, sowie durch eine Öffnung in den Nebenraum und von dort durch einen undichten Schacht in den Untergrund gelangen konnten. Dadurch wurde der Untergrund bis in den Grundwasserbereich kontaminiert.

Im Untergrund liegen unter ca. 2 bis 4 m mächtigen anthropogenen Anschüttungen grundwasserführende Kiese mit wechselndem Sandgehalt vor. Der Grundwasserspiegel liegt bei ca. 7 m unter Gelände, in einer Tiefe zwischen ca. 11 m und 13 m unter GOK setzt der Stauer, in Form von Schluffen oder Feinsanden, ein. Die Grundwasserströmung verläuft in diesem Gebiet generell Richtung Ost bis Südost mit einem Gefälle von rund 0,7 bis 1 ‰.

Im Rahmen der Sofortmaßnahmen wurde ein Sperrbrunnen zur Grundwassersicherung errichtet. Zur Abgrenzung des Schadens wurden zehn Kernbohrungen sowie zehn Rammkernsondierungen abgeteuf, Einzel- und Mischproben entnommen und auf Kohlenwasserstoffe analysiert. Zusätzlich zu den Feststoffproben wurden unmittelbar nach Errichtung der Grundwassermessstellen Pump- und Schöpfprouben entnommen und ebenfalls auf Kohlenwasserstoffe analysiert.

Am Standort erstreckte sich die Kontamination im Feststoff (gesättigte und ungesättigte Bodenzone) über eine Gesamtfläche von rd. 1.400 m², mit teils massiven Überschreitungen des Maßnahmenschwellenwertes (MSW) gemäß ÖNORM S 2088-1 mit einem Maximalwert von 111.000 mg/kg TS. Dementsprechend zeigten sich auch die Eluatgehalte deutlich überhöht.

Im Grundwasser bildete sich der Schaden vor allem durch eine aufschwimmende Ölphase mit mehreren Zentimetern bis zu mehreren Dezimetern Mächtigkeit, ab. Hinsichtlich der Messwerte KW-Index in den Wasserproben konnte bereits im Vergleich der ersten und zweiten Grundwasserbeprobungskampagne eine Rückbildung der Ausbreitungsfahne durch die unmittelbar nach dem Schadenseintritt ergriffenen Maßnahmen beobachtet werden.

2 SANIERUNGSMASSNAHMEN

Nachfolgend den Sofortmaßnahmen wurden folgende Maßnahmen gesetzt:

- Grundwassersicherung, Pump & Treat Anlage mit Aktivkohlefiltern und Versickerungseinheit, Ölphasenabzug mittels Skimmern,
- Ex-situ-Sanierung mittels Bodenaustausch und
- Be- und Entlüftungsanlage.

2.1 Grundwassersicherung, Pump & Treat Anlage

Zur hydraulischen Sicherung des Grundwassers, um eine weitere Ausbreitung des Schadstoffes zu verhindern, erfolgte, basierend auf einem 3-stufigen Pumpversuch, eine rechnerische Reichweitenermittlung und eine Modellierung zur Festlegung der benötigten Pumpraten für die Erzeugung eines ausreichenden Absenktrichters. Demzufolge wird die Anlage mit der ermittelten Pumprate betrieben, wobei eine Pegelregelung in einem der Brunnen sicherstellt, dass die errechnete Absenkung zu jedem Zeitpunkt erreicht wird.

Die Anlage besteht aus einem Sanierungsbrunnen im Anstrom und einem Sanierungsbrunnen im Abstrom des Schadenszentrums. Die aus dem Grundwasserleiter entnommenen Wässer werden über zwei Wasseraktivkohlefilter geleitet und so die MKW-Belastungen entfernt. Die gereinigten Wässer werden über eine Versickerungsanlage in zwei Versickerungsbrunnen zu gleichen Teilen eingeleitet.

Von den gesamt derzeit in Betrieb befindlichen zwölf Grundwassermessstellen sind vier mit Skimmern ausgestattet um die dem Grundwasser aufschwimmende Ölphase abzuführen. Mittels eines Ölabscheiders erfolgt die Separierung des so geförderten Heizöl-Wasser-Gemisches.

2.1.1 Grundwasserbeweissicherung

Zur Grundwasserbeweissicherung werden monatlich Schöpf- und Pumpproben aus den Grundwasserpegeln entnommen. Das Rohwasser vor den Aktivkohlefiltern und das Versickerungswasser nach den Aktivkohlefiltern wird ebenfalls in monatlichen Abständen auf den Parameter KW-Index beprobt und analysiert.

Damit wird sichergestellt, dass die Einhaltung der Grenzwerte, wie 0,1 mg/L KW-Index für das zur Versickerung gelangende Wasser, laufend überprüft wird.

2.2 Bodenaustausch/Kontaminationsaushub

Aufgrund der stark überhöhten Schadstoffkonzentrationen im Schadensherd erfolgte eine ex-situ-Dekontamination in Form eines Bodenaustausches. Um den Untergrund unterhalb des Kellers des Wohnhauses abgraben zu können und die Standsicherheit von Fundament und Baugrube zu gewährleisten, wurde eine Hochdruckbodenvermörtelung in Form von HDBV-Säulen entlang der Fundamentierung errichtet.

Das verunreinigte Erdreich wurde bis auf Höhe des Grundwasserspiegels abgegraben. Ein Tieferführen des Aushubs war aus statischen Gründen nicht möglich. Das an den Baugrubenwänden anhaftende Öl wurde mittels Hochdruckreiniger abgespült und das im Schwankungsbereich des Grundwassers am Sediment anhaftende Öl wurde mit Spüllanzens ausgespült, abgesaugt und entsorgt.

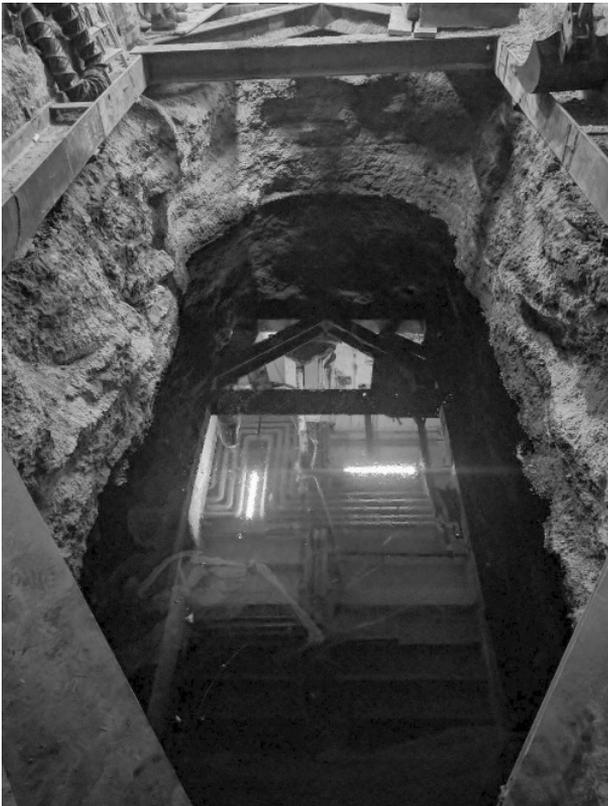


Abb. 1: Das durch die Spüllanzens ausgespülte Öl sammelt sich in der Baugrube.

2.3 Belüftungsanlage

Die Belüftungsanlage wurde in Anlehnung an den Technischen Leitfaden Biologische Sanierung der gesättigten Bodenzone – Bio Sparging (Philipp et al. 2006) durchgeführt und dient zur Entfernung des Kontaminanten aus der gesättigten Bodenzone. Durch gezieltes Einpressen von Umgebungsluft über Lanzen in den Grundwasserkörper wird der mikrobielle Abbau des Schadstoffes angeregt. Gleichzeitig beladen sich die aufsteigenden Luftbläschen mit den leichtflüchtigen Anteilen des Schadstoffes

was zur Entfrachtung in Richtung ungesättigte Bodenzone führt, wo diese durch eine gezielte Absaugung der Bodenluft über Abzugsleitungen abgesaugt werden. Im Wesentlichen tritt ein mechanischer Reinigungseffekt auf. Durch kleinste Bewegungen im Korngefüge, hervorgerufen durch den eingebrachten Luftvolumenstrom, können sich anhaftende Ölpartikel von der Kornoberfläche ablösen. Diese steigen durch ihre geringere Dichte an die Grundwasseroberfläche, von wo sie mittels der Skimmer in den Brunnen abgezogen werden können.

Ausgehend von der Aushubsohle, wurden insgesamt 14 Belüftungsanlagen mit je drei Metern Länge in den Boden eingebracht. Über diese wird mittels eines Drehschieberverdichters Umgebungsluft eingepresst. An der Aushubsohle wurden zur Absaugung der Bodenluft insgesamt neun Absaugleitungen verlegt. Die abgesaugte, belastete Bodenluft wird zur Reinigung über einen Wasserabscheider und einen Aktivkohlefilter geführt.

3 ZUSAMMENFASSUNG

Der Erstellung des Sanierungskonzeptes mit einer Kombination aus Ex-situ- und In-situ-Sanierungsmaßnahmen lag eine umfassende Erkundung zur Erfassung des Ausmaßes der Kontamination zugrunde. Gleichzeitig wurden und werden die Sanierungsschritte und die Weiterführung der Sanierungsanlagen an die laufend gewonnenen Daten angepasst.

Durch die Lage des Schadensherdes unter den Kellerräumen einer Wohnhausanlage ergaben sich Rahmenbedingungen denen mit besonderen Vorkehrungen begegnet werden musste. So konnte der Aushub des stark kontaminierten Materials erst durchgeführt werden nachdem eine Hochdruckbodenvermörtelung zur Sicherung der Fundamente und der Baugrube durchgeführt wurde.

Durch das Zusammenspiel der Sanierungsmethoden konnte nicht nur eine relevante Verkürzung der Sanierungszeit erreicht werden, sondern auch innerhalb dieser kurzen Zeit ein Großteil der Kontamination entfernt werden.

LITERATUR

ÖNORM S 2088-1, Altlasten – Gefährdungsabschätzung für das Schutzgut Grundwasser (2004)
Philipp, R., Loibner, A.P., Aichberger, K. (2006) *Technischer Leitfaden, Biologische Sanierung der gesättigten Bodenzone – Bio Sparging*. ÖVA, Wien.

Förderung und Trennung von komplexen DNAPL-LNAPL Phasengemischen auf der Altlast O76 „Kokerei Linz“

F. Mönter & F. Reiß

Züblin Umwelttechnik GmbH, Projektleitung, Stuttgart, Deutschland

KURZFASSUNG: Bei der Altlast O76 „Kokerei Linz“ handelt es sich um eine bereits seit 1942 existierende Kokerei, die im zweiten Weltkrieg weitgehend zerstört, anschließend wiederaufgebaut und in Betrieb genommen wurde. Das Areal umfasst ca. 350.000 m² und weist mehrere Hotspots auf, in denen massive Teerölkontaminationen und Kontaminationen durch aromatische Kohlenwasserstoffe vorliegen. Es fand bereits ein erheblicher Schadstoffeintrag ins Grundwasser statt. Teil der weitreichenden Sanierungsmaßnahmen war die Errichtung einer mehrstufigen Grundwasserreinigungsanlage zur Behandlung der komplexen DNAPL-LNAPL Phasengemische und des kontaminierten Grundwassers selbst. Züblin Umwelttechnik GmbH wurde mit der Herstellung, Lieferung und Montage der Anlage beauftragt.

1 EINLEITUNG

Im Rahmen der Sanierung Altlast O76 „Kokerei Linz“ wurde Züblin Umwelttechnik GmbH damit beauftragt, auf dem Werksgelände der voestalpine Stahl GmbH eine Anlage zur Phasenschöpfung und Grundwasserreinigung zu planen und zu errichten. Im Bereich der Altlast O76 „Kokerei Linz“ wurde sowohl schwere, am Grundwasserstauer aufsitzende Phase (DNAPL), als auch leichte, auf dem Grundwasserspiegel aufschwimmende Phase (LNAPL) nachgewiesen. Das Grundwasser ist teilweise stark mit gelösten und ungelösten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und aromatischen Kohlenwasserstoffen der Gruppe BTEX verunreinigt. Die zu erwartenden Maximalkonzentrationen betragen 100 mg/l BTEX und 150 mg/l PAK. Eine besondere Herausforderung stellt die Förderung und Trennung des komplexen Phasengemisches dar.

2 VERFAHRENSTECHNIK UND ANLAGENTECHNIK

Die Anlage umfasst Förderungseinheiten zur Fassung von DNAPL-Phase direkt aus den Pegeln (Bandskimmer) und Fördereinheiten (Brunnenpumpen) für ein Phasen-Wassergemisch, das über eine mehrstufige Reinigungsanlage aufbereitet wird. Dazu wurden zahlreiche vertikale Förderbrunnen eingerichtet, wobei diese entweder mit einem Bandskimmer zur Förderung von DNAPL oder mit einer Brunnenpumpe (zur Förderung des Phasen-Wassergemisches) ausgerüstet werden können. Gleichzeitig können bis zu drei Brunnenpumpen (je 6 l/s) und bis zu 6 Bandskimmer betrieben werden. Die Pumpen und Skimmer werden dem Sanierungsfortschritt entsprechend versetzt.

Die Bandskimmer zur Förderung von DNAPL wurden als autarke und einfach zu versetzende Einheiten konstruiert, sodass ein Umsetzen auf einen anderen Pegel ohne großen Aufwand möglich ist. Das Phasen-Wasser-Gemisch sowie LNAPL wird hingegen über im Untergrund verlaufende Leitungstrassen zur Grundwasserreinigungsanlage gefördert und dort über einen mehrstufigen Reinigungsprozess abgereinigt und wieder abgeleitet.

In der ersten Reinigungsstufe erfolgt die Abtrennung von den, zusammen mit dem Grundwasser geförderten, Leicht- oder Schwerphasen. Die eventuell vorhandene Schwerphase wird in einem Hydrozyklon abgeschieden, ein Leichtphasenabscheider trennt im nächsten Prozessschritt aufschwimmende, leichte Phase ab.

Da im Rahmen von Voruntersuchungen festgestellt wurde, dass die PAK-Konzentration im Grundwasser teilweise deutlich über der Löslichkeitsgrenze liegt, wurde angenommen, dass BTEX hier lösungsvermittelnd wirken. Nach einem Reaktionsbecken mit Rührwerk, in dem Hilfsstoffe zudosiert werden können, erfolgt vor der Flotation eine intensive Belüftung des abzureinigenden Phasen-Wassergemisches, um die BTEX-Konzentration vorab zu reduzieren.

Die durch die Intensivbelüftung ausfallenden PAK-Gehalte werden dann über eine Druckentspannungsflotation flottiert/aufgeschwemmt und mittels Räumer entfernt. Vorsorglich wurde die Flotation zusätzlich mit einem Konusboden und einer Exzentrerschneckenpumpe mit großem Einlauftrichter ausgestattet. Dies ermöglicht bereits in der Flotation absinkende Partikel, die sich am Boden absetzen, einem der verschiedenen Schlammammelbecken zu zuführen.

Im angeschlossenen Sedimentations- bzw. Mehrkammerbecken besteht erneut die Möglichkeit Hilfsstoffe zu zudosieren.

Nach einer Sandfiltration (Druckfilter) zur Abscheidung von feinsten Schwebeteilchen wird das kontaminierte Wasser einer Strippung und anschließend einer Feinreinigung über Aktivkohle zugeführt.

Die kontaminierte Abluft der Reinigungsanlage wird einer bereits auf dem Gelände vorhandenen katalytischen Nachverbrennungsanlage (KNV) zugeführt.

Ziel des mehrstufigen Reinigungsprozesses ist es, die Aktivkohlefiltration zur Einhaltung der Einleitgrenzwerte zu minimieren, sodass diese Verfahrensstufe nur noch für die Feinstreinigung und als Polzeifilter fungiert.

Die Anlage wurde im Oktober 2017 in Betrieb genommen und wird seither bauseits betrieben.



Abb. 1: Außenansicht der Anlage zwei 12 m hohen Strippkolonnen und Schlammbehälter.



Abb. 2: Blick in die Sanierungsanlage.

3 REINIGUNGSLEISTUNG

In den ersten Betriebsmonaten, mit den ersten drei Pegeln, betrug die Spitzenkonzentration BTEX eines Pegels 179 mg/l und überschritt damit sogar die erwartete Maximalkonzentration. Im Mittel betrug die BTEX-Konzentration im Mischwasser des Anlagenzulaufs ca. 23 mg/l.

Die maximale Konzentration an polyzyklischen Aromaten (PAK16) betrug in einem Pegel 2,3 mg/l und lag damit deutlich unter den erwarteten Werten. Im Mittel lag die Zulaufkonzentration PAK16 bei 0,5 mg/l.

Die Effizienz der einzelnen Verfahrensstufen ist in Tab. 1 ersichtlich. Das Ziel der bestmöglichen Reinigung des Grundwassers wird sehr gut erreicht. Die Aktivkohlestufe dient an dieser Stelle wie geplant nur als Feinstreinigung und Polzeifilter.

Tab. 1: Effizienz der einzelnen Anlagenstufen.

Bezeichnung	PAK 16 [$\mu\text{g/l}$]	PAK Reinigungsgrad	BTEX [$\mu\text{g/l}$]	BTEX Reinigungsgrad
Konz. Zulauf	389		17.927	
nach Intensivbelüftung	167	57%	3.681	79%
nach Flotation	163	58%	1.606	91%
nach Sedimentation	67	83%	62	99%
nach Strippanlage	0	100%	0,2	100%
nach Aktivkohle	0		0,2	

4 STÖRSTOFFE UND OPTIMIERUNGSMASSNAHMEN

Neben den erwarteten Eisenkonzentrationen wurden im Zulauf erhöhte anorganische Schwefelverbindungen festgestellt. Je nach Redoxpotential und pH-Wert liegt Schwefel als Sulfat (SO_4^{2-}), Sulfid (S^{2-}), Sulfit (SO_3^{2-}) oder Schwefelwasserstoff (H_2S) vor. So können – je nach Millieubedingungen – Eisenhydroxid, Eisensulfid oder Eisensulfat in

den Behältern als Feststoff ausfallen. Während Eisenhydroxid bräunliche Flocken bildet, die sich relativ gut abtrennen lassen, bildet Eisensulfid sehr feine schwarze Partikel. Unter oxidativen Bedingungen reagiert Fe^{2+} zum stabileren Fe^{3+} (bräunliche Färbung) als Eisenhydroxid oder Eisensulfat.

Als zusätzliche Störstoffe liegen Härtebildner vor (bis zu 31° dt. Härte).

Aufgrund der zu Beginn weder flottierenden noch sedimentierenden schwarzen Flocken werden diese erst auf dem Sandfilter abgeschieden. Dies führt zu einem überdurchschnittlich schnellen Druckanstieg auf dem Sandfilter und bedarf daher einer häufigen Filtrerrückspülung. Zur Steigerung der Anlageneffizienz sollte daher der im Grundwasser enthaltene Störstoff bereits in den ersten Reinigungsstufen entfernt werden.

Eine Untersuchung von im Prozess ausgefallenen Feststoffen mittels Rasterelektronenmikroskop zeigt das deutliche Vorkommen von Schwefel- und Eisen- sowie Calciumverbindungen (siehe Abb. 3 und Tab. 2).

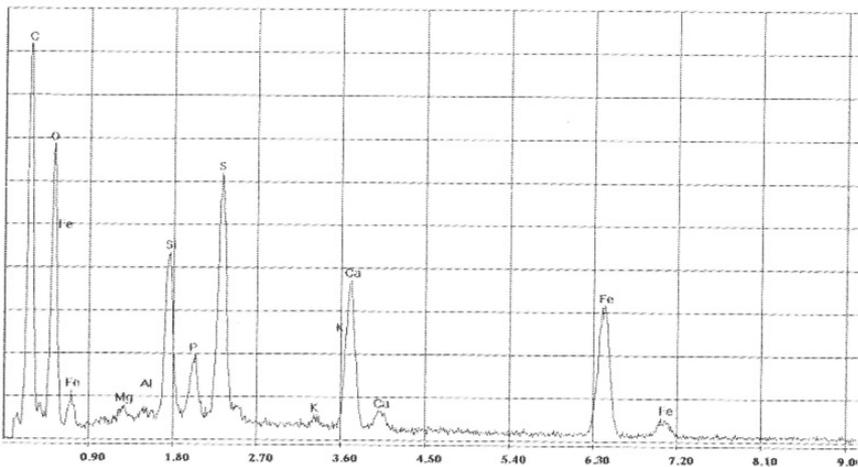


Abb. 3: Auswertung Rasterelektronenmikroskop.

Tab. 2: Semiquantitative Auswertung schwarzer Flocken.

Element	Wt %
MgO	1,4
Al ₂ O ₃	1,3
SiO ₂	5,8
P ₂ O ₅	9,5
SO ₃	32,6
K ₂ O	1,2
CaO	7,2
Fe ₂ O ₃	41,1
Summe	100,0

4.1 Maßnahmen gegen Störstoffe

Für die Ausfällung von Eisen wird das Prozesswasser in der Regel mit Luftsauerstoff belüftet, so dass Fe^{2+} zu Fe^{3+} oxidiert und als Eisenhydroxid ausfällt. Für die bessere Sedimentation kann Flockungshilfsmittel zugegeben werden.

Die Zugabe komplexbildender Härtestabilisatoren verhindert die Bildung von Fällungsprodukten, indem sich Komplexe um Ionen (z.B. Ca^{2+} , Mg^{3+} , Fe^{2+}) bilden. So kann einerseits dem Ausfallen von Carbonathärte entgegengewirkt werden. Andererseits erschwert die Komplexbildung jedoch ein Ausfallen von Eisenhydroxid oder Eisensulfid, bzw. -sulfat.

Demzufolge müssen die Fällungsreaktionen und der Austrag der Feststoffe vor der Zugabe des Härtestabilisators erfolgen. Durch die modulare Anlagentechnik und den Verzicht auf Pumpentechnik in der Vorreinigung konnte der Anlagenbetrieb auf die vorliegenden Bedingungen angepasst werden.

4.2 Optimierung

Die Bildung von Eisensulfid (FeS) erforderte Optimierungsmaßnahmen. Eisensulfid fällt in schneller Reaktion als feinste Partikel aus. Die Partikel sedimentieren nicht ausreichend und bilden in der Druckentspannungsfloation kein stabiles Flotat.

Versuche im Labormaßstab mit unterschiedlichen Primärflockungs- und Flockungshilfsmitteln ergaben, dass die Zugabe von hochbasischem Polyaluminiumchlorid (PAC) die beste Wirkung erreichte. Unmittelbar nach der Zugabe entstanden deutlich sichtbare schwarze Flocken. Abb. 4 zeigt im linken Behälter eine Probe des Zulaufs zur Reinigungsanlage nach Zugabe von PAC, rechts das Zulaufwasser ohne PAC-Dosierung.

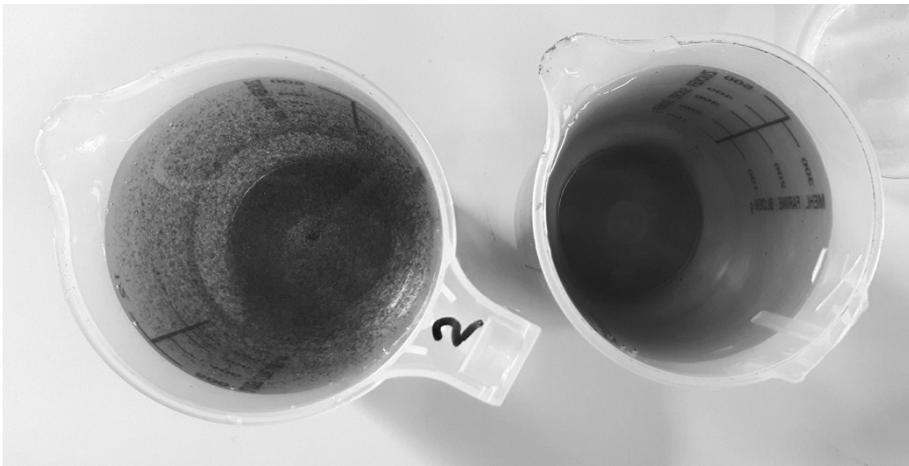


Abb. 4: Zulauf Phasenschöpfung mit und ohne PAC-Dosierung.

Eine weitere Möglichkeit die Eisen- und Schwefelverbindungen zu eliminieren kann die Einbindung einer Elektrokoagulation sein. Der klare Vorteil bei dem Verfahren besteht in dem Verzicht auf eine zusätzliche Chemikaliendosierung. Die Eignung wird derzeit im Labor getestet.

5 PHASENFÖRDERUNG

Mit Hilfe eines speziellen Ölphasenmessstabs für Brunnenpegel wurde durch die Züblin Umwelttechnik GmbH eine Schwerphasenmächtigkeit bis max. 2,1 m nachgewiesen. Mittels mobilem Bandskimmer (Abb. 5) wird die Schwerphase, welche sich unterhalb des Grundwassers befindet, an die Oberfläche gebracht. Zur Anpassung an die verschiedenen tiefen Pegel können die mobilen Skimmerstationen in der Höhe verstellt werden. Die Bandgeschwindigkeit des Skimmers wird mittels Frequenzumrichter reguliert. Eine Füllstandsmessung schaltet die Station automatisch ab, sobald der Sammelbehälter ein bestimmtes Niveau erreicht.



Abb. 5: Mobiler Skimmer.

6 SCHLUSSFOLGERUNG BZW. ZUSAMMENFASSUNG

Die große Anzahl vorhandener Sanierungspegel unterscheiden sich hinsichtlich der Schadstoffkonzentrationen, der vorhandenen Leicht- und/oder Schwerphasenmenge bzw. den Phaseneigenschaften teilweise voneinander.

Aus diesem Grund wurde eine möglichst flexible Grundwasserreinigungsanlage konzipiert, in der verschiedene Verfahrensstufen zur Abreinigung des kontaminierten Wassers vorhanden sind. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften des Phasen-Wassergemisches an unterschiedlichen Pegeln der Altlast, werden im Anlagenbetrieb kontinuierlich Anpassungen notwendig sein.

Mit der geplanten und ausgeführten Grundwasserreinigungsanlage kann das kontaminierte Grundwasser auf der Altlast O76 – Kokerei Linz somit nachhaltig abgereinigt werden.

Anwendung von CKW-adsorbierenden Geokunststoffen am Beispiel der Altlast K20

O. Syllwasschy

Huesker Synthetic GmbH, Anwendungstechnik, Gescher, Deutschland

K. Thimm

Huesker Synthetic GmbH, Geschäftsfeldmanager Umwelttechnik, Gescher, Deutschland

KURZFASSUNG: Die Altlast K20 in Österreich wurde im Zeitraum von 1926 bis 1981 als Betriebsdeponie für Kalk u.a. auch mit chlorkohlenwasserstoff- und quecksilberhaltigen Abfällen verfüllt. Vom Umweltbundesamt wurde die Altlast im Jahr 2003 in die Priorität 1 eingestuft. Nach dem Bescheid im Jahr 2009 zum kontinuierlichen Rückbau begannen die Räumungsarbeiten 2012. Ende 2014 wurde die Räumung gestoppt, nachdem HCB in Nahrungsmitteln nachgewiesen wurde. Unter den gegebenen Randbedingungen führte die anschließende Neubewertung der Sanierungsmöglichkeiten zu der Lösung, die Altlast komplett einzukapseln, durch zusätzliche Maßnahmen zu sichern und mit einem umfassenden Monitoringprogramm zu kontrollieren. Es wurde ein Abdichtungssystem entwickelt, welches speziell auf flüchtige organische Verbindungen abgestimmt wurde, um Diffusion zu minimieren und durch aktive Geokunststoffe mithilfe von Aktivkohle zu adsorbieren.

1 EINLEITUNG

Die Altlast K20 ist eine ehemalige Betriebsdeponie der Donau Chemie AG und liegt etwa 1 km südlich von Brückl im unteren Gurktal in Kärnten, Österreich. Die ehemalige Deponie gliedert sich in 2 Bereiche und wurde von 1926 bis 1981 unter anderem mit Karbidkalk sowie CKW- (Chlorkohlenwasserstoffe) und quecksilberbelasteten Abfällen verfüllt (Land Kärnten 2016). Zu den enthaltenen CKW gehören vor allem Tetra- und Trichlorethen, Hexachlorbutadien, Hexachlorethan und Hexachlorbenzol. Die Gesamtmenge der CKW wurde auf eine Größenordnung von 100 – 1.000 t geschätzt (UBA 2003). Eine Luftaufnahme der Altlast K20 im Bauzustand ist in Abbildung 1 zu sehen.



Abb. 1: Altlast K20 im Jahr 2017.

2 VERLAUF DES PROJEKTS „SANIERUNG DER ALTLAST K20“ BIS 2014

Ab 1995 sind unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen, wie Bodenluftabsaugung, neben kontinuierlich laufenden Beweissicherungsmaßnahmen durchgeführt worden (GWU 2016). Im Jahr 2000 wurde vom Umweltbundesamt Österreich eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt und anschließend wurde die Altlast K20 im Altlastenatlas ausgewiesen. 2003 wurde der Altlast K20 auf der Basis weiterer Untersuchungen die Priorität 1 zugewiesen.

Im Dezember 2009 wurde der Bescheid des Landeshauptmanns von Kärnten erlassen, die Altlast K20 in Form eines kontinuierlichen Rückbaus mit dem Auftrag einer vollständigen Räumung aller Anschüttungen zu sanieren, wobei die Ablagerungen je nach Schadstoffgehalt verwertet, entsorgt oder behandelt werden sollten. Nach Umsetzung der erforderlichen Vorbereitungen wurde ab 2012 geräumt (ca. 150.000 t, davon ca. 100.000 t Kalkschlamm),

Nach dem Auffinden von Hexachlorbenzol im November 2014, unter anderem in Lebensmitteln in der Nähe des mit der Verwertung des belasteten Kalkschlammes beauftragten Zementwerks, wurde die Räumung der Altlast beendet.

Eine europaweite Ausschreibung für eine erneute Vergabe für Transport und Behandlung des belasteten Kalkschlammes ergab, dass eine „Projektsicherheit in rechtlicher, technischer, terminlicher und ökonomischer Hinsicht bei Fortsetzung der Räumung nicht gegeben“ (Land Kärnten 2016) wäre.

3 PROJEKT „SICHERUNG DER ALTLAST K 20“ AB 2016

Bereits bei der ersten Variantenstudie für die Sanierung der Altlast vom 1.9.2008, ausgeführt von der GUT (Gruppe Umwelt + Technik GmbH, Linz), wurde die Sicherung der Altlast berücksichtigt. Dieses Verfahren bringt zwar die Nachteile mit sich, dass ein dauerhaftes Monitoring sowie die Instandhaltung der Sicherung erforderlich ist und dass das Schadstoffpotenzial vor Ort bleibt, stellt aber nach der Variante Rückbau, mit Verwertung und Entsorgung, die nächstbeste Alternative dar. Aufgrund der o.g. Vorfälle musste die Sicherung der Altlast wieder aufgegriffen werden. Die erste Variantenstudie der GUT bildete die Basis für ein aktualisiertes Sicherungskonzept durch GWU (Geologie Wasser Umwelt GmbH, Salzburg), erstellt am 4.7.2016 (GWU 2016).

Diese behördlich aufgetragene Sicherungsmaßnahme enthält neben den Maßnahmen im Grundwasser (Dichtwand zur Umschließung der Altlast und Grundwasserabsenkung) ein innovatives, multifunktionales Oberflächenabdichtungssystem, das aus einer 11 kg/m² Calziumbentonitmatte, einer LDPE Membran mit integrierter, CKW-dichter Aluminiumschicht, einem Dränelement und einer 2 kg/m² Aktivkohlematte besteht. Dieses System stellt eine praktisch unüberwindbare Barriere für aufsteigende, gasförmige CKW dar. Die Aktivkohlematte wird unterhalb der Membran eingebaut, um die CKW-Konzentration an der Membran und so die Triebkraft für die Diffusion durch diese zu reduzieren. Mit Tektoseal Active AC kann das Hochleistungsadsorptionsmittel Aktivkohle als aktive geotextile Verbundlösung in neuen Anwendungsbereichen genutzt werden. Die Geotextilien des Geokomposits stellen die mechanische Stabilität der aktiven Schicht sicher. Hierdurch kann das Produkt an allen Anwendungspunkten schnell und einfach installiert werden, während eine Erosion der aktiven Schicht durch Wasser oder Neigungen verhindert wird. Zusätzlich werden in dem Abdichtungssystem in zwei Ebenen oberhalb und unterhalb des Dichtsystems horizontale Saugleitungen mit eingebaut. Aus der unteren Absaugschicht wird kontinuierlich Bodenluft abgesaugt und einer Reinigung über Aktivkohle zugeführt. Die obere Absaugschicht dient Monitoringzwecken, kann bei Bedarf aber ebenfalls besaugt werden. Abbildung 2 zeigt die Installation der Hauptabdichtungs-

komponenten im März 2017 auf der Baustelle im Bereich der Kalkdeponie I. Der Bau der Oberflächenabdichtung hat im November 2016 begonnen.



Abb. 2: Installation der Oberflächenabdichtung.

4 BETRACHTUNG DER STANDSICHERHEIT

Die Altlast K20 weist aufgrund ihrer Historie eine sehr unregelmäßige Oberflächenstruktur auf. So sind in vielen Bereichen Böschungsneigungen vorhanden, welche im Bereich üblicher Deponieböschungen zwischen 1:3 und 1:2 liegen. In mehreren Bereichen sind jedoch auch kurze Böschungssprünge mit Neigungen bis ca. 70 ° vorhanden. Vor diesem Hintergrund wurden umfangreiche Profilierungsarbeiten erforderlich, um die Böschungsbereiche abzuflachen. Die Böschungssprünge konnten durch Auffüllungen mit geeignetem Bodenmaterial angeglichen werden. Neigungen 1:3 können in der Regel durch die Wahl geeigneter mineralischer Materialien und Geokunststoffe standsicher gegen böschungsparalleles Gleiten ausgeführt werden, während steilere Böschungen bis 1:2 bzw. 1:1,5 durch zusätzliche Maßnahmen gesichert werden müssen. Eine Umlagerung und Neuprofilierung der Ablagerungen scheidet aus, um lokale Emissionen zu vermeiden.

Die Problematik des böschungsparallelen Gleitens ergibt sich vereinfacht ausgedrückt immer dann, wenn der Reibungswinkel in einer möglichen Gleitebene (z.B. zwischen Schutzvlies und glatter Folie) ähnlich groß oder kleiner ist als der Neigungswinkel der Böschung selbst. Dann wird der Auslastungsgrad des Systems unter Berücksichtigung aller Abminderungsfaktoren größer als 1 sein und das System somit rechnerisch nicht standsicher. Aus der Differenz von Reibungs- und Neigungswinkel wird unter Berücksichtigung von Länge und Dicke des Aufbaus, sowie der Wichte der verwendeten Böden die nicht gesicherte hangtreibende Kraft bestimmt. Diese wird durch ein zugkraftaufnehmendes Element, i.d.R. ein Geogitter, in die Böschungskrone abgeleitet und dort in einem Verankerungsbereich abgetragen.

4.1 Eingangsparmeter für die Berechnungen

Die Berechnungen der Gleitsicherheit für den Kegel 1 wurden für die gemäß behördlichem Auftrag maximal zulässige Böschungsneigung von 1:2 durchgeführt. Die Böschungslängen liegen bei maximal 45 m.

Der Schichtenaufbau ist in Abbildung 3 dargestellt. Es ergeben sich somit insgesamt neun potentielle Gleitflächen (Tabelle 1), für die z.T. bereits Scherversuche vorhanden waren bzw. projektbezogen durchgeführt wurden. Auf der sicheren Seite liegend werden entsprechend Empfehlung E2-7 (GDA 2015) für die Berechnung nur die Kontaktreibungswinkel δ berücksichtigt, während Kohäsion c bzw. Adhäsion a vernachlässigt werden.

Tab. 1: Mögliche Gleitfugen.

Gleitfugen
Dränelement vs. Abdeckboden
Dränelement, innere Scherfestigkeit
Dränelement vs. Drainkies 16/32
Drainkies 16/32 vs. Schutzvlies 1200 g/m ²
Schutzvlies 1200 g/m ² vs. PE-LD Sperrfolie
PE-LD Sperrfolie vs. Tektoseal Active CKW
Tektoseal Active CKW vs. NaBento RL-C
NaBento RL-C, innere Scherfestigkeit
NaBento RL-C vs. Auflager

Die Versuchsergebnisse wiesen für den Großteil der Scherfugen Rechenwerte im Bereich von $\delta = 24^\circ$ bis $\delta = 37,2^\circ$ auf. Getrennt durch die Kiesdränschicht konnten jedoch zwei voneinander unabhängige mögliche Bereiche mit Gleitfugen mit sehr niedrigen Reibungswinkeln identifiziert werden.

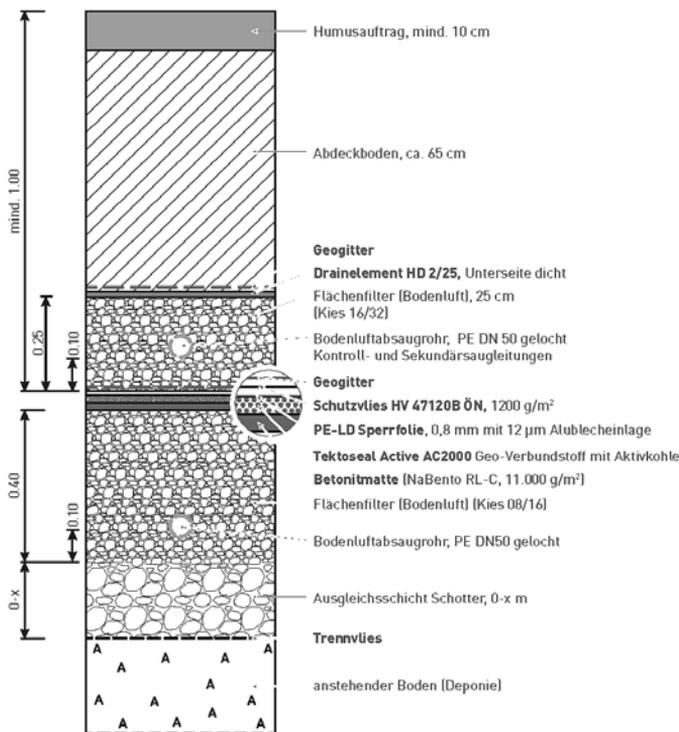


Abb. 3: Aufbau der multifunktionalen Oberflächenabdichtung.

Oberhalb der oberen Kiesdränschicht ist die innere Scherfestigkeit der Dränmatte der kleinste Wert ($\delta = 23^\circ$). Unterhalb dieser Kiesdränschicht liegt die kritische Gleitfuge zwischen Schutzvlies und PE-LD Sperrfolie ($\delta = 10,5^\circ$). Durch die räumliche Trennung waren beide Ebenen zu berücksichtigen und zu bewehren.

Die Berechnungen wurden entsprechend (EBGEO 2010) nach dem partiellen Sicherheitskonzept gemäß EC-7 in der nationalen Fassung der ÖN 1997-1 durchgeführt. Berücksichtigt wurden sowohl die Bemessungssituationen BS-1 als auch BS-2 jeweils mit der hohen Schadensfolgeklasse CC 3.

Die Bemessungen ergaben für die obere Bewehrungslage erforderliche Nennfestigkeiten im Bereich bis 200 kN/m, für die untere Bewehrungslage bis 600 kN/m. Mangels Ankergräben, die wegen der Vermeidung von lokalen Emissionen baulich nicht möglich waren, können für die Verankerung der Geogitter nur flache Verankerungen ausgeführt werden.

Aufgrund der Geometrie der Altlast wird nun eine sattelförmige Abdeckung der jeweils gegenüberliegenden Böschungen mit nur einem durchgehenden Geogitter ausgeführt. Die gegenüberliegenden Böschungen halten sich somit durch ihre jeweils entgegengesetzten hangtreibenden Kräfte die Waage. Diese Bauweise erfordert jedoch eine mehr oder weniger zeitgleiche, parallele Belegung der Böschungen mit Boden während des Bauvorgangs, um Ungleichgewichte zu vermeiden. Die Auflast auf dem Plateau gibt hier zumindest einen gewissen Spielraum. Entsprechend wurden neue Verlegepläne erstellt (siehe Abbildung 4). Trotz der teilweise vierlagig übereinanderliegenden Geogitter kann die Hälfte der Verankerungslänge an Material gespart werden.

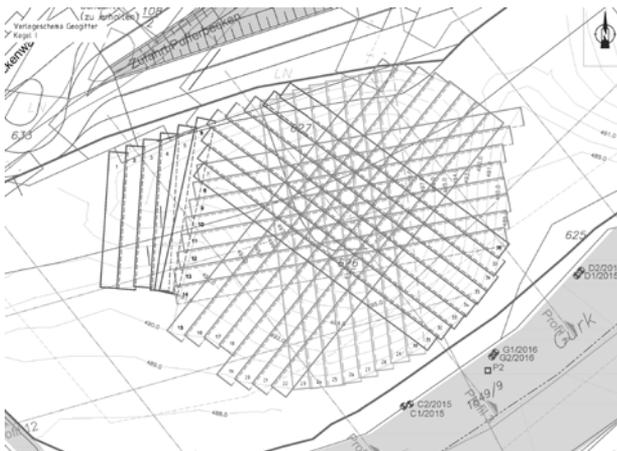


Abb. 4: Verlegeplan untere Bewehrungslage am Kegel 1.

Die Planung des zweiten, nördlich gelegenen Abfallkörpers muss solange zurückgestellt werden, bis die Arbeiten an der die Altlast umschließenden Dichtwand abgeschlossen sind.

5 VERLEGUNG DER GEOKUNSTSTOFFE

Die Verlegung der Geokunststoffe stellte den ausführenden Verleger vor ein Problem bezüglich der Befahrbarkeit der Baustelle. Ein direktes Befahren der Geokunststoffe, insbesondere der Abdichtungselemente, ist kategorisch auszuschließen. Es bietet sich für das untere Paket an, parallel zur auszurollenden Bahn mit einem Bagger auf dem Planum zu fahren, und so Abschnitte von ca. 5 m Breite mit mehreren Fahrten abzudecken. Aufgrund des durch den oberen Bodenluftfilter getrennten, mehrschichtigen Aufbau und der unterschiedlichen Verlegerichtungen, schied dieses Verfahren jedoch für die oberen Geokunststoffe (Geogitter, Dränmatte) aus. Das Baugerät wäre sonst unnötig oft auf ca. 25 cm Dränschicht mit innenliegenden Kunststoffrohren, welche auf dem unteren Geokunststoffpaket liegt, gefahren. Ein weiterer Nachteil für einen zügigen Bauablauf wäre der ständige Wechsel von unterschiedlichen Geokunststoffprodukten gewesen, die nur in Bahnbreite lagenweise eingebaut werden müssten.



Abb. 5: Mobilkraneinsatz für die Verlegung der Geokunststoffe.

Aufgrund der Größe und guten Zugänglichkeit von Kegel 1 beschloss die Verlegefirma von vornherein einen Mobilkran (Abbildung 5) einzusetzen, welcher die Geokunststoffrollen auf der Oberfläche anreichern kann. Der Einsatz von Baufahrzeugen wurde somit auf die Profilierungsarbeiten beschränkt. Die mineralischen Filterschichten werden mit relativ leichtem Gerät mit ausreichend geringer Bodenpressung verteilt.

Die Belegung mit Abdeckboden erfolgt abschließend im Vor-Kopf-Verfahren unter möglichst gleichmäßiger Belastung der gegenüber liegenden Böschungen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Altlast K20 in Brückl musste durch verschiedene Maßnahmen bestmöglich von der Umwelt abgekapselt werden. Das Sicherungskonzept umfasst eine die Altlast umschließende Schlitzwand und ein Oberflächenabdichtungssystem. Grundwasserabsenkung sowie Bodenluftabsaugung werden als zusätzliche aktive Maßnahmen eingesetzt. Den Bedürfnissen angepasste bzw. geschuldete Eigenschaften erfordern den Einsatz nicht alltäglich genutzter Geokunststoffe. Als konvektions- und diffusionsdichte Sperre gegenüber CKW wird eine LDPE-Bahn mit innenliegender Aluminiumfolie eingesetzt. Als zusätzliche Sicherungsmaßnahme wird ein Geokomposit mit einer Einlage von 2 kg/m² speziell auf die flüchtigen Schadstoffe abgestimmte Aktivkohle verlegt. Abgerundet wird das Sicherungskonzept durch eine schwere Calziumbentonitmatte. Durch die Verwendung von Geogittern auf bis zu 1:2 geneigten Böschungen ist hier eine langzeitstabile Abdichtung auf begrenztem Raum entstanden.

LITERATUR

- EBGEO (2010): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, 2. Auflage, AK 5.2, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Verlag Ernst & Sohn (2010)
- GDA Empfehlung E2-7 (2015): Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen, Arbeitskreis 6.1-Geotechnik der Deponiebauwerke, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, www.gdaonline.de
- GWU (2016): Dr. Hartwig Kraiger, Geologie Wasser Umwelt (GWU), Altlast K 20 „Kalkdeponie Brückl I/II“ – Sicherung der Altlast Oberflächenabdichtungsmaßnahmen Phasen 0 und IA Konzept Phasen IB und II, 2016
- Land Kärnten (2016): Bescheid, Altlast K20 „Kalkdeponie Brückl I/II“ / Sicherungsprojekt vom 04.07.2016 / Überprüfung gemäß § 17 Altlastensanierungsgesetz, 2016
- UBA (2003): Umweltbundesamt Österreich, Altlast K 20 „Kalkdeponie Brückl I/II“, 2003

ISCO, ISBR, GZS - Kombination innovativer und konventioneller Verfahren zur Grundwassersanierung

E.-H. Ruiter

Züblin Umwelttechnik GmbH, Stuttgart, Deutschland

KURZFASSUNG: In der Freien Hansestadt Bremen wurden auf dem Standort der ehemaligen Silberwarenfabrik auf einer Fläche von ca. 12.000 m² massive Verunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (LCKW) mit Konzentrationen bis ca. 85.000 µg/L in der gesättigten Bodenzone bis ca. 20 m unter Geländeoberkante festgestellt.

Nach umfangreichen Erkundungsmaßnahmen und einer Eingrenzung der Schadstoffsituation werden die Bereiche mit den höchsten LCKW-Gehalten durch In-situ Chemische Oxidation (ISCO), weniger stark belastete Bereiche durch In-situ Biologische Reduktion (ISBR) behandelt. Die dafür benötigten Oxidationsmittel und Auxiliarsubstrate werden über Grundwasserzirkulationssysteme (GZS) in den relevanten, schadstoffbelasteten Teufenbereichen verteilt. Nach 36 Monaten Sanierungsaktivitäten und einer maximalen festgesetzten Sanierungsdauer von 60 Monaten wurde im Rahmen einer Zwischenbilanz bereits ein erheblicher Sanierungserfolg mit einer durchschnittlichen Abnahme der LCKW-Konzentrationen um ca. 80 % nachgewiesen.

1 EINLEITUNG

Die In-situ Chemische Oxidation (ISCO) zählt zusammen mit der In-situ Biologischen Reduktion (ISBR) und der In-situ Biologischen Oxidation (ISBO) zu den am häufigsten eingesetzten In-situ Sanierungstechnologien. Die In-situ Verfahren ISCO und ISBR werden schon seit mehr als 20 Jahre erfolgreich und effizient eingesetzt. Auch die Züblin Umwelttechnik GmbH hat seitdem zahlreiche In-situ-Sanierungen in Europa durchgeführt. Diese Verfahren haben sich inzwischen am europäischen Sanierungsmarkt fest etabliert. Erstmals konnten im Jahre 2014 die Sanierungsverfahren ISCO und ISBR kombiniert auf einem ehemaligen Produktionsstandort der metallverarbeitenden Industrie zur Quellensanierung eines LCKW-Grundwasserschadens großtechnisch eingesetzt werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass das kombinierte ISCO/ISBR- Sanierungsverfahren nicht nur technisch funktioniert, sondern auch überaus effizient arbeitet. Die vollständige reduktive Dechlorierung konnte durch Messung der H₂-Konzentrationen im idealen Bereich sowie durch den Nachweis von Ethen und *Dehalococcoides sp.* bewiesen werden.

Als einer der Pfeiler für den bisherigen Sanierungserfolg ist sicherlich der vorlaufende Feldversuch zu werten, in dem standortspezifische Betriebserfahrungen und Erkenntnisse gesammelt wurden und die Gesamtmaßnahme so optimiert werden konnte. Insbesondere ist hier die hydraulische Entkopplung der Grundwasserzirkulationssysteme sowie die standortspezifische Zugabe und Konditionierung von Oxidationsmittel und Auxiliarsubstratlösung für die vollständige reduktive Dechlorierung zu nennen. Das hier eingesetzte Auxiliarsubstrat MolaZUT[®] wurde von der Züblin Umwelttechnik GmbH speziell für den vorliegenden Einsatzfall entwickelt. In der gezielten Anwendung kombinierter In-situ Technologien sieht die Züblin Umwelttechnik GmbH ein großes Potenzial zur wirtschaftlichen Sanierung von komplexen Altlasten.

2 HYDROGEOLOGIE

Die wassergesättigte Zone am Standort besteht aus den Wesersanden und den Lauenburger Schichten. Die Wesersande bilden den ca. 14 m mächtigen Hauptgrundwasserleiter und werden von teils bindigen Auensedimenten überdeckt, sodass teilgespannte Grundwasserverhältnisse vorliegen. Der Grundwasserflurabstand beträgt ca. 2 m und die generelle Grundwasserfließrichtung ist nach Nordnordost orientiert. Die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte k_f liegen zwischen ca. 1×10^{-3} bis ca. 5×10^{-4} m/s, die mittlere Abstandsgeschwindigkeit (v_a) beträgt ca. 30 m/a. Die unterlagernden Lauenburger Schichten sind ca. 19 m mächtig und ebenfalls grundwasserführend. Die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte k_f variieren hier zwischen ca. 1×10^{-6} bis 5×10^{-5} m/s, woraus eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit (v_a) von < 10 m/a resultiert. Die Wesersande und Lauenburger Schichten sind hydraulisch nicht getrennt. Aufgrund deutlich abweichender hydraulischer Leitfähigkeiten ist jedoch von einer unterschiedlichen Fließdynamik des Grundwassers in den Wesersanden und den Lauenburger Schichten auszugehen. Miozäne Tone und Schluffe fungieren als Grundwasserstauer.

3 SANIERUNGSKONZEPT

Das Sanierungskonzept für die gesättigte Zone der Wesersande basiert auf einer Kombination innovativer und konventioneller Verfahren. Die Grundidee besteht darin, die LCKW mit Hilfe der innovativen In-situ Verfahren ISCO (In-situ Chemische Oxidation) und ISBR (In-situ Biologische Reduktion) möglichst weitgehend zu entfernen (Ruiter et al. 2016). Die dafür benötigten Oxidationsmittel und Auxiliarsubstrate werden über Grundwasserzirkulationssysteme (GZS) in den relevanten, schadstoffbelasteten Tiefenbereichen verteilt (Abb. 1).

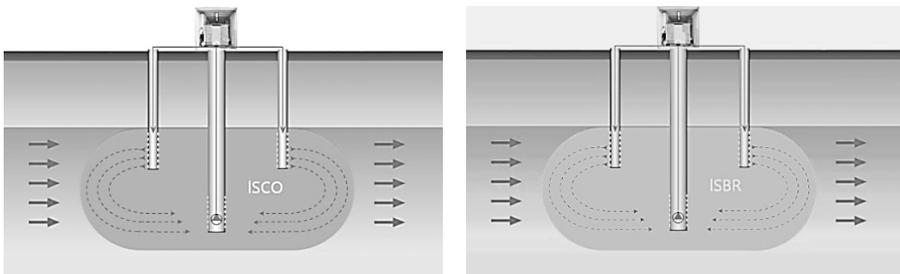


Abb. 1: ISCO/ISBR: Transport und Verteilung von Oxidationsmittel/Auxiliarsubstrat über Grundwasserzirkulationssysteme im Aquifer (links/rechts), Funktionsprinzip.

Die maximale Sanierungsdauer ist auf 60 Monate festgesetzt. Die Vergütung der Sanierungsleistungen erfolgt erfolgsabhängig nach dem Erreichen bestimmter Sanierungsstufen von Σ LCKW $< 10.000 \mu\text{g/l}$ bis $< 20 \mu\text{g/l}$. Die Bereiche mit den höchsten LCKW-Gehalten werden mit dem schnell wirkenden ISCO-Verfahren, weniger stark belastete Bereiche durch ISBR, behandelt. Bei der hydraulischen Unterstützung der eingesetzten In-situ Sanierungsverfahren kommt den Grundwasserzirkulationssystemen eine maßgebliche Rolle zu. Diese bewirken eine intensive vertikale Durchströmung des Porenraums und erfassen auch den Kapillarsaum, da keine Grundwasserabsenkung erfolgt. Über diese hydraulische Wirkungsweise lassen sich nicht nur die Schadstoffe mobilisieren, sondern auch die Agenzien Permanganat und MolaZUT® homogen im Aquifer verteilen, um das jeweils spezifisch erforderliche Redoxmilieu einzustellen. Für das ISBR-Verfahren ist ein stark negatives, sulfatreduzierendes Milieu von großer Bedeutung, damit die reduktive Dechlorierung voll-

ständig von PCE bis zum Ethen ablaufen kann und sich die Zwischenprodukte cis-1,2-Dichlorethen (cDCE) und Vinylchlorid (VC) nicht anreichern können. In Abbildung 2 ist der aktuelle Stand zum Wissen des biologischen Abbaus der Chlorethene dargestellt (Schmidt & Thiem 2011).

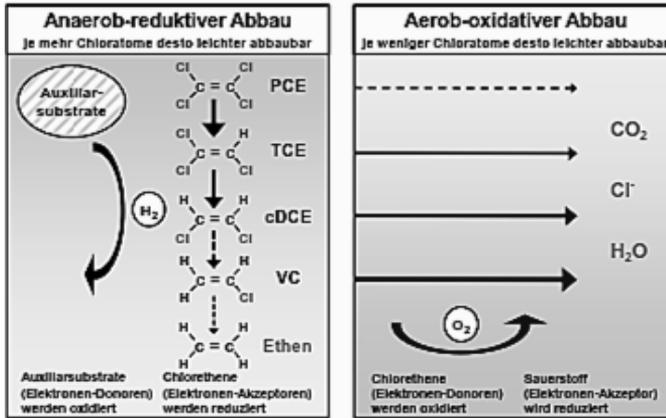


Abb. 2: Abbauschema Chlorethene, TZW Karlsruhe.

4 FELDVERSUCH

Vor dem Hintergrund des weiträumigen, massiven LCKW-Schadensfalls wurde zunächst ein Feldversuch über eine Dauer von rund 12 Monaten durchgeführt, um die Machbarkeit und Effizienz des Sanierungskonzepts zu überprüfen. Zu den wesentlichen Zielen des Versuchs gehörte es, die vorab rechnerisch bestimmte Reichweite des GZB mit einem Tracertest zu verifizieren (Abb. 3) sowie den Transport und die Verteilung von Permanganat und MolaZUT[®] zu untersuchen. Des Weiteren sollte die Etablierung der Redoxzonen und der Rückgang der molaren Schadstoffgehalte untersucht werden. Anhand der gewonnenen Ergebnisse und Betriebserfahrungen konnte die prinzipielle Machbarkeit und Effizienz des Sanierungskonzepts belegt und das Optimierungspotenzial im Hinblick auf eine zielgerichtete, erfolgreiche Sanierung des Standorts aufgezeigt werden.

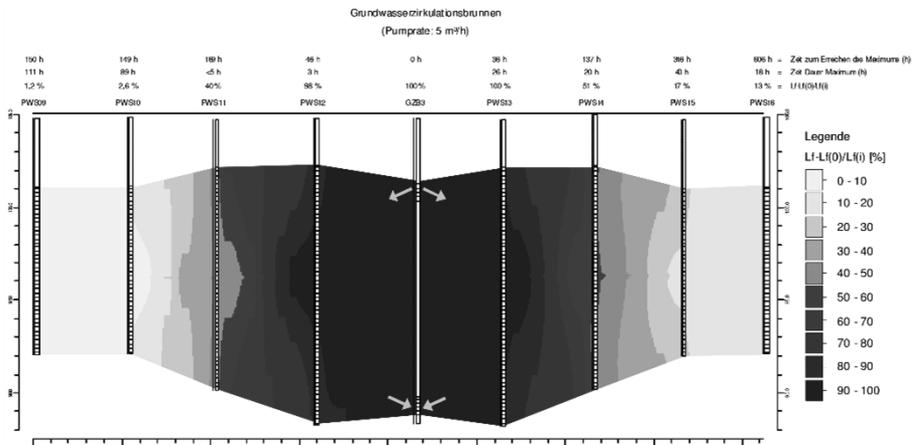


Abb. 3: Ausbreitungsverhalten der Zirkulationswalze des GZB mit Wirkradius R = 15 - 18m.

5 SANIERUNG

Seit September 2014 läuft die Gesamtsanierung mit insgesamt zehn Grundwasserzirkulationssystemen (Abb. 4).



Abb. 4: Kombinierte ISCO/ISBR-Sanierung - ehemalige Silberwarenfabrik, Bremen.

Die dazugehörigen Dosier- und Anmischstationen für das Oxidationsmittel und das Auxiliarsubstrat sind in zehn Containern installiert (Abb. 5).



Abb. 5: Dosierstation für Permanganat.

Mit Hilfe der Betriebserfahrungen und den Erkenntnissen aus einem vorlaufenden Feldversuch konnte die Gesamtmaßnahme optimiert werden (Edel et al. 2017). Dies betraf insbesondere die hydraulische Entkopplung der Grundwasserzirkulationssysteme sowie die standortspezifische Zugabe und Konditionierung von Melasselösungen für die vollständige reduktive Dechlorierung. Dieses Auxiliarsubstrat wurde von der Züblin Umwelttechnik GmbH speziell für den vorliegenden Standort entwickelt und inzwischen als Produkt MolaZUT® eintragen.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass das kombinierte ISCO/ISBR-Sanierungsverfahren nicht nur technisch funktioniert, sondern auch überaus effizient arbeitet (Abb. 6).

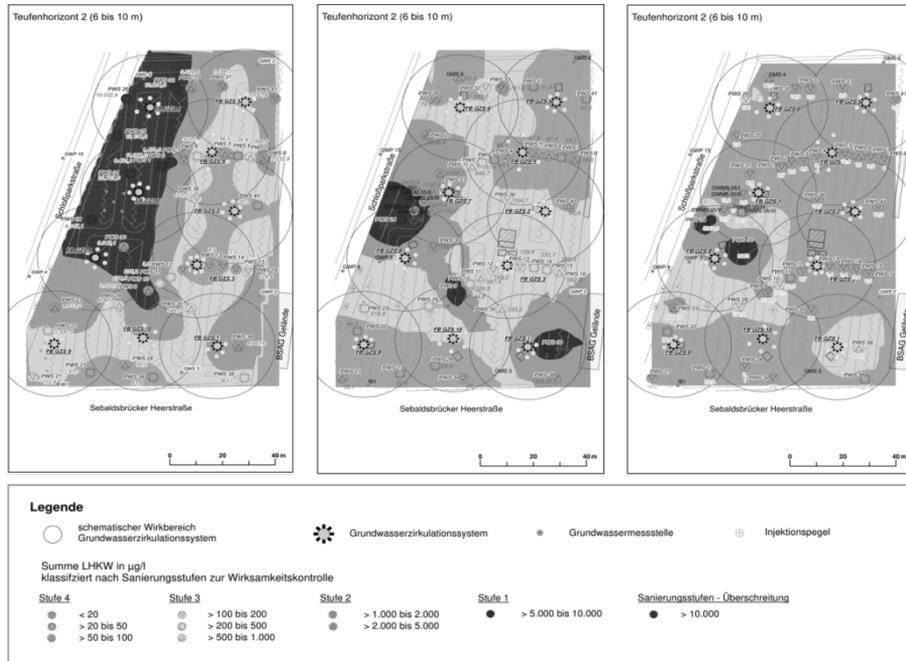


Abb. 6: LCKW-Konzentrationen in den Wesersanden, Teufenhorizont 6-10 m u GOK nach t = 0 (links), 19 (Mitte) und 36 (rechts) Monaten Sanierungsbetrieb.

Die GZS eignen sich zum Transport und zur Verteilung der injizierten Reagenzien, wobei der Wirkungsradius bei 15-18 m liegt. Die sehr hohen LCKW-Gehalte konnten durch das ISCO-Verfahren mit Ausnahme eines Teilbereichs unter die Sanierungsstufe LCKW < 10.000 µg/L reduziert werden. Nach 11 Monaten Sanierungsbetrieb wurde kein Permanganat mehr injiziert. Seither erfolgt die Sanierung des gesamten Standorts nach dem ISBR-Verfahren. Dort, wo das ISBR-Verfahren eingesetzt wird, konnte ebenfalls eine signifikante Abnahme der molaren LCKW-Gehalte registriert werden. Dies korreliert mit der Ausbildung sulfatreduzierender Redoxbedingungen bei einem stabilen pH-Wert von 6-7. Ethen, das als Indikator für die vollständige reduktive Dechlorierung dient, konnte ebenso nachgewiesen werden wie *Dehalococcoides sp.* sowie weitere LCKW-abbauende Mikroorganismenstämme. Die vorherrschenden terminalen elektronenakzeptierenden Prozesse (TEAP) lassen sich anhand der Wasserstoffkonzentration identifizieren (Tab. 1). Nahezu alle Messungen der H₂-Konzentrationen am Standort lagen zwischen 1-10 nmol/L, was dem idealen Bereich für die reduktive Dechlorierung entspricht.

Tab. 1: Terminale elektronenakzeptierende Prozesse (TEAP) und ihre charakteristischen H₂-Konzentrationsbereiche (US EPA 1998)

TEAP	Konzentrationsbereich H ₂ [nmol·L ⁻¹]
Nitratreduktion	< 0,1
Fe(III)-Reduktion	0,2 – 0,8
Sulfatreduktion	1 – 4
Reduktive Dechlorierung	> 1
Methanogenese	5 – 20

Sanierungsbegleitende, wissenschaftliche Laboruntersuchungen am TZW in Karlsruhe mit Originalprobenmaterial vom Standort haben das Prozessverständnis vertieft und die Effizienz der kombinierten ISCO/ISBR-Technologie bestätigt. Da in den tieferliegenden bindigeren „Lauenburger Schichten“ von ca. 18 bis 30 m unter Geländekante bereits eine natürliche reduktive Dehalogenierung der LCKW erfolgt, wird hier ebenfalls seit Januar 2018 aktiv mit dem ISBR - Verfahren saniert. Erste Untersuchungen weisen auch hier erhebliche LCKW-Schadstoffbelastungen auf.

6 FAZIT UND AUSBLICK

Bereits nach knapp 60% der Projektlaufzeit zeichnet sich ein rascher Sanierungsfortschritt ab. Das kombinierte ISCO/ISBR-Verfahren hat die Erwartungen bislang erfüllt und gibt Anlass zu einer positiven Zwischenbilanz. Aus heutiger Sicht erscheinen die ambitionierten Sanierungsziele als prinzipiell machbar, wenngleich die Anforderungen im Laufe der weiteren Sanierung mit zunehmend niedrigeren LCKW-Zielwerten sicher höher werden. In der gezielten Anwendung kombinierter In-situ Technologien sieht die Züblin Umwelttechnik GmbH ein großes Potenzial zur wirtschaftlichen Sanierung von komplexen Altlasten. Die In-situ Chemische Oxidation und die In-situ Biologische Reduktion sind effiziente Sanierungstechnologien, die sich in der Praxis bewährt haben und in ganz Europa angewandt werden. ISCO ist vor allem zur Quellensanierung für mittel- bis hochbelastete Schadstoffbereiche geeignet. Das ISBR-Verfahren ist vorzugsweise für schwach bis mittelbelastete Schadstoffbereiche einsetzbar. Die erfolgreiche Anwendung der In-situ-Verfahren bedarf zunächst einer detaillierten Standortuntersuchung, die eine möglichst detaillierte Kenntnis der Untergrundverhältnisse und der räumlichen Verteilung der Schadstoffe liefert. Feldversuche zur Überprüfung der Sanierungseffizienz sind vor allem dann empfehlenswert, wenn keine optimalen Bedingungen für ISCO oder ISBR vorliegen oder besondere Anforderungen an den Sanierungserfolg gestellt werden. Schließlich ist ein gehöriges Maß an technisch-wirtschaftlichem Know-how sowie umfassende Erfahrung mit den In-situ-Verfahren eine unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung und die daraus folgende Sanierung.

LITERATUR

- Edel, H.-G., Ruiter, E.-H., Wessel, U., Konertz, K., von Mücke, T. und Levermann, L. (2017) Kombinierte In-situ-Sanierung mit ambitionierten Zielen, altlasten spektrum 3/2017, 85-90.
- Ruiter, E.-H., Edel, H.-G. und Meyer, T. (2016) ISCO und ISBR – Effektive In-Situ Technologien zur Sanierung von LCKW-Schäden, Tagungsband 2016 zur 13. Recy & DepoTech-Konferenz Leoben, Österreich, 459-464.
- Schmidt, K.R., Tihm, A. (2016) Biologischer Chlorethen-Abbau, Stand des Wissens, Anwendung in der Praxis, Infoveranstaltung, Bremen-Sebaldsbrück, 07.06.2016, Vortrag.
- US EPA, 1998: Technical Protocol for evaluating natural attenuation of chlorinated solvents in ground water. EPA/600/R-98/128.

English Abstracts

TEST-ABO

RECYCLING magazin – Lesen, was die Branche bewegt

2 AUSGABEN GRATIS PROBELESEN

- ▶ Neueste Entwicklungen zu Technik, Wirtschaft, Politik und Recht
- ▶ Reportagen, Interviews, Marktanalysen
- ▶ jeden Monat neu

JETZT ONLINE ANFORDERN UNTER: www.recyclingmagazin.de/probelesen



VOEB

VERBAND ÖSTERREICHISCHER
ENTSORGUNGSBETRIEBE

*Gemeinsam
Ressourcen sichern*

FEAD is the European Federation representing the private waste and resource management industry across Europe. FEAD's members are national waste management associations covering 19 Member States, Norway and Serbia.

For more information, you can find us at fead.be and on Twitter @FeadInfo.



European Federation of Waste Management and Environmental Services
Fédération Européenne des Activités de la Dépollution et de l'Environnement
Europäische Föderation der Entsorgungswirtschaft

Composting Experiments with Sewage Sludge and Mushroom Substrates

P. Penckert

TU Dresden, Institute of Waste Management and Circular Economy, Pirna, Germany

Goal of the project is the development of novel landfill construction materials, used as a recultivation layer, made of sewage sludge, edible mushroom substrates and excavation materials from mining. Mushroom substrates are currently used as fertilizer. Due to their legally required hygienisation, mushroom producers fight high costs through high energy consumption. Using mushroom substrate for composting may be an energy-saving alternative and provides the possibility to use the mushroom's inherent positive properties that otherwise do not survive the hygienisation process. It is expected that water storage capacity will be increased. Furthermore, mushroom substrate contains a multitude of nutrients for plant growth, e.g. nitrogen. Sewage sludge also is currently used as fertilizer. Due to the new amendment of German Sewage Sludge Regulation Bill (AbfKlärV), the use as fertilizer is restricted and the question of utilization possibilities for sewage sludge arises. A reasonable utilization strategy could be feasible by using it as landfill construction material.

In a first test series, composting of fresh compost with

- structural material and champignon substrate,
- fresh compost with structural material and king oyster mushroom substrate and
- dewatered sewage sludge with champignon substrate

was considered. With findings of the first test series, two new blends were made to test whether siftings would be a substitute for structural material in compost. The following mixtures were prepared and composted: dewatered sewage sludge and champignon substrate each plus siftings or structure material.

The first test series showed that high temperatures over 70 °C during composting led to death of mushroom mycelium, so that it could not spread out in the compost. Therefore, new experiments are planned in which some of the substrate is added to the compost in its cooling phase. A second test series showed that the mixture with siftings led to a slightly faster degradation of organic content. This resulted in a higher and faster escalation of temperatures.

Plant experiments are planned for June 2018. Those will be carried out with poplars in a pot experiment. For that purpose, a suitable topsoil material is to be produced using the results of the two preceding test series. A mixture with dewatered sewage sludge, champignon substrate and siftings will be used, which will be composted. Furthermore, two blends will be made, in which readily usable compost is to be mixed once with champignon substrate and once with king oyster substrate. Here, no composting should take place explicitly, as differences between composted and non-composted mushroom substrate should be investigated. All mixtures will be mixed with excavation material and will afterwards be available as plant substrate.

Investigation of Fine Fractions of Metal-Containing Waste Streams

K. Johnen & A. Feil

RWTH Aachen University, Department of Processing and Recycling, Aachen, Germany

The treatment of waste generates secondary and tertiary waste streams. As separation processes have already separated valuables beforehand, the question for further processing arises. In particular, the processing of fine fractions < 20 mm is a challenge. Since every waste has different origins, the particle size distributions and the compositions differ and cannot be treated under the same conditions. With the help of a modular processing plant, it should be possible to process these materials in one plant. The planning of a treatment process requires knowledge of the material properties. By classification and hand sorting of two materials (Waste of Electrical and Electronic Equipment as well as shredder heavy fraction), the particle size distribution and the composition could be determined. Based on the particle size distribution, the differences between the materials become apparent. While for WEEE the < 3 mm fraction is only 3 % by mass, the shredder heavy fraction has a content of 31 % by mass. The compositions clarify that, depending on the material, the objective of the processing changes. In the case of WEEE, the accumulation of cables (10 % by mass of the input material) may be an objective, while for the treatment of the shredder heavy fraction a recovery of the ferrous and non-ferrous metals is desirable. For targeted processing of these materials in a plant, different waste streams must be further characterized. Furthermore, the plant must be modular in order to adapt the process to the material and to allow enrichment of target materials.

Comminution of Thermal Insulation Systems in a Hammer Mill

M. Simons

RWTH Aachen University, Department of Processing and Recycling, Aachen, Germany

A. Feil

RWTH Aachen University, Department of Processing and Recycling, Aachen, Germany

Since the early 1960s, facades have been insulated with thermal insulation systems (ETICS) due to the rising requirements for thermal insulation of buildings. Generally, expanded polystyrene has been the material of choice for ETICS EIFS due to its uncomplicated application and low cost. The long life of a EIFS material can be up to 60 years, which leads to a slowly increasing waste return. Additionally, the currently common form of disposal for ETICS materials in waste incineration is already a challenge and substantial recycling methods are not yet established. The present article describes the influence that different components of an ETICS can have on the results of the crushing process, as well as on the conceptual design of a treatment process. In waste management, comminution is a central processing step as it prepares material flows for subsequent processes. In order to convert the different components back into circular economy and to achieve an increase in the usability, a separation of the components is required. This was examined by means of a selective comminution. For reasons of reproducibility, test samples with expanded polystyrene of defined size, composition and weight were used in the crushing process. The specimens were comminuted in discontinuous tests with a hammer mill in a pilot-scale plant. The comminution results were qualitatively evaluated for the digestion and comminution degrees with a focus on the content of expanded polystyrene.

Determining the Biomass Content in Waste and RDF – Exploring the Versatility of the Balance Method

T. Schwarzböck, P. Aschenbrenner, S. Spacek, H. Rechberger & J. Fellner
TU Wien, Institute for Water Quality and Resource Management, Vienna, Austria

Waste materials are utilized in Waste-to-energy (WtE) plants or in energy-intensive industries as refuse derived fuels (RDF). In both cases, determination methods are required to distinguish between biomass (e.g. paper, garden waste) and fossil matter (plastics) in the waste. This is, i.a., to determine the climate-relevance, CO₂-reduction or the renewable energy produced. For these purposes, extensive investigations have been conducted to evaluate the feasibility and versatility of the Balance Method (BM) and the adapted Balance Method (aBM). The BM has been applied on a large scale in Austria, characterizing the waste feed of 10 WtE plants over a period of one year (evaluation of operating data). Different parameters have been determined without additional analysis efforts, incl. the biomass share, fossil CO₂-emissions, or the ratio of energy from biogenic sources. The validity of aBM has been tested on predefined RDF-mixtures and real RDF samples and including a comparison to standardized methods. The here presented investigations further deal with a possible reduction of analytical efforts to increase the practicability of aBM.

Results show that the BM as well as the aBM are valid alternative methods to determine the biomass content in waste and RDF. The BM in particular stands out due to the possibility to characterize almost the total waste feed (almost 90 % of the waste could be considered within the study). These are “sample sizes” which could obviously not be achieved by any other method at reasonable costs. Further, the BM can deliver data on a high timely resolution (down to hourly mean values). Thus, BM-output data could be useful to monitor the temporal variability of the waste composition on the grate of a WtE plant. Thereby BM-output data (e.g. ratio of fossil matter to biogenic matter or the water content) could even be used to control a sufficient mixing in the waste bunker. Detailed investigations addressing this purpose are, however still to be conducted. Significant variations of the waste composition over time for several WtE plants and also between the 10 investigated WtE plants confirm that there is no default value on the biomass content in WtE-feed.

The aBM proved to deliver data on a high accuracy, both, for predefined mixtures as well as for real RDF samples. Compared to standardized methods, only the reliability of the aBM appears independent of the RDF-type (compared to selective dissolution method (SDM) and manual sorting). Certain efforts need to be expected to (initially) generate RDF-specific input data for the aBM on the elemental composition of biogenic and fossil organic matter (e.g. initial sorting campaign). The study however, shows that the variability of these data is within a small range between different RDFs, particularly for RDFs of the same type. This indicates that in future an RDF-specific generation might not be necessary once a suitable data basis is available. If a lower accuracy of the data can be accepted, analytical efforts could also be reduced by neglecting the oxygen balance equation of the aBM (and only rely on carbon, hydrogen, sulphur and nitrogen balances). Tests showed that neglecting oxygen delivers slightly less accurate aBM-results than using RDF-specific oxygen analyses. However, the results are still within the accuracy of the SDM. Other options to consider the oxygen balance with less analytical efforts (e.g. by summing up the other elements to 100 % or by taking literature values) did not show an improvement of the aBM-accuracy compared to neglecting the oxygen balance at all.

Recovery of Phosphorus from Sewage Sludge Ashes – Advancement of the RecoPhos Process

C. Ponak, V. Mally & H. Raupenstrauch

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Thermal Processing Technology, Leoben, Austria

A. Schönberg

S-PEC e.U., Graz, Austria

Phosphorus is an essential element for plants, animals and humans. At the same time, it is listed as a Critical Raw Material by the European Union and so is phosphate rock. The element's import rate to the EU is 100%. Therefore, secondary sources are sought and recycling efforts are made. One approach to recycling phosphorus is the RecoPhos process. It aims at recovering the element from sewage sludge ashes. They are fed into a reactor that is composed of graphite cubes, which are inductively heated to 1600°C. The ashes melt and form a molten film of slag that moves through the reactor. Iron (from precipitation salts) in the form of oxides and phosphorous in the form of phosphates are reduced to their elementary forms. The gaseous phosphorus is removed from the reactor, post-combusted and hydrolysed in order to produce phosphoric acid. Slag and metal (mostly iron) leave the reactor at its bottom.

The reduction rates of iron oxides and phosphates in a pilot plant (continuous operation, 8 kg/h) are higher than 95% with roughly 75% of the reduced phosphorus being removed as a gas.

In order to further improve the process a smaller plant named InduMelt (batch operation, 3 kg at a time) was built. It enables preliminary experiments on a smaller scale with less cost- and personnel-intensive effort.

Randomized Bale Sampling - Chances and Techniques for Quality Assurance of Input Materials

J. Poerschke

University of Applied Sciences, Faculty Engineering, Nordhausen, Germany

C. Borowski

University of Applied Sciences, Faculty Engineering, Nordhausen, Germany

Worldwide, the recycling industry faces great challenges. The market for secondary raw materials and fuels is under considerable pressure of the favorable price of crude oil. For high-quality recycling, the quality of the input / output streams present in the form of bales must be high in quantity and value. State of the art for quality assurance is a complex, manual sorting of about 80 kg to 100 kg from the bale. Those random samplings are not reproducible and require intensive time and effort. Conspicuous deliveries can no longer be dismissed, because the material is increased in volume or has already been introduced into the production process. This creates high administrative expenses. With the help of random volume element extraction of material from bales the representativeness of sampling is increased, and the sample quantity is reduced. Samples are taken via a sampling device with attached core drill. Particular focus is on secondary fuel and plastic bales.

The random sampling system is designed not only for the bale, but also for the selection of bales on a truck, container or ship as well as in a bale warehouse. These random sampling systems are used to determine the drilling points on and possibly in the bale. In a full core extraction, a determination of the random numbers in the x and y direction is sufficient. If individual volume elements are to be taken, the random numbers for the z-direction should be generated. It is necessary to consider the geometry of the bale and the location of the drilling points. As part of the doctoral thesis "Development of Methods and Drilling Techniques for Random Volume Element Removal from Bales", the representative sample volume of at most 100 kg can be reduced to just 5 kg during manual sampling.

Recycling Rates for Plastics - Is a Quota Fulfilment According to Current Legal Requirements for the Sustainable Recycling of Plastics Sufficient?

K. Friedrich

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Waste Processing Technology and Waste Management, Leoben, Austria

K. Tschiggerl

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Economic- and Business Management, Leoben, Austria

Specified by the European Union (EU) there are statutory provisions for recycling quotas which have to be met. With a focus on plastics recycling, it will be analysed to what extent the current legal requirements contribute to sustainable recycling. A positive contribution to the recycling quota is fulfilled once the recycled material obtained after processing can be fed into a production process as material. The amount of recycle and new plastics in production processes is currently not set by law. Consequently, a small proportion of bad recycle can be compensated by a high proportion of new plastics in the production process. In order to promote the sustainable recycling of plastics, there would have to be specific recycling requirements for recyclates or their proportion in individual production processes considering the entire supply chain to close the value-added cycle of plastics.

Development of a New Recycling Process for Salt Slags

T. Angerer

Montanuniversitaet Leoben, Institute of Nonferrous Metallurgy, Leoben, Austria

The residue salt slag produced during the melting-process (recycling-process) of the lightweight-metal magnesium – a mixture of several covering salts, metal oxides and metallic components as well as different impurities – must either be dumped or processed. A new hydrochemical process is now in development for this type of dangerous waste (waste code 31223). The aim of this technique development is to extract the reusable salts from the magnesium-containing residues and to convert the residual solid fraction into a high-quality tradable product by acidic digestion. The extracted salts from the first leaching step can be used again as covering salt in the melting process, the product from the second step, the acidic digestion, is a high quality magnesiumchloride hexahydrate and can be used in different applications. The proportion of the resulting inert residue – the insoluble chemical compounds for example the metalfluorids like MgF_2 or the spinel $MgAl_2O_4$ and others – of the recycling process should be as low as possible. Another important aspect of the concept is the use of the low-temperature thermal energy generated during the leaching process.

Lightweight Construction Meets Circular Economy - How is the Cycle of Plastic and Composite Materials Developing?

D. Schönmayr

Cleantech-Cluster / Business Upper Austria – OÖ Wirtschaftsagentur GmbH, Linz, Austria

Multi-materials and composites with plastics are successfully used to reduce negative environmental impacts in the use phase, and to enable innovative products. Various types of multi-materials and composites are integrated into a wide range of industrial products as versatile lightweight components with versatile design and high stability. Demand for complex materials with superior properties will continue to rise. Still, such composite materials can cause problems in both the production and end-of-life phases. Fibre-reinforced plastics, especially carbon fibre-reinforced plastics (CFRP), enable environmentally friendly lightweight construction for aircraft, automobiles and ships, while at the same time creating these challenges especially in the waste- and circular economy sector. Current and future CFRP waste volumes show the increasing relevance for environmental services. A high quality cycle is already technically possible, but economically not yet scaled, politically not forced, nor systemically implemented. Projects primarily in Central Europe can provide important solutions to enable a functioning circular system for lightweight composite materials in the future. With regard to the EU's efforts to close material cycles in the future, composite materials will also come into the political and legal focus, and if no significant cycles have been implemented by then with voluntary commitments, it can be assumed that the EU will intervene with regulations. Accordingly, further innovation is now required for circular economy in the lightweight and composite sector, especially CFRP, through cooperative solutions along the entire value chain, with systemic holistic sustainability as the overall goal.

Influence of Lead on the Precipitation of Zinc in Synthetic Industrial Wastewater

K. Tandon, S. Heuss-Aßbichler & I. Anagnostopoulos

Ludwig-Maximilians-Universität München, Department of Earth and Environmental Sciences, Munich, Germany

Even after the removal of the recyclable fraction, the annual amount of municipal solid waste is still high. In its recent Municipal Waste Report, the Bavarian State Office for the Environment sets a quantity of 487.2 kg per capita, whereby the residual waste tends to increase by 3.8%. Municipal Solid Waste Incineration (MSWI) enables the recovery of energy while reducing the amount and volume of waste. Nevertheless, MSWI is not the final stage of waste treatment, as bottom and fly ash has high amount of leachable heavy metals. The spectrum of heavy metals in fly ash is large, it contains in particular Zn up to 5,9 g/kg, but also Pb, Cu, Hg, Cd, Cr, As, and Ni. Aim of the recently developed FLUWA process was to remove heavy metals from fly ash by generating a heavy metal rich wastewater. The treatment of the wastewater by FLUREC, however, is complex and energy intensive. Therefore, we conducted a preliminary study to test SPOP process (Specific Product-Oriented Precipitation) as a promising method for recovering heavy metals from industrial wastewater. This process was successfully used to treat industrial wastewater by precipitation of heavy metals as nano-crystalline particles. Benefit of this procedure is to avoid high-voluminous hydroxides. In this study, we present our investigations on the influence of Pb on the precipitation of Zn from saline wastewater. A synthetic wastewater was prepared, containing the main components of the fly ash leachate (Zn, Pb, Na, K, Ca, Cl, and SO_4^{2-}) generated by the FLUWA process in MSWI plant Ingolstadt, Germany. We evaluated our data concerning water purification and precipitation products. All experiments were performed with a saline aqueous solution containing 2000 mg/L Zn. The Pb concentration was varied between 0 and 40% related to Zn concentration (corresponding to 0 to 800 mg/L). The aqueous solutions were heated to a reaction temperature of 30°C. Under continuous stirring, the solution was alkalized with NaOH to pH > 9 and the conditions were kept constant for 5 minutes. A white precipitate was generated which was filtered and washed. After treatment with SPOP the concentration of Zn was < 1,3 mg/l and of Pb was always < 1 mg/l. Water analyses show that the recovery rate of Zn for the experiment without Pb was slightly lower (99,8%) compared to the experiments with Pb. The removal efficiency of Zn remained high independent of the amount of added Pb, it was always > 99,9%. The removal efficiency of Pb increased with increasing Pb content to a maximum of 99,89% for 40% Pb. Solid phase characterization by XRD shows that in all samples the main phase is gordaite ($\text{NaZn}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6\text{Cl}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$). It is the only phase in the experiments without Pb and with 5% Pb. In the two experiments with 10 and 40% Pb, namuwite ($\text{Zn}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) was detected. The only Pb phase was laurionite ($\text{Pb}(\text{OH})\text{Cl}$), which was detected by XRD in the experiment with 40% Pb. However, with FTIR laurionite was detected in all samples containing Pb. This indicates that laurionite already occurs at low Pb concentrations, but the amount is below the detection limit of XRD. Gordaite and namuwite have a highly flexible structure and a high cation exchange capacity; therefore, it is conceivable that Pb is also incorporated into their structure.

This study was supported by MSWI plant Ingolstadt, Germany; it was partly funded by the Bavarian State Ministry of Environment and Consumer Protection.

Development of a Concept for the Mono-Fermentation of Nitrogen-Containing Biomass

A. Geißler

Technische Universität Dresden, Institute of waste management and circular economy, Dresden, Germany

The aim to develop a complex, modular high-performance methane stage for flexible use in the field of biogas technology as well as in the field of wastewater treatment as a supplementary module is the object of the work. The hydrolyzate (biomass: poultry manure, sewage sludge from mainly municipal wastewater treatment plants) has the difficulty that it contains nitrogen, antibiotics, as well as high COD (chemical oxygen demand) loads can cause a process disturbance.

Hydrolysate from the hydrolysis / acidogenesis stage is first fed by means of a distribution system into the trickle bed reactor. The trickle bed reactor should realize a partial reduction of about 10 % COD. The selection of the trickle bed reactor as the first stage of methanation should compensate for the risk of accumulation of organic acids. The microbial biomass is to be fixed by means of growth support materials. The excess substrate flows through the reactor and is transferred to the next stage. This consists of an Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor (UASB). The UASB is a process that enriches biomass by the microorganisms forming natural pellet bodies. This is flowed upward, so that the microbial biomass remains at the bottom of the reactor. The third stage is designed as an anaerobic filter. This is also operated as an Upflow reactor. After successful incubation and determination of the performance of the individual reactors, the second and third stages are connected to a hybrid reactor. In this reactor, the aim is to carry out the aceto-lactic methanogenesis in the lower part of the reactor (originally stage two, UASB) and the hydrogenotrophic methanogenesis by the hydrolysis gas feed below the anaerobic filter (originally stage three). The optimum driving style is to be developed by varying the flow rates in combination with the recirculation of low-COD process water and the hydrolysis gas feed.

For der flexible modular aim, the concept has to perform with high COD-, ammonia-loads over a short period of 24 h hours.

Ballistic Separators as a Pre-Sorting Machine for Heavy Waste Streams

C. Nordmann & U. Sigmund

Stadler Anlagenbau GmbH, Research and Development, Altshausen, Germany

Ballistic separators are typical sorting machines in mechanical recycling plants for paper, cardboard, household waste, plastic bottles and film. Common machines do not allow the handling of heavy waste streams, hence a pretreatment like pre-shredding and removing of oversize objects is necessary.

The ballistic separator type STT6000 has a couple of design features to handle heavy, un-shredded waste streams. Shafts, base frame, sealing of the bearings and greasing system are designed very robust. The discharging points for all fractions are large enough to pass big single parts and avoid being clogged by large objects. The following sorting steps in the process need to be prepared to handle the heavy waste streams. A combination with a robot sorting system can handle and sort big single parts out of the rolling fraction. The treatment of the flat fraction for the production of substitute fuel helps to reduce costs for secondary shredding.

Trials with C&I and landfill mining material show the feasibility and the potential of a sorting process without pre-shredding and pre-sorting on a ballistic separator of this size. Another machine, installed in a C&I sorting plant will produce further results in the future.

Catalogue for Soil Samples from Styria with Geogenic Contamination

M. Brechlmacher & M. Wellacher

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Waste Processing Technology and Waste Management, Leoben, Austria

The project ReSoil focusses on the development of quality assurance methods for excavated soil and products made from it, if contaminations with geogenic and anthropogenic metals are expected. Fourteen soil samples from the Austrian province of Styria were examined and evaluated. The results are collected in a catalogue, which is discussed herewith.

The European Waste Directive 2008 prefers recycling instead of landfilling but does not demand a certain recycling rate for excavated soil, as there is for packaging material, batteries etc., but there are other legislative documents. In Austria 32.8 million tons of excavated materials were registered in the Austrian electronic waste data management system in 2015. This is the biggest subset of all Austrian waste materials. Only 29 % of these materials were recycled in 2015, whereas for 2011 a recycling rate of 64 % was calculated.

Recycling of excavated soil in Austria must follow the guideline and limits of the Federal Waste Management Plan in which total concentrations and eluate concentrations of certain elements and chemicals are predefined. Thus excavated soil is mainly evaluated through its content of contaminants such as certain metals. These metals can be of geogenic or anthropogenic origin and were examined in the presented study.

Samples were taken from 14 sites in Styria which had been identified as locations with elevated content of the metals As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni and Pb due to a geogenic background. The metal concentration per weight of the soil and the eluate were analysed and further plant nutrients and other soil parameters. An approach to distinguish between geogenic and anthropogenic contamination was proposed. The analysis data was compared to limit parameters of the Federal Waste Management Plan 2017 and the consequences in case of an excavation are discussed in the catalogue for each examined site.

The catalogue summarizes all soil analysis results obtained within the ReSoil project for their transparent documentation and interpretation.

Thermal Processing Technology – Resource and Heat Recovery from Iron and Steelmaking Slags

K. Doschek, M. Hohenberger, B. Mühlbacher, C. Ponak & H. Raupenstrauch

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Thermal Processing Technology (TPT), Leoben, Austria

The research group High Temperature Processing Technology at the Chair of Thermal Processing Technology focuses on metallurgical and process engineering problems at high temperatures. The current research goal is to develop processes for producing a recycling product out of blast furnace slag and basic oxygen furnace slag and to use the high thermal energy. This combines waste prevention with resource sustainability and safety.

Therefore, two processes in the pilot phase have been developed. The dry granulation of blast furnace slag (DSG) and a reducing treatment of steelmaking slag (InduRed).

Both use the same inductive heating unit (InduMelt) for melting up to three kilogram of slag and heating it to a given temperature. The challenge is to produce the same melting rate reproducibly.

Dry slag granulation uses a rotary disc to atomise the molten liquid slag. The atomisation is done in air. This offers the possibility to use the thermal heat of the high temperature slag. Small particles are formed which can be used in the cement industry as recycling material. The process is already in use in a pilot-scale project in an industrial environment. There are still investigations to be done in the small laboratory scale plant, especially to control the process through quality characteristics, such as particle size distribution, film thickness, number of ligaments and the production of slag wool. Another issue is the on-line monitoring of these quality characteristics with optical devices.

The InduRed process investigates the feasibility of the reducing treatment of liquid steelmaking slags to separate the metallic fraction from the mineral fraction. In order to provide a large surface blocks of graphite are used in an inductive heating unit. The process offers the possibility to recover valuable metals like iron, manganese and chrome. At the same time the mineral fraction can be used in the industry with low metal concentration.

Additionally, the enrichment of phosphorus in the metallic phase is examined. The separation of iron and phosphorus is also relevant for another process called Re-coPhos. This process recovers phosphorus from sewage sludge ash. Therefore also graphite is used in an inductive heating unit.

These research areas are very relevant in the future in terms of mineral planning and increasing energy efficiency in Europe. From an ecological and economic point of view, the revision of these topics is valuable in regard to waste prevention, recovery of valuable materials and heat. At the chair of Thermal Processing Technology at the Montanuniversitaet Leoben, efforts are made to advance these research areas and to find marketable problem-solving concepts in cooperation with industrial partners.

Conditioning of Laboratory Glass Waste for Material Recovery

H.M. Menapace & F. Rossmann

Peter Seppele Gesellschaft m.b.H., Feistritz/Drau, Austria

In the last years a gradual increase in disposal costs for the thermal treatment of laboratory waste took place. In addition, the logistical effort for the collecting, characterization and packaging of these laboratory wastes rose significantly. Beside the attachment of a detailed packing list, a maximum weight limit of 80 kg per clamping ring drum with laboratory waste is required by the incineration plant. This barrels are used as transport and disposal packing, therefore a constant demand on such packages exists.

Due to these high logistic requirements and the lack of recycling potential for the laboratory waste in the thermal disposal process, considerations were made regarding an alternative preparation of a partial flow (empty laboratory glass bottles) at the Peter Seppele GmbH site.

In the specific case, a cleaning method for conditioning of these contaminated glass bottles is presented, which subsequently enables a recycling of the purified packaging glass. The system is initially designed for an annual amount of glass from 10 to 20 t. Through an input control the requirements for the takeover as contaminated packaging glass are examined. If requirements for the following cleaning process are not achieved, the glass packaging is taken over as unsorted laboratory waste and residues of chemicals with the Austrian waste number 59305. The purification process is realized by a mobile bottle cleaning system, which is located in the transfer area of the in-house liquid waste treatment plant.

For this purpose, a mobile bottle washer from ebatec is used. The bottles are manually sealed in a washing basket and fixed for the cleaning step. By bottom mounted spray nozzles, a cleaning of the inner bottle surfaces is realized. Through a mobile flush arm on the ceiling an external cleaning of the bins occurred. As an option, cleaning agents can be added. The washing water for the cleaning process is heated to 57 ° C, by heating elements installed in the tank of the bottle washer and circulated during the flushing process with a throughput of about 330 l/min.

The washing water resulted from the cleaning process is mainly contaminated with acids, alkalis and various solvent residues. A chemical-physical cleaning stage (precipitation, flocculation, neutralization) for liquid waste is used for the treatment of these effluent. This treatment plant is followed by a police filter (RO module, activated carbon) for an optional second purification stage.

Following advantages can be achieved through the cleaning step:

- The washer is a consumer of process water from the in-house liquid waste treatment facility (circulation of the wash water is possible - no fresh water is used).
- Since there is only a separation of residuals in the bottles, no additional use of chemicals is required in the cleaning process.
- Material recycling instead of disposal.
- Proceeds instead of costs.
- Reduced administrative and logistical costs (no packing list, no packaging costs).

Recovering of Residual Waste by Fine Fraction Oculation

W. Felber
Graz, Österreich

45 – 55 % of the total weight of a dozen of residual waste fractions of household and household-similar waste is a “fine fraction” part (“Erdenähnliche” in German).

Multiple sieving sifters automatically separate “fine fraction” particles from residual and household-similar waste and clean new soil horizons by inoculation:

The BIOTECH1 programme (2013 – 2017) has clearly demonstrated reduction of anorganic dangerous-to-humans contamination materials of heavy metals (Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Co, Mo, As, Zn). The reduction rate is lowered distinctively to less than a third of terrestrial surface and ground. The process leads to even the highest quality A+ compost (Austrian regulation) within five years. The decontaminated material however is a “dead” substance. Which additionally has to be inoculated by a multi-mycel-rich substrate from household, garden and forest ground – however different from compost production.

A remarkable reduction of the “Erdenähnliche” is made possible:

- Firstly by specific mechanical separation of metals, PVC separation and separation of high temperature plastic fractions of PE and PP. This happens mainly full-automated by infrared and CIS technologies today, in another step by sieving.
- Multiple sifters (80 – 20 - 4) sieve non vital earth particles finally below sizes of 4 mm (real. 2.5 mm).
- In addition, this has to be inoculated by “special mycel-rich masses” to revitalise.

The production of inoculation masses is a complex procedure which requires know-how. In a 5 years lasting process “BIOTECH1” between 2013 and 2017 the author showed and steered heavy metal elimination by an inside dynamic biological process: Roots of inoculated mycel-rich masses collect heavy metals dangerous for man (see above) and therefore the process reduces soil contamination within a surprisingly shortened 5 years period.

Grown-up plants over soil niveaus however do not or not of importance uptake aforementioned heavy metals in a lower concentration. So harvested biomass is able for heating, on the other hand the contaminated roots are dug out for use in metallurgic processes.

The applied cleaning process could be overtaken as well for earth similar materials of the building, construction and demolition sector.

The amount of “earth similar materials” (“Erdenähnliche”) of residual waste fractions of household / household similar waste in Austria shows total basic masses of approximately 200,000 t per year. Extended to similar earths of the building, construction and demolition sector are expected to another 5 million tons yearly.

A following research program “BIOTECH2” will be worked out with interested partners for its 5 years period 2019 – 2023.

Walter Felber is consultant in the town and country planning and environment technology fields since the 1980s. Since the year 2000 he is mainly concerned with recovering and recycling of residual waste fractions.

Chemical Current Sources Management in the European Union and Russia in the Context of Extended Producer Responsibility

V.G. Zilenina & O.V. Ulanova

Irkutsk National Research Technical University (INRTU), Irkutsk, Russian Federation

C. Dornack

Technical University Dresden, Institute of Waste Management and Circular Economy, Dresden, Germany

This article is concerned with the extended producer responsibility (EPR) concept and the mechanisms of its implementation in the spent chemical current sources (SCCS) management in Russia and in the EU countries. The EPR organization models for greening the SCCS lifecycle in these countries using the existing legal basis of the European Union and Russia are presented.

In Europe, EPR is known as an efficient tool for managing different waste flows and reducing their disposal to solid municipal waste landfills. In addition, EPR contributes to the hierarchical sequence in the waste management (Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive)) with the priority of waste prevention. At the EU level, three Directives introduce EPR as a political approach: Directive ELV 2000/53/EC, new Directive WEEE 2012/19/EU, and Directive on accumulators 2006/66/EC. The EPR concept is also widely used in support of the implementation of Directive on packaging and packaging waste (94/62/EC) though Directive itself does not establish this principle.

In 2014, the EPR principle was first introduced in the Russian Federation in the new edition of the Federal Law of June 24, 1998 № 89-FZ on the production and consumption waste aimed at solving the problem of the SMW collection and recycling. Producers and importers may directly organize their own infrastructure facilities for the collection, processing, and utilization of waste of used products. Also, the utilization can be performed by contracting with a SMW management operator or by establishing associations of producers and importers.

Within the “Geoecological Evaluation of the Migration of Heavy Metals in Technogenic Soils and Groundwater of SMW Landfills of the Baikal Region” scientific project, which was supported by the “Scientific Research Scholarships for Young Scientists” program of the German Academic Exchange Service (DAAD), aimed at the experimental study of the leaching capacity of heavy metals into landfill leachate at the Dresden University of Technology (The Institute of Waste Management and Circular Economy), the laboratory studies were performed for modeling the SMW degradation processes in landfills located in the Irkutsk city and at the Lake Baikal, which is a UNESCO World Heritage Site (the Irkutsk region, Russia).

Based on the empirical research, the calculations were made to forecast leaching of the CCS components into a solid municipal waste (SMW) landfill body.

It is also noteworthy that one of the main problems concerned with the organization of the SCCS recycling system in Russia is the low environmental awareness of people and their low level of involvement into the separate waste collection system.

United Nations Framework Classification for Resources (UNFC)

U. Kral

Technische Universität Wien, Forschungsbereich Abfall- und Ressourcenmanagement, Wien, Austria

S. Heuss-Aßbichler

Ludwig-Maximilians-Universität München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften, München, Germany

The demand for resources is on a growth trend. It is likely that future supply will be dominated by primary raw materials and complemented by an increasing share of secondary raw materials. The utilization of secondary raw materials conserves geogenic deposits and their production is often less energy intensive than primary raw material production. Utilizing secondary raw materials effectively requires knowledge about the availability under varying socioeconomic and political conditions. This knowledge is partly available but it is not grounded on a standard framework. This impedes comparisons across commodities and time.

The United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) through the Expert Group on Resource Classification (EGRC) has now filled this gap by extending the application of the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) to anthropogenic resources. New specifications have been developed that define the terminology and principles for categorizing anthropogenic material quantities at the source of supply. The categorization respects three key criteria. First, the level of confidence on the knowledge about the anthropogenic resource and its retrievable quantities, second, the project status and feasibility, and third, the socioeconomic viability.

Classifying anthropogenic resources based on the UNFC provides countries, companies, financial institutions and other stakeholders information for sustainable development of anthropogenic resource endowments. It facilitates the development of recovery projects in public-private partnerships where politics and administration set the legal and financial boundary conditions and the industry provides the capabilities for implementing recovery projects. It also facilitates the planning of national resource supply with consideration of primary and secondary raw materials.

Reslag - Turning Waste from Steel Industry into Valuable Low Cost Feedstock for Energy Intensive Industry

K. Nothacker & G. Homm

Fraunhofer Projekt Group Materials Recycling and Resource Strategies IWKS, Alzenau, Germany

The formation of slag is part of the intrinsic process of steel production. From the environmental point of view, the landfill of slags is a significant source of pollution of air, water and soil, and further adversely affects the human health, and the growth of plant and vegetation. Slag landfills can emit heavy metals to the environment (soil and water) over very long time periods what represents a high environmental burden. Therefore, any improvements in this sector will have a very high positive economic and environmental impact. The Project Reslag (funded by the European Union's H2020 Programme Waste-1-2014. GA – 642067) has the main objective to implement an effective valorization of steel slag and its reuse as a feedstock for four innovative applications. The new technologies will be demonstrated by first line end-user industries on a technical pilot level. These include the extraction of critical metals and the production of ceramics material from industrial slags. Further pilots are thermal energy storage systems reusing waste from the steel sector towards a cross-sectorial circular economy. In addition Reslag Market, an interactive ICT-Tool, is created during the project to map waste streams from steel industries and match offers with corresponding requests from end users. It is a European waste traceability solution for the metal, energy-intensive, concentrated solar power (CSP) and refractory industries. The aim of this task is therefore to map current and future markets, player and possible applications in addition to the already identified industry sectors.

Food Waste Generation and Prevention in the Austrian Food Service Sector

M. Hrad, R. Ottner & G. Obersteiner

University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU), Institute of Waste Management, Vienna, Austria

Reducing food waste and improving resource efficiency are seen as important societal issues with considerable ethical, environmental and economic implications. Within the framework of the research initiative “United Against Waste” (UAW) and the EU project STREFOWA („Strategies to reduce and manage food waste in Central Europe“), the food waste generation of 74 Austrian food service outlets including restaurants (17), hotels (22), workplace canteens (17), healthcare centers (13) and event catering businesses (5) were investigated. The food waste produced during a single day was classified into five categories (storage losses, preparation losses, unissued meals, leftovers on the plate and from the buffet table) and eight product classes (e.g. fish/meat, vegetables/fruits, soup, starch accompaniments, etc.). This distinction provided a better information basis for the identification of avoidance strategies. In order to allow a comparison between various food service outlets or sub-sectors as well as an evaluation of the individual operating efficiencies, the loss ratio (level of efficiency) was introduced as a benchmark. The loss ratio is the amount of avoidable food waste (in kg) in relation to the amount of food consumed (in kg) per survey day.

In total, about 8,600 kg of food waste was analysed in all food service outlets. The ratio between the amount of avoidable food waste (excl. preparation loss) and the food consumed ranged between 5 to 55 % in all companies. Healthcare centers and event catering showed significantly higher loss ratios (median 24 – 27 %) compared to hotels, restaurants and workplace canteens (median 13 – 18 %).

Catering businesses revealed high levels of food waste caused by unissued meals meaning overproduction of food (44 %), which consisted mainly of starch side dishes, fruits and vegetables as well as sweet dishes. In healthcare centers the share of preparation loss was substantially low (8 %), while the share of leftovers on the plate showed the highest level (56 %). Avoidable food waste consisted to a large extent of soup (21 %) and starch side dishes (14 %). Large quantities of salad, starch side dishes as well as meat and fish remained on the plates (37 %) in restaurants. Restaurants also revealed the highest share of (unavoidable) food waste at the preparation stage (47 %). In workplace canteens food waste of unissued meals (33 %) and leftovers on the plate (30 %) comprised of starch side dishes, salad and soup. In the case of hotels a rather high share of leftovers from the buffet table (28 %) could be determined. A particularly important issue are residues of starch side dishes (15 %) as well as fruit and vegetable waste (14 %).

With the consulting initiative of UAW – called Küchenprofil[t] – selected companies are professionally coached by independent consultants (e.g. professional chefs) to identify avoidance measures. Follow-up sorting analyses will start in summer/autumn 2018 in order to evaluate the success of avoidance measures undertaken. Findings will be used in a guideline on food waste prevention activities in the food service sector and will be accessible for the broad public and interested stakeholder groups.

Identification of Factors Influencing Household Fruit and Vegetable Waste

S. Schwödt & G. Obersteiner

University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Vienna, Austria

Schott and Cánovas (2015) compared nine different studies (2009-2013) on food waste in households. Looking at the composition of the avoidable waste the proportion of fruit and vegetable waste is particularly high (24-40 %). This initial situation was the basis for a detailed analysis of the factors influencing household fruit and vegetable waste. For this purpose, 82 waste diaries have been evaluated, which included records of the purchased and discarded quantities of fruit and vegetables, the storage place and the causes of the discard. At the same time, an online survey (291 participants) was conducted to provide additional information, including estimates of estimated quantities of fruit and vegetable waste, problematic fruits and vegetables and currently used recovery and avoidance strategies. The influencing factors can be subdivided into three groups: the first factor is "knowledge and habits" of consumers. It could be determined by the online survey that those consumers who regularly shop more than planned also reported a higher estimated waste volume. The online survey also showed that a majority of respondents stated that they often forget to process the purchased fruit and vegetables. The analysis of the food diary shows that especially the wrong storage in the households is a problem. However, the most frequently discarded fruits (apples and oranges) were incorrectly stored at room temperature by the majority of the participants. This shortens the shelf life of these two varieties by several weeks. The second group of influencing factors are the "characteristics of the products". Fruits and vegetables that are often hard to process by consumers due to their properties could be identified. In particular, the size of the fruit (e.g. pineapple, cabbage varieties) and the processing effort (e.g. peeling pumpkin) led to certain fruit and vegetable varieties being perceived as problematic. However, also varieties that spoil very quickly such as berries or salads are a concern. The third factor group is directly related to the distribution of the product, such as inappropriate sales units in supermarkets and special offers to purchase larger quantities (for example peppers). Another aspect here is the role model effect of the retail sector. Fruit and vegetables are usually offered uncooled for sale. This may cause that consumers think that cooling is not necessary. More information on the proper handling of fruits and vegetables as well as preservation methods is needed to minimize avoidable fruit and vegetable waste at households.

Study on Polystyrene Material and Shredder Light Fractions for the Hazardous Property HP14 „Ecotoxic“

W. Wruss, K. Wruss, O. Mann & A. Dvorak

ESW Consulting WRUSS ZT GmbH, Research & Development, Vienna, Austria

J. Kraus & S. Löw

Federal Ministry for Sustainability and Tourism, Republic of Austria, Vienna, Austria

Under the directive 2008/98/EC the assessment of environmental hazardous properties (HP) of waste has to be done according to the regulations for chemicals. This should harmonize the criteria and methodologies with the regulations (EC) 1272/2008 (CLP) and (EC) 440/2008 (REACH). The Council Regulation (EU) 2017/997 describes the assessment of the ecotoxic potential according to the hazardous property HP14, which considers the ozone depleting potential and the hazard for the aquatic environment.

In this study EPS (expanded polystyrene) and XPS (extruded polystyrene) as well as shredder light fractions were analyzed for the classification of the hazardous property HP14 „ecotoxic“. Critical substances in polystyrene material can be fluorinated and chlorinated hydrocarbons as well as flame retardants, such as hexabromocyclododecane (HBCD). Waste has to be classified as hazardous according to HP14 if it contains an ozone depleting substance (H420) with a concentration exceeding the limit of 0.1 %. Furthermore, in Austria waste has to be classified as hazardous, when the sum of CFCs/HCFCs/PFCs/HPFCs and halones exceed the limit of 0.2 %. According to the regulation (EC) 1272/2008 (CLP) polystyrene material has to be classified as hazardous by HP10 (toxic for reproduction) if the concentration of HBCD exceeds a limit of 3 %. Additionally, according to the regulation (EU) 2016/460 a polystyrene material has to be destructed if the concentration of HBCD exceeds a limit of 0.1 %.

Shredder light fractions (SLF) occur in the process when vehicles are dismantled. They essentially consist of plastics/rubber, organic compounds, glass/ceramics and residual metals. Problematic compounds in the SLF are mainly heavy metals and flame retardants, used in the plastics.

To assess the aquatic toxicity for the hazardous property HP14, calculations can be done according to the regulation (EU) 2017/997. In the regulation (EC) 1272/2008 (CLP) there are references to test methods and criteria for the classification of ecotoxic properties, which are based on aquatic biotests. When a hazardous property of the waste has been assessed by tests and by calculations, the classification shall be done on the basis of the tests, according to the decision 2014/955/EU and regulation (EU) 2017/997. In this study four different biotests (Daphnia, Algae, LumisTox, Tox-Trak) were conducted to assess the aquatic toxicity.

Regarding the XPS samples, 44 % had to be classified as hazardous waste concerning the hazardous property HP14 (ozone depleting). Furthermore, 17 % of the samples had to be classified as reprotoxic due to a high HBCD content (HP10). Within the scope of the biotests, no polystyrene sample had to be classified as hazardous to the aquatic environment.

Due to the heavy metal concentrations, all eight SLF-samples have to be classified as ecotoxic according to HP14, if the calculation method is used. If using the suggested biotests, all samples show an EC50-value greater than 100 mg/L. Therefore the samples were not classified as ecotoxic regarding the HP14 property.

Consumer Type Analysis for the Implementation of Food Waste Prevention Measures

G. Obersteiner & S. Schwödt

University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Waste Management, Vienna, Austria

The paper aims to present the development of tailor-made measures to reduce food waste at household level based on findings of a large-scale household questionnaire conducted in Austria between March and April 2017. 28 food waste related questions aimed to bring up a status quo on attitudes towards food waste, knowledge about the handling of food stuff as well as food waste generation and food waste prevention at households. The questionnaire has been answered fully by 2,159 participants, 473 did not finish. Through a cluster analysis of the results it was possible to divide consumers that are to a full or large extent responsible for shopping and cooking at home into four different groups (Eager Avoiders, Uninformed but Eager, Informed but Uninterested, Uninformed Squanderers). Although there can be found large differences among these groups when it comes to attitude, knowledge, food waste prevention behaviours as well as behaviours that might lead to increased food losses, it was not possible to find great differences among the consumer groups when asked about the kind and frequency of materials they want to receive in order to prevent food waste at home.

Analysis of Unused Raw Material Potentials in the Material Flows in the Harz Region (Germany)

J. Dräger, M. Hoffmann & D. Goldmann

Clausthal University of Technology, Institute of Mineral and Waste Processing, Waste Disposal and Geomechanics, Clausthal-Zellerfeld, Germany

The project "Recycling 2.0" is a strategic project in the field of waste management. In various waste management structures, a large raw material potential can be assumed. Within the project, different hidden potentials are determined for the Harz region as an example. Furthermore, potential recovery and exploitation approaches are identified. For the first time, the aspects municipal waste management (consumer to business - c2b), industrial waste (business to business - b2b) and anthropogenic deposits (deposit to business - d2b) are studied in one, interdisciplinary project. A new network of governmental institutions, industrial partners and research facilities in the Harz region is used to establish new solutions or improve current activities. The article introduces the project and presents a few exemplary results from the subprojects b2b and c2b. A data base of local industrial partners and potential material as well as energy streams is developed and serves as an optimisation tool in b2b. Two industrial projects show the potential for reuse and recycling. For c2b, a survey with WEEE recyclers and a field study concerning contained batteries are presented the investigation and findings must be transferred to other material flows.

Electric Locomotive Equipped with 2,000 kg Reuse Lithium-Ion Batteries - Realisation, Experiences, Prospect

T. Winkler & H. Weiß

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Electrical Engineering, Leoben, Austria

Within a call for tender, Austrian Federal Railways (OeBB) as well as the Austrian Research Promotion Agency aimed for the conversion of a shunt locomotive type OeBB 1063 towards an alternative drivetrain concept. Among other requirements, the locomotive had to be equipped with an energy storage system meeting certain specifications. In order to stay within the predefined cost limits the vehicular concept included utilisation of pre-used lithium-ion accumulators.

Utilisation of reuse lithium ion batteries not only improves the energy footprint of the battery unit but also reduces costs for implementing alternative drive-trains in non-critical applications regarding weight. However, one has to pay attention to the dangers during the second lifetime of pre-used battery systems.

This research paper covers questions such as examination of lithium-ion cells and decision over suitability for reuse as well as aspects considering employment of large masses of reuse batteries including battery monitoring and the space concept in this particular case – an OeBB 1063 type locomotive.

In conclusion the conversion of the locomotive proves that it is possible to implement energy storages built up from reuse lithium-ion batteries on condition that the design includes measures according to special requirements of such energy storages.

Generic Model for the Environmental Assessment of Anaerobic Digestion of Food By-Products and Waste

S. Scherhauser & S. Gollnow

BOKU University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Waste Management, Vienna, Austria

The assessment of prevention, valorisation and disposal of side-flows from the food supply chain is part of the EU H2020 funded project called REFRESH. Within the project a web-based spreadsheet tool is developed to show greenhouse gas (GHG) emissions of side-flow routes to support stakeholders in their decisions for interventions. It is a learning tool and provides a good understanding in the dynamics of selected parameters usually controlled by the generator or the user of the side-flow. The inventory on anaerobic digestion shall feed into a generic model providing average environmental impacts on European level. However, the choice of substrate for the anaerobic digestion, the installed technology, operational practice at fermentation (dry or wet fermentation) and operational practice concerning the digestate (separation, type of storage) as well as the use of the biogas (e.g. to provide energy, or fuel) clearly influences the results, which makes it difficult to provide an average data inventory for food side-flows selected for assessment. This contribution presents the approach, the data inventory and the assumptions behind such a generic model.

Biogas can be used for the production of heat and electricity in a co-generation plant or can also be further treated to enrich the content of methane and supplied to the natural gas grid or to use as a fuel. Most used system in Europe is still the co-generation plant where a gas engine and a generator is used to directly produce electricity. Exhaust fumes can be used for heat generation. So, the use of both, thermal and electrical energy produced from biogas plants, was assumed in the model. The product digestate contains valuable nutrients which can be used as a fertilizer in agriculture. In studies with environmental assessment of biogas plants it is most common to consider that the digestate is used as a fertilizer in agriculture. This is also assumed in the model. The biogas yield was determined for specific food side-flows according to the protein, fat and carbohydrate content with the assumption that 100% of all organic substances are decomposed, which is not true in practice. The energy content of biogas was calculated by the lower heating value (LHV) of different gas components and the efficiency was assumed to be 45% thermal and 35% electrical.

The treatment of food waste in an AD plant is linked with greenhouse relevant emissions, coming on the one hand from energy use in the plant and on the other hand from biological process of the degradation of material as well as due to technical losses of biogas utilization (e.g. methane slip). Additionally, emissions occur at digestate storage and application on land. In case of AD relevant greenhouse gases occur in form of methane and nitrous oxide which are considered in the model (biogenic carbon dioxide is accounted with zero emissions).

The generic model can serve as transparent and fair option to compare anaerobic digestion to alternative treatment or disposal options of specific food side-flows for the purpose of a learning tool. In any case the production of biogas as an energy source substantially contributes to mitigate GHG emission if co-products (electricity, heat, digestate) are used and replace fossil based energy sources and mineral fertilizer.

Energy and Resource Savings due to Urban Mining Using the Example of Photovoltaic Modules

M. Schwarz, K. Fazeni, J. Lindorfer & S. Moser
Energieinstitut an der JKU Linz, Linz, Austria

The aim of urban mining is to efficiently recover materials from (long-lived) products at the end of their life. Re-introducing materials from the anthropogenic stock into product cycles saves natural resources and increases raw material self-supply. Furthermore, it is environmentally beneficial to utilize secondary raw materials, because of the typically lower environmental and energetic burden associated with recycling compared to primary production. Due to the enormous anthropogenic stock which has been built up in urban regions, enhanced urban mining can substantially contribute to increasing the resource efficiency of modern cities. Renewable energy technologies, such as photovoltaic (PV) systems, are a rapidly growing stock of raw materials that must be recovered as efficiently as possible at the end of their life. PV power generation is suitable in rural as well as in urban areas, as a result of which the rapid expansion of installed PV capacity in Austria also leads to substantial inventories, especially of metals (e.g. aluminum, copper, steel, tellurium, etc.). In line with the global trend, significant potentials were implemented in Austria from 2010, and by the end of 2016 a cumulative PV output of 1,100 MWp was installed, which corresponds to 124,000 tons of PV modules. However, in order to cover 100 % of Austria's electricity supply by renewables, PV can contribute essentially, requiring a further expansion of 9.7 GWp by 2030 and a cumulative output of 26.7 GWp by 2050 is required (see also PV Roadmap 2050 for Austria).

Accompanying the future increase in installed PV capacity, an increase in PV waste is expected after the end of the lifetime of the installed modules. For this reason the efficient use and recovery of materials in PV systems was investigated within a case study. The results of the case study are based on the critical analysis and evaluation of existing urban mining studies, and on a well-structured process of knowledge exchange and discussion among stakeholders to identify optimization potentials from a broader perspective. Furthermore, the results include the synthesis of relevant national and international studies, specific case studies addressing the design of energy and resource efficient product cycles, possibilities for supporting recycling-oriented products and components, strategies to involve and incentivize stakeholders in the field of urban mining, and finally policy recommendations on the implementation of urban mining strategies.

Lessons Learned from the RUN Project

R. Brüning & J. Wolf

Dr. Brüning Engineering UG, Brake, Germany

After three years the co-financed phase of the EU project RUN (ReUse Notebook) came to an end. It is now time to look back at lessons learned during the project.

It was the aim of the project RUN ("ReUse Notebook – Collection, Refurbishment and Distribution System") to implement a system for collecting, refurbishing and re-marketing used notebooks from private households and small and medium enterprises (SME). RUN is the first cross-national system to offer solutions for the reuse of notebooks from private households. The RUN team found strategies to counter challenges specific to these notebooks. For example, only one notebook is usually collected from a private household and that notebook has to be sent to the refurbisher in a cost-efficient way. Additionally, the quality and condition of each collected notebook is unknown before the device is checked.

The RUN system offers solutions for these specific challenges, e.g. due to the flexible collection system that offers two distinct collection channels, due to the standardisation of the refurbishment process and due to the remarketing that focuses on different sales markets and market segments.

The system starts with the collection of notebooks. The RUN project offers collection points as well as an online take-back system. Both systems are free of charge for the customer. In Austria notebooks can e.g. be handed in at all branches of the local folk high schools (VHS) in Vienna.

After the collection, notebooks will be checked and refurbished. The RUN team designed a series of checks and criteria to ensure the quality of the refurbishment. Part of the refurbishment process is the deletion of all data on each device. Additionally, there are checks of components and, if the notebook can be reused, the intensive cleaning of the device. Furthermore, based on the results of the checks, a decision has to be made, if the notebook can be reused.

Before a notebook is remarketed, it has to be decided whether to resell or to donate the device. Possible sales markets are Austria, Germany, Poland or South-East Europe. Devices that cannot be sold, will be donated to education centers.

The RUN team had to deal with specific challenges and found practicable solutions. The project is continued after the co-financed phase. The system was developed by a group of experts with backgrounds in logistics, refurbishment and web-design in Austria, Germany and Poland. It was initiated and coordinated by Dr. Brüning Engineering UG.

Contraries and Packed Food in Biowaste

A. Krenn

Abfallwirtschaftsverband Leoben, Leoben, Austria

M. Wellacher

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Waste Processing Technology and Waste Management, Leoben, Austria

Separately collected organic waste from households (biowaste) in countries with advanced waste management systems is mainly recycled to compost products. The quality of sorting of the biowaste producer, the citizen, dictates the quality of the compost. Once the content of contraries is lower than 1 % fresh weight an acceptable compost quality can be ensured. Above 3 % contraries content no satisfying compost quality can be produced and the compost will contain visible plastic parts.

The given study was undertaken to tackle the contraries problem in biowaste and subsequent in compost.

In spring 2017 50 samples were taken from biowaste bins in the city of Leoben in the Austrian province of Styria – in total 1,200 kg – and sorted for

- biowaste,
- plastic non-degradable,
- plastic biologically degradable,
- other miss-throws (metal, ceramic, composite material) and
- packed food.

To research the influence of the settlement structure three types are distinguished:

- multi-party houses with more than 10 households (MPH >10),
- multi-party houses with less than 10 households (MPH <10) and
- single-family houses (SFH).

The connection between settlement structure and biodegradable waste quality was proved: Biowaste from multi-party houses showed more and other contaminants, 3.4 % and biodegradable plastic as well as packed food, than waste of single-family houses, 0.6 % and neither biodegradable plastic nor packed food. The reasons are multi-fold and can be found in the anonymity of multi-party houses compared to the single-family houses, in the type of pre-collection bags used in the kitchens and the different attitude of citizens to environmental issues.

The highest subset of miss-throws were "other miss-throws", 1.2 %, followed by non-degradable plastic, 1.0 %, and degradable plastic, 0.3 %. Only 0.2 % packed food waste was found. The average content of contraries in the biowaste bins run up to 2.7 %.

Possible remedies which could help to improve the biowaste quality are discussed. Mainly it is the municipality which can undertake the most effective measures to inform and educate the citizens in terms of the importance of no contraries in the biowaste, i.e. to improve their source separation behaviour. This can be done best by applying a multistage feedback system to the waste-producer starting with positive communication to motivate and ending with a notable extra fee if neglecting thorough source separation.

Resource Management in the Circular Economy – Perspectives of Austrian Experts

M. Pamperl, N. Unger & P. Beigl

University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, Institute of Waste Management, Vienna, Austria

Despite positive developments in the past, the amount of materials recycled and re-introduced into the production process can still be substantially increased in Europe. The Institute of Waste Management of the University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU Wien), therefore, investigates resource potentials in the Austrian economy. This research project, which is promoted by the Anniversary Fund of the Oesterreichische Nationalbank, also addresses the underlying economic mechanisms determining the recovery and use of secondary materials. In order to actively involve stakeholders and to acquire insights from business practice, experts from the fields of industry, administration and science were invited to participate in a workshop in October 2017. Based on kick-off speeches, group work and plenary discussions, the experts were asked to elaborate on two leading questions: Which factors facilitate closed material cycles? How can these factors be transferred to other sectors?

Starting from an overview of the European Commission's Circular Economy package and related measures so far, this article provides a summary of the workshop's central outcomes and steps deemed necessary for the transition to a circular economy.

During the discussion, several barriers to closing material cycles were identified. Frequently, the recyclability of products is not considered at the design stage. Moreover, certain waste materials such as plastics from WEEE may not be suitable for recycling due to the presence of substances that are no longer allowed. Furthermore, several secondary resources lack sufficient demand, which hinders investments in new recovery capacities. Measures to improve the uptake of recycled materials include the development of certification schemes and standards in order to increase trust in the materials' quality, economic incentives for manufacturers such as tax advantages or discounted licence fees for products made of secondary resources, and awareness-raising activities targeting consumers. Finally, the experts stressed the importance of innovative approaches for opening up new business areas and exploiting unused resource potentials. This requires extensive investments and cooperation of all actors alongside the value chain.

Waste Glass Recycling - Percentages of Impurities in Waste Glass in Austria

A. Aldrian & R. Pomberger

Montanuniversitaet Leoben, Chair of Waste Processing Technology and Waste Management, Leoben, Austria

C. Schipfer & K. Gattermayer

Vetropack Austria GmbH, Pöchlarn, Austria

In Pöchlarn/Austria, Vetropack Austria GmbH operates a plant for manufacturing glass packaging. There, cullet is used as secondary raw material in glass production, with waste glass accounting for more than 60 % of the raw material used. There is also a waste glass processing plant located at the site that processes the cullet with a throughput of approx. 25-30 t/h. A project managed by Vetropack Austria GmbH and the Chair of Waste Processing Technology and Waste Management has determined the percentages of impurities in waste glass input material. For this purpose, the output fractions of the plant (including ferrous metals, non-ferrous metals, CSP fractions, light materials, oversized grains, etc.) have been sampled and subsequently sorted and/or chemically analysed. In addition, all output fractions have been weighed to prepare a mass balance of the entire processing plant. Separate analyses have been performed for stained glass and white glass. Results show that the percentage of impurities in stained glass is about 1.53 % vs. 1.51 % for white glass. The most frequent impurities are screw caps, bottle tops, banderoles, PET bottles, ceramic/stone/porcelain, paper (especially labels), as well as textiles, wood and plastic packaging. The theoretical content of glass in waste glass delivered is therefore about 98.47 % (stained glass with a percentage of 4.13 % of brown glass) vs. 98.49 % (white glass). But in fact, this theoretical content of glass cannot be fully recovered by waste glass processing. Part of the glass will remain locked in the various output fractions because processing cannot completely separate it from impurities. The actually usable percentage is found to be approx. 87.58 % (stained glass without brown glass) vs. 95.78 % (white glass). In other words, 6.76 % of stained glass and 2.71 % of white glass stay locked in rejected impurities. Most of this content is lost during the separation of ceramic/stone/porcelain (CSP). Other primary loss-generating agents are the non-ferrous and ferrous metals fractions. This is due to the fact that the glass is tightly stuck in screw caps or banderoles and therefore cannot be exposed during the preparation process.

Food Waste Prevention in the Austrian Primary Production

E. Schmied & G. Obersteiner

University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU), Institute of Waste Management, Vienna, Austria

The poster highlights the achievements on food waste prevention in primary production in Vienna and hinterlands. Within the STREFOWA project an initial data basis of the gleaning potential of a range of field crops has been compiled and further findings on these food losses could be obtained in the course of field surveys. The results of gleaned crops reveal a differentiated picture: In addition to various influencing factors and site-specific conditions, especially harvesting technology plays an essential role. The quantity of collected leftover-crops on the investigated fields amounts to maximally 3 percent of the total yield. However, that effects significantly 1) the amount of avoidable food losses and 2) the profitability of any post-harvest, depending on the planted crops and yield. A roundtable discussion with stakeholders of the primary sector staked out the legal framework, discussed each representative's point of view, and advanced a preliminary outline of a distribution network. Additionally, the participants addressed what is missing or what exactly it needs to implement such a distribution network.

AKNOWLEDGEMENTS

The STREFOWA project is supported by the Interreg CENTRAL EUROPE Programme funded under the European Regional Development Fund.

Recycling of Sewage Sludge Ash in the Fertilizer Industry

A. Ragossnig, J. Maier & R. Hummel

RM Umweltkonsulenten ZT GmbH, Frohnleiten / St. Veit a. d. Glan / Wien

E. Kohl

NGS Naturgas GmbH, Geschäftsführung, Strass, Steiermark

Phosphorus is an essential and non-replacable nutrient for live on earth. As the phosphorus reserves are concentrated in geopolitically unstable regions and the quality of raw phosphate gets worse the concept of using secondary resources for phosphorus has become very popular during the last years.

Sewage sludge is the major sink of phosphorus in the anthroposphere. This led to many initiatives of research and development to make use of the phosphorus contained in waste water and sewage sludge. One of the favoured strategies is the mono-incineration of sewage sludge and the recovery of the phosphorus from the sludge ash or the direct use of the sewage sludge ash.

This contribution elaborates on the legal framework of the use of sewage sludge ash as an input material for the fertilizer industry. As the quality of the sewage sludge ash might imply that it is to be conceived as a hazardous waste (due to increased content of lime) a direct usage as input material in the fertilizer industry is not possible as hazardous wastes are excluded as input material as per the current stipulations of the fertilizer law in Austria. One possible option nevertheless is the declaration of end of waste for the sewage sludge ash which, however, requires a prior registration of sewage sludge ash as a substance within the REACH regime.

Circular Economy Package – The Reality about Landfilling and End-of-Life Vehicle Recycling

B. Kummer & W. Beysiegel

Kummer umwelt.kommunikation GmbH, Rheinbreitbach, Germany

For a number of consecutive years the German Environment Agency (UBA) reports about more than 1 million of missing ELVs in each single year. In the whole EU it is estimated this to be more than 3 million ELVs annually.

This is a situation that European as well as national policy makers cannot be happy with, as such figures are proof that opportunities for recycling and refurbishment in Europe and environmental hazard control are not functioning sufficiently well.

Much investment has been made alone in Germany in expectation of proper law enforcement. The capacity created is currently underused and economic development is blocked. There is widespread illegal export of ELVs to non OECD countries creating specific environmental hazards that the ELV legislation was supposed to control and to remedy at source.

This article discusses the European framework as well as the German legal situation highlighting possible shortcomings and options to improve the situation through improved legislation. More room is devoted to discussing existing disincentives to give ELVs back. Empirical evidence is presented demonstrating some of the pathways of ELV leakage in Europe and a simple and effective model of a deposit and take back system for ELVs is described.

The currently ongoing discussion about circular economy should be an opportunity to critically review the current law and practice under the aspect of its effectiveness. A number of concrete options are presented having potential to deliver towards effectiveness.

Waste Management 4.0 - Optimization of Waste Collection and Recycling Logistics in Irkutsk (Russia)

O.V. Ulanova & M.A. Shevela

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

Waste management 4.0 allows rational use of natural and technical resources, maximum energy efficiency, waste recycling, and production of new products, raw materials and energy. Waste management 4.0 is an integral part of the concept of smart city.

In 2014, the amendments to the Federal Law No. 89 “On production and consumer wastes” formed the basis of a new government municipal solid waste control system. The reform involves regional waste management and extended responsibility of consumer goods and packing materials producers. In 2016, Russian regions developed and approved territorial waste management schemes.

Currently, the national waste management information system is being updated in fulfillment of the Government order. The system involves

- electronic models of territorial waste management schemes in the Russian regions;
- regional waste management systems based on automated weight-checking data obtained from MSW recycling and dumping facilities and waste movement data.

Based on the national and foreign experience, development of a waste management information system (WMIS) should be the first stage of the efficient waste management system organization in a smart city.

To computerize a waste management system, it is necessary to develop a WMIS as a combination of information flows, economic and mathematical methods and models, technical, software and other engineering tools, and system support staff.

As an example, the article analyzes functions and practical significance of the Municipal Automated MSW Management Information Processing System in Irkutsk (hereinafter – AIPS WASTES).

The system controls all municipal waste management operations – from waste collection to municipal MSW dumping and recyclable material. The database was created in 2000. It is being annually updated in accordance with amendments to the legislation. As of November 22, 2017, the base contains data on 33,817 natural resource users (private entrepreneurs and companies), 5,471 waste collection facilities, and waste transportation companies.

Initiation of laws on waste recycling can transform the database into a regional system product involving development of a united information system aimed to implement extended responsibility of producers and importers, develop geosocial services for separate waste collection, etc.

Municipal Solid Waste Management in Lahore, Pakistan - Characterization and Energy Content

M. Azam, S. Setoodeh & F. Winter

TU Vienna, Institute of Chemical, Environmental & Biological Engineering, Vienna, Austria

With rapid increase in population and urbanization, uncontrolled municipal solid waste system is causing public health and environmental issues in the mega cities of Pakistan. This study aims to investigate municipal solid waste (MSW) of Lahore, 2nd biggest city of Pakistan with a population of eleven million according to census, 2017. Socio-economic structure was considered and a set of samples was collected from different locations to study the physical composition, proximate and ultimate analysis, and heating values of MSW of Lahore. Listed in decreasing sequence, the physical components of Lahore MSW are biodegradable, nylon, textile, combustibles and mixed paper. The received results of moisture content (43.62 %), volatile content (28.37 %), ash content (24.69 %), fixed carbon (3.31 %), high heating value 7160 kJ·kg⁻¹, elemental carbon (18.05 %), nitrogen (0.73 %), hydrogen (7.28 %), sulphur (0.22 %) and oxygen (49.03 %) are in line with the MSW data of China, Malaysia and other Asian countries. These results show that the high moisture content and low heating values are the major bottlenecks to get the maximum energy from incineration facilities.

The Influence of Tourism on Waste Generation – Challenges and Results

G. Obersteiner & I. Gruber

Universität für Bodenkultur, Institut für Abfallwirtschaft, Vienna, Austria

Tourism has a high impact related to different aspects. First of all, it is a worldwide important economic sector as 10% of the world's GDP is directly or indirectly generated by tourism, and one out of eleven jobs is related to tourism. Beside the economic implications, 1.1 billion tourists every year have environmental impacts – beside emissions from transport and the impacts of all necessary infrastructure (airports, hotels etc.) there is a high impact on natural resources (renewable and non-renewable) including water resources. Last but not least tourists produce waste.

One major objective of the H2020 project URBANWASTE therefore is to support policy makers in answering these challenges and in developing strategies that aim at reducing the amount of municipal waste production and at further support the re-use, recycling, collection and disposal of waste in tourist cities.

Within the presented project as a first step waste flows resulting from touristic activities have been determined. Together with eleven pilot city partners including Tenerife, Copenhagen, Kavala, Nice or Florence waste related data sets, socio-economic data sets as well as tourism related data sets are collected.

A clustering approach of the collected data from pilot cities shall reveal information on differences and similarities regarding the waste flows, touristic processes and background conditions. Waste flows resulting from tourist activities have been evaluated, considering quantitative and spatial data.

For evaluating waste generation resulting from tourist activities quantitative data on waste generation, local resident population and nights spent by tourists were considered. Considering only statistically reliable results tourists' residual waste generation amounts about 1,6 to 2,1 kg per overnight stay.

Barcodes, QR-Codes and Data Matrix – Waste Battery Labelling

B. Rutrecht

Saubermacher Dienstleistungs AG, Research & Development, Graz, Austria

T. Schwarz & G. Gröbner

Montanuniversität Leoben, Chair of Waste Processing Technology and Waste Management, Leoben, Austria

An increasing number of electric vehicles are on the market, and so are lithium ion batteries that must be recycled. The project eMPROVE at Montanuniversität Leoben, led by the working group “Future Waste” at the Chair of Waste Processing Technology and Waste Management, aims to improve the overall energy and cost efficiency and future mass productivity of the power source, the gears and the recycling process itself.

In order to achieve sophisticated quality standards of the recycling products, the possibility to identify the chemical composition of waste batteries is crucial. A literature research on the current legal requirements of battery labelling had been conducted, followed by a field study on how modules of energy storage systems and single lithium ion batteries from the automotive sector are being labelled by the companies.

The findings were, that the legal framework concentrates mostly on a reduction of environmental impacts of batteries, but is kept too general for the use of identifying different battery types.

Besides the legal aspects, battery manufacturer tend to use all sorts of material tracking technologies for intern purposes with a tendency towards data matrices. However, without standardisation, they are of no added value for the recycling industry.

Therefore, the recommendation is to encourage further dialogue on that topic with all stakeholders to provide proper information and avoid stand-alone solutions: For example in form of a good visible, robust, maybe engraved 2D code on the energy storage system. It might contain a link to the IDIS database, which is already widely used by the automotive industry to store manuals on construction, disassembly and service including a detailed list of parts, which could be expanded by information on the lithium ion battery chemistry. At the moment no general solution for this matter is available and needs to be discussed.

PlasticFreeDanube - Macro Plastic Waste in and Along the Danube

J. Mayerhofer, S. Lenz & G. Obersteiner

Institut für Abfallwirtschaft, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien, Austria

Plastic waste in marine ecosystems has increasingly become a serious environmental problem on regional and global levels. Worldwide, it is estimated that about 0.4 to 4 million tonnes of plastic annually enter the sea via rivers, which are considered to be main vectors of pollution. However, sources and pathways as well as the environmental impacts on rivers and the fluvial environment are largely unclear. Most existing studies focus on microplastics (≤ 0.5 mm); previous studies on generation and origin of plastic waste in rivers have also used different methods of collection, measurement and sorting and are thus mostly incomparable. Resilient estimates are essential to develop reduction measures.

The bilateral project "PlasticFreeDanube", funded by the European Union (Interreg SK-AT), is attempting to obtain new findings on this topic for the Danube. Characterized by the largest transboundary European river basin, the Danube represents an optimal project area. As the main tributary, the Danube directly and decisively influences the Black Sea. Lechner et al. (2014) estimated the annual load of plastic by the Danube until the Black Sea up to 1,533 tonnes. The focus of the investigations is on macro-plastic (> 5 mm) in and along the Danube. The project objective is to establish a well-founded knowledge of plastics pollution as well as the development of standardized methods for the assessment of origin, quantities, transport behavior and environmental hazards. The study area extends over the Danube area and parts of its riparian area from the metropolitan areas of Vienna and Bratislava down to the hydro-power plant of Gabčíkovo (SK).

Initial results of the sorting analyzes of plastic waste from the wetlands of the Donau-Auen National Park show that more than 50% by mass consists of PET drink bottles and foamed polystyrene (e.g. insulation panels). Further collection activities and sortings of plastic waste are necessary to develop the underlying methodological approach for material flow analysis and a standardized sampling and sorting catalog.

ZEROS – Decomposition of Aquatic Organic Pollutants Driven by an Innovative Process Combination (Part 1)

P. Mueller, R. Mischitz, B. Binder & L.M. Krois
ferroDECONT GmbH, Leoben, Austria

P.K. Sedlazeck & D. Vollprecht
Montanuniversitaet Leoben, Chair of Waste Processing Technology and Waste Management,
Leoben, Austria

W. Trois
ECOCAN GmbH, Leoben, Austria

I. Maunz
envionix engineering gmbh, Graz, Austria

R. Frate
pro aqua diamond electrode production Ltd., Niklasdorf, Austria

The research project ZEROS, promoted by the Federal Ministry of Sustainability and Tourism, explored a new way of combining water treatment methods to find an alternative to conventional treatment of organic pollutants in groundwater with activated carbon. The well-known classical Fenton reaction acts as the basis of the whole process, though the highly reactive hydroxyl radicals are produced in the process itself by boron-doped electrodes among other oxidants, like hydrogen peroxide. Zero-valent iron is the source for the catalytic function of oxidized iron in the Fenton system and high-frequency ultraviolet irradiation increases the radical production additionally.

The combination of these three applied methods leads to enhanced performance compared with the classical Fenton treatment and recovers the reactivity of the used catalyst, resulting in continuous decomposition of aquatic organic pollutants, lower salt loads and sludge production.

This article gives a brief insight into the construction of the pilot plant and describes the main driving forces of the Fenton and Fenton-like processes and how the built-in components influence these reactions.

Cadastre of Anthropogenic Deposits in the Harz Region Based on a Geoinformation System

K. Schneider & D. Goldmann

Clausthal University of Technology, Institute of Mineral and Waste Processing, Waste Disposal and Geomechanics, Clausthal-Zellerfeld, Germany

The reclamation of tailings from former mining activities and landfills is increasingly being researched and initial projects are being implemented in the framework of landfill mining. Due to the long mining tradition in the Harz Mountains, there are many mining residues and landfills in the region. In order to analyse the raw material potential and environmental relief potentials through the reclamation of anthropogenic stocks, comprehensive knowledge of the location in the form of a cadastre is necessary.

The aim of this study is to identify tailings which may be of interest for future landfill mining projects. In previous works, however, only a part of the Harz region is usually considered. Therefore, this work follows the methodically based cadastre creation of anthropogenic deposits for a total of six districts across the federal state borders of Lower Saxony, Saxony-Anhalt and Thuringia. First, site-related data is collected through research and then recorded, processed, organised and analysed using a geoinformation system. Based on these results, cross-county conclusions can be drawn about the occurrence of anthropogenic deposits and their locations in the Harz Mountains.

PAH in Fractions of Char and Their Analysis

M. Kleinhappl

Ziviltechniker für Verfahrenstechnik, Sicherheitsfachkraft, Sachverständiger, ZT-Kanzlei Kleinhappl, Thannhausen bei Weiz, Austria

Y. Neubauer

TCKON, Berlin, Germany

C. Unger

Fraunhofer GmbH, UMSICHT, Oberhausen, Germany

PAH (polyaromatic hydrocarbons) are very often present in the solid products of pyrolysis and gasification. Because of this special sample matter there is the need of suitable procedures in analysis, in detail for the sample preparation. For different purposes a reliable analysis and the determination of the true concentration is demanded. This is necessary if a classification for disposal or reuse or in the matter of the filing of a material safety datasheet (MSD).

Established standards like the CEN / EN 15527 for the characterisation of wastes does have the problem of not satisfactory repeatability and reproducibility, when these type of samples should be analysed. Concentrations of 16 EPA PAH in total between 10 and 50 mg/kg, respectively. 0.5 to 5 mg/kg of single compounds are typical.

Within the paper the technological background of the genesis and composition of the char fractions is further elaborated. As main reason of PAH in char fractions the carry over from the product gas by the mechanisms of sorption and pore condensation can be pointed out. This sorption is enhanced because of the chemical similarity of the carbonized solids and the aromatic cluster structure of the PAHs. The surface binding of the compounds can be estimated as strong because during the deposition the PAHs are in vaporous status and in the sample the sorption layers are below the normal melting temperatures.

Reliable analysis is needed also during the optimisation of the processes and products. This reliability can be understood in trueness and comparability.

The CEN / EN 15527 standard is very often used for the analysis of these samples, but several conditions are not declared in detail for this type of samples. Currently operated analysis is very often influenced from this detail in the procedure: e.g. about the drying of the sample, the solvent extraction of the solid, the concentration of the solvent sample, the clean up (from polar impurities) and the GC respectively GC/MS analysis. In general a diffusive loss of low boiling substances (naphthalene and anthracene) and an under estimation of high boiling substances because of incomplete recovery from the sample are reasonable.

For pre evaluation of this situation a comparative test on a real sample was initiated by the FEE (*german agency for the promotion of renewable energy*). Based on these results a number of improvements for the procedure can be defined. As strategy for the improvement an additional definition of the procedural conditions related to the CEN / EN 15527 is suggested in a protocol. From this the analysis is further done in the regime of the EN but some detailed definitions are made to improve the comparability and reproducibility in different laboratories.

The performance of the improved procedure will be tested with a round robin test 2018. Further information will follow. For detailed questions or comments please contact the author: office@zt-kleinhappl.at.

Characterisation of Aerated Landfill Material Regarding Usability of Recyclable and Suitability of Residues for Landfilling

M. Rapf

University of Stuttgart, Institute for Sanitary Engineering, Water Quality and Solid Waste Management, Chair of Waste Management and Emissions, Stuttgart, Germany

During three years the section IV of the Konstanz sanitary landfill containing untreated municipal waste has been treated aerobically by means of extensive interval aeration.

After the following two years' monitoring phase, large samples have been extracted from the landfill body to document the change of the material by aeration on one hand, and to evaluate different waste fractions regarding their usability or suitability for landfilling on the other hand.

For this purpose, the landfill body was opened at three positions, which have shown different conditions regarding water content and temperature development during and after aeration. Three boreholes of up to seven metres depth have been drilled into the waste. Samples have been taken from the cuttings of each of the 16 drilled metres. The entire sample mass was 800 kilograms.

The samples have been sieved, sorted and examined on chemical, physical and biological parameters important for the reusability of recyclables and the suitability of the sieve residues to be landfilled on a MBT disposal site.

One major question to be answered was if landfill aeration can have positive effects on both properties, and can thus reduce the costs of a possible landfill reclamation.

The results of sorting and analyses can be summarised as follows:

In the examined case of a disposal site of untreated municipal waste, aeration could improve the material mainly regarding the disposal of the sieve residues. Their bio-activity could be almost completely removed except from positions with lack of water – a problem, which can be solved by simple technical measures in the future.

Although the pre-treatment measure could not reach the expected increase in value of recyclables (calorific fraction, metals), e.g. due to a better removal of impurities by sieving, deterioration of the material could not be found either.

As major benefits of a combination measure of aeration and reclamation we can state the accelerated biological inactivation of the material and the removal of biodegradable calorific material like paper and wood. Both avoid significant methane emissions and can hence contribute to climate protection. In addition, the removal of recyclables and the mass reduction by biodegradation can save valuable landfill space.

Statistical Toolset for Forecasting the Potential for Brownfield Development

C. Brandstätter, R. Prantl & P. Brandner
blp GeoServices gmbh, Vienna, Austria

A. Weinzetl, M. Ondra, N. Jafari & W. Schwaiger
TU Wien, Institute of Management Science, Vienna, Austria

The ongoing de-industrialization of Europe is causing many former industrial sites to become derelict (“brownfields”) and are thus not used anymore. Even if the remediation of brownfields would show a multitude of advantages, real estate developers rarely develop such sites. Commonly public funding is mandatory for the initiation of development. To reduce the risks involved with the development of such sites, a statistical toolset was developed to forecast the potential of brownfield development.

The dataset for creating the model contained on the one hand municipal data of Austria (municipal tax, real estate pricing, inhabitants, number of buildings, etc.). On the other hand, the Austrian Federal Environment Agency provided us with anonymized data of every potentially contaminated area in Austria.

During the project, the timbre model, a rather general model framework for assessing the remediation potential of brownfield, was adapted in view of the Austrian specific situation and data availability.

For the assessment, three models were created: the adapted timbre model, weighted according to the estimation of experts involved in the research project, a factor analysis comprised of a correspondence and principal component analysis and a machine learning model. The latter two used logistic regression for the final model decision.

We could show, that the machine learning models, created for each Austrian district (except for Salzburg and Vienna), showed the most promising results. The toolset is ready for usage by real estate agents and private or public owners of contaminated sites.

Securing the Contaminated Site N12 Kapellerfeld

S. Taborsky & A. Rath

PORR Umwelttechnik GmbH, Wien, Österreich

In the southern Weinviertel, a former gravel pit was filled with household waste until the 1980s. This waste site, N12 for short, has been being reconditioned by PORR. The required soil air extraction system has been in operation since November 2017.

On the one hand, the N12 waste site has been reconditioned by the work of the special civil engineering company PORR. The department built a two-kilometer funnel + gate system around the site of the former landfill. On the other hand, PORR Umwelttechnik has taken care of the surface profiling and the necessary earthworks. In addition, the plant engineering part of the soil vapor extraction system was handled by PORR Umwelttechnik.

The funnel + gate system was installed with a thickness of 80 cm and also as a jet stream cut-off wall in places. The depth of the centre of the wall is between 35 and 42 m.

Shaping the surface for reasons of rain-water draining was done using more than 200.000 m³ of excavated soil. Afterwards a 3 ha wood was planted and the rest of the 20 ha big areal was planted with a mixture of grass seeds.

To extract the landfill gases, which are still forming in the mass of the landfill, 96 gas probes were drilled. The electrotechnical equipment and the control technology were put in place in cooperation with PORR Equipment Services.

The various components of the soil vapor extraction system were also designed by PORR Umwelttechnik. These include, for example: the manometer, pressure and temperature measurements, the automatic control damper - which can add fresh air to prevent explosion limits from being exceeded - and vibration sensors. A 20-foot container was used as a machine room. Together with PORR Equipment Services, the system's hardware and software equipment was developed.

The landfill gas is extracted by means of filter tubes via the 96 gas levels and conveyed to the extraction system via nine collecting lines. The system is protected by a water separator and a filter in the pipeline. This is to prevent damage from water hammering or sucked particles on the fan. The extracted landfill gas is then cleaned via two activated carbon filters and a biofilter and transported into the atmosphere.

The safety of employees is ensured by means of gas detectors and alarm devices. The system is operated for at least five years and should run maintenance-free. The automatic records are available online for the responsible technician. In case of problems, the system will send an error message by SMS.

The work was completed by a terrain modeling, recultivation and reforestation of the area.

Project N12 started in October 2016 and construction work was completed at the end of April 2018.

Remediation of a Hydrocarbon Contamination

H.-P. Weiß, R. Philipp & M. Fencel
TERRA Umwelttechnik GmbH, Vienna, Austria

The remediation of hydrocarbon caused contaminations in urban areas requires a well-coordinated package of measures. A combination of in-situ- and ex-situ-remediation methods is used when 4.000 litres of light fuel oil were discharged into the soil and groundwater underneath an apartment building in Vienna by misfuelling.

The contamination of the unsaturated and saturated zone spread over an area of about 1.400 m². After the immediate installation and operation of an emergency pumping well, the remediation was extended by a pump & treat unit including two groundwater remediation wells. Based on pumping tests, several groundwater simulation models were run in order to determine the pump and infiltration rates and locations to safely prevent the contaminant plume from expansion. The two remediation wells are online monitored to ensure sufficient pump rates and groundwater draw down. The pollutant in the pumped water is separated by an oil separator and activated carbon before the water is fed into two discharge wells. Water samples, pumped and bailed, are taken from all 12 monitoring wells and analysed on a monthly basis. Also, the water leaving the carbon filter for infiltration is analysed on a regular basis for residual hydrocarbon contamination to guarantee that the parameter KW-Index is below the threshold limit. The fuel oil floating on the surface of the groundwater shows a thickness of a few centimetres to a few decimetres and is removed with skimmers in four of the monitoring wells. The highly contaminated soil right underneath the cellar of the building required excavation. To ensure the stability of the foundations and the excavation pit, jet grouting was used to stabilize the walls and the foundation. For static reasons the excavation and soil replacement was done until the depth of the groundwater level, which is at around 7 m below ground level. Soil washing was performed in the groundwater fluctuation zone, the oil-water mixture was removed and disposed. For further remediation of the saturated soil zone, injector lances were inserted into the ground, where air is injected into the soil. Venting pipes are extracting the air from the soil, which gets cleaned at activated carbon filters.

Extraction and Separation of Complex DNAPL-LNAPL Phase Mixtures at Contaminated Site O76 Coking Plant Linz

F. Mönter & F. Reiß

Züblin Umwelttechnik GmbH, Projektleitung, Stuttgart, Germany

The contaminated site „O76 Kokerei Linz“ contains about 350.000 m². Soil, soil air and groundwater is contaminated with hydrocarbons. Due to damages at the World War II, by products of the coke production (tar, benzene) contaminated the soil. There are dissolved pollutants on the one hand and hydrocarbons in phase (DNAPL and LNAPL) on the other hand.

As part of the remediation, Züblin Umwelttechnik GmbH (Stuttgart, Germany) was ordered to build a plant for the extraction of phase and cleaning of groundwater.

The plant contains the following treatment-steps:

- Hydrocyclone: separation of duty phases and particles,
- LNAPL-separator: separation of light phases,
- Reaction tank: adding and mixing of chemicals,
- Aeration tank: reduction of volatile compounds,
- Flotation: extraction of floating particles,
- Sedimentation tank: extraction of sedimenting particles,
- Sandfiltration: elimination of suspended sediment load,
- Stripping columns: elimination of remained volatile compounds and
- Active carbon filtration: elimination of remained hydrocarbons.

In addition to the stationary plant, phase extraction is realized by mobile skimmer stations, which transport DNAPL-phase on circulating belts from the groundwater bottom into tanks.

The main task in constructing and operating the plant is to maximize the reduction of hydrocarbons in the treatment.

Application of CHC-Adsorbing Geosynthetics Using the Example of the Contaminated Site K20

O. Syllwasschy

Huesker Synthetic GmbH, Engineering Department, Gescher, Germany

K. Thimm

Huesker Synthetic GmbH, Business Development Manager Environmental Engineering, Gescher, Germany

The contaminated site K20, placed about 1 km south of Brückl in Austria, was filled from 1926 to 1981 with KARBIDKALK, CHC and wastes containing mercury and other pollutants. The total amount of CHC, including e.g. hexachlorbenzene HCB, trichlorethene and much else, was estimated at 100 – 1,000 t.

In 2009 the decision was taken to remove the whole site and to dispose of or treat the waste as remediation measures. In 2012 the process of excavating and incinerating the CHC-wastes started but it was stopped in November 2014 after HCB was found in food, plants and trees in the valley close to the incineration site.

A new tender for transport and incineration of the waste around Europe was canceled unsuccessfully in 2016. As best alternative authorities and the owner agreed on safety measures including an innovative surface sealing system, a bentonite slurry wall surrounding the site and groundwater management as the best alternative.

The slurry wall prevents any pollutants to diffuse into the groundwater. The groundwater level inside the slurry wall will be kept below the outside level by pumping. If necessary groundwater can be treated by activated carbon.

The multifunctional surface sealing system consists of an 11 kg/m² Calciumbentonite geosynthetic clay liner, a LDPE membrane containing an aluminum foil and a geocomposite filled with 2 kg/m² of activated carbon. The activated carbon geocomposite is placed between the geosynthetic clay liner and the membrane to reduce concentration induced diffusion effects.

Additional horizontal suction pipes are installed in two levels, one above and one below the sealing system. They can be used for suctioning soil air containing e.g. VOCs to be treated by activated carbon filters and for monitoring measures.

Veneer stability analysis of the 1v:2h inclined slopes resulted in the necessity to install two layers of geogrids on top of the critical slip planes. The design was based on product and site-specific shear tests.

This sealing system is optimized to encapsulate and even adsorb VOCs to reduce the possible diffusion to a minimum. The project started in 2016.

ISCO, ISBR, GCS - Combination of Innovative and Conventional Methods of Groundwater Cleanup

E.-H. Ruiter

Züblin Umwelttechnik GmbH, Stuttgart, Deutschland

Massive contamination by volatile chlorinated hydrocarbons (VCHC) with a concentration of approximately 85,000 µg/L was determined in the saturated soil zone of up to approximately 20 m below ground level, in an area of approximately 12,000 m² at the location of the former silverware factory in the Free Hanseatic City of Bremen.

Following extensive investigations and localization of the state of the contaminant, the areas with the highest VCHC contents are treated with *In-situ* Chemical Oxidation (ISCO) while the less contaminated areas are treated with *In-situ* Biological Reduction (ISBR). The oxidizing agent and auxiliary substrates required for this purpose are spread into the relevant contaminated depth zones through the groundwater circulation systems (GCS).

After 36 months of cleanup activities and a fixed maximum cleanup period of 60 months, proof of an immense cleanup success was recorded within the scope of an interim result, with the VCHC concentration dropping by an average of approximately 80%. Results available so far show that the combined ISCO/ISBR cleanup method does not only function technically but also works in an exceedingly efficient manner. Proof was successfully furnished of complete reductive dechlorination through the measurement of H₂ concentrations in the ideal zone as well as through the evidence of ethene and *dehalococcoides* sp. Alongside the cleanup works, laboratory examinations that were performed by a reputable institute in Germany using original sample materials extracted from the location, deepened the understanding of the process and confirmed the efficiency of the combined ISCO/ISBR technology.

Preliminary field test (through which location-specific operative experiences were gained and information successfully gathered, and the entire operation thus successfully optimized) can definitely be considered as a major cornerstone in the cleanup success achieved so far. Particularly the hydraulic decoupling of the groundwater circulation systems and the location-specific addition and conditioning of oxidation agents and auxiliary substrate solution for the complete reductive dechlorination can be mentioned in this regard. The auxiliary substrate applied in this case was developed by Züblin Umwelttechnik GmbH especially for this operation. Züblin Umwelttechnik GmbH sees a huge potential for the economic cleanup of complex contaminated sites in the targeted application of combined *In-situ* technologies.

Cleantech-Cluster

Saubere Wertschöpfung ist starke Wertschöpfung

Der Cleantech-Cluster der öö. Standortagentur Business Upper Austria ist mit seinen 250 Partnern die Plattform der Umwelt- und Energietechnologie-Unternehmen in OÖ. Er hat die Stärkung der Innovationskraft, Wettbewerbsfähigkeit und Sichtbarkeit der Partner, Technologietransfer von Energie- und Umwelttechnikinnovationen, Entwicklung und Umsetzung von ökologischen und ökonomischen Lösungen zum Ziel.

www.cleantech-cluster.at

CTC
CLEANTECH
CLUSTER

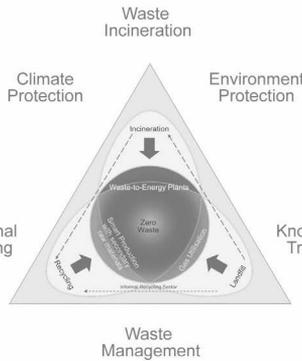


W_tERT

Waste-to-Energy Research and Technology Council



Academic
Research



Waste
Management



International
Networking



Knowledge
Transfer

WERT Germany GmbH - Lipowsky Straße 8 - 81373 München
Phone: +49 89 189 1737 15 - E-Mail: postmaster@wert.eu - Domain: www.wert.eu

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband



Das österreichische **Kompetenzzentrum** für
Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft

www.oewav.at



zukunft
SEIT 1909
denken

Autorenverzeichnis

A

Aldrian, A	193
Anagnostopoulos, I	91
Angerer, T	81
Aschenbrenner, P	57
Azam, M	217

B

Beigl, P	189
Beysiegel, W	207
Binder, B	241
Borowski, C	69
Brandner, P	263
Brandstätter, C	263
Brechlmacher, M	109
Brüning, R	179

D

Dornack, C	127
Doschek, K	113
Dräger, J	155
Dvorak, A	147

F

Fazeni, K	173
Feil, A	45, 51
Felber, W	121
Fellner, J	57
Fencl, M	275
Frate, R	241
Friedrich, K	75

G

Gattermayer, K	193
Geißler, A	99
Goldmann, D	155, 247
Gollnow, S	167
Gröbner, G	227
Gruber, I	223

H

Heuss-Albichler, S.....	91, 131
Hoffmann, M.....	155
Hohenberger, M.....	113
Homm, G.....	137
Hrad, M.....	141
Hummel, R.....	203

J

Jafari, N.....	263
Johnen, K.....	45

K

Kleinhappl, M.....	253
Kohl, E.....	203
Kral, U.....	131
Kraus, J.....	147
Krenn, A.....	183
Krois, L.M.....	241
Kummer, B.....	207

L

Lenz, S.....	235
Lindorfer, J.....	173
Löw, S.....	147

M

Maier, J.....	203
Mally, V.....	65
Mann, O.....	147
Maunz, I.....	241
Mayerhofer, J.....	199, 235
Menapace, H.M.....	117
Mischitz, R.....	241
Mönter, F.....	279
Moser, S.....	173
Mühlbacher, B.....	113
Müller, P.....	241

N

Neubauer, Y.....	253
Nordmann, C.....	103
Nothacker, K.....	137

O

Obersteiner, G	141, 145, 153, 199, 223, 235
Ondra, M.....	263
Ottner, R	141

P

Pamperl, M	189
Penckert, P	41
Philipp, R	275
Poerschke, J.....	69
Pomberger, R	193
Ponak, C	65, 113
Prantl, R.....	263

R

Ragossnig, A	203
Rapf, M	257
Rath, A.....	269
Raupenstrauch, H.....	65, 113
Rechberger, H	57
Reiß, F	279
Rossmann, F	117
Ruiter, E.-H.....	291
Rutrecht, B.....	227

S

Scherhauser, S.....	167
Schipfer, C.....	193
Schmied, E	199
Schneider, K	247
Schönberg, A.....	65
Schönmayr, D.....	85
Schwaiger, W.....	263
Schwarz, M.....	173
Schwarz, T	227
Schwarzböck, T	57
Schwödt, S.....	145, 153
Sedlazeck, K.P	241
Setoodeh, S.....	217
Shevela, M.A	213
Sigmund, U.....	103
Simons, M.....	51
Spacek, S	57
Syllwasschy, O	285

T

Taborsky, S.....	269
Tandon, K.....	91
Thimm, K.....	285
Trois, W.....	241
Tschiggerl, K.....	75

U

Ulanova, O.V.....	127, 213
Unger, C.....	253
Unger, N.....	189

V

Vollprecht, D.....	241
--------------------	-----

W

Weinzettl, A.....	263
Weiß, H.....	161
Weiß, H.-P.....	275
Wellacher, M.....	109, 183
Winkler, T.....	161
Winter, F.....	217
Wolf, J.....	179
Wruss, K.....	147
Wruss, W.....	147

Z

Zilenina, V.G.....	127
--------------------	-----

Sachregister

A

Abfallaufkommen	223
Abfallende	203
Abfallkennzeichnung	227
Abfallstrom	155
Abfalltrennung	193
Adsorption	285
Altenergiespeicher	227
Altfahrzeuge	207
Altglas	193
Altlast	269, 285
Altlastensanierung	275
Anaerobic Digestion	167
Analyse	253
Anthropogene Lager	247
Anthropogene Ressourcen	131
Aufbereitung	103
Außer-Haus-Verpflegung	141

B

Ballen	69
Ballistikseparator	103
Batterien	227
Batterieüberwachung	161
Bilanzenmethode	57
Bioabfall	183
Biogas	99
Biomasseanteil	57
Bodenaushub	109

C

Case Study	223
CFK	85
Chemical Current Sources	127

D

Deponieersatzbaustoffe	41
Deponierückbau	257
Deponierung	207
DNAPL	279
Donau	235
Düngemittel	203

E	
Einflussfaktoren	145
Eisenhüttenschlacken	113
Elektrokleingeräte	155
Elektronikgeräte	179
EN 15527	253
Ersatzbrennstoffe	57
Extended Producer Responsibility	127

F	
Feinfraktionen	45
Fenton	241
Food Waste	167

G	
Gefährlicher Abfall	147
Geoinformationssystem	247
Glas	117
Grundwasserreinigung	279
Grundwasserzirkulationssystem (GZS)	291

H	
HP14	147

I	
Impfmassenmycel	121
Industriebrachfläche	263
In-situ-Sanierung	275

K	
Klärschlamm	41, 65
Klärschlammasche	203
Kohlenwasserstoffkontamination	275
Kombiniertes ISCO/ISBR Verfahren	291
Kompostierung	41
KonsumentInnen	145
Kreislaufwirtschaft	85, 189, 207
Kreislaufwirtschaftspaket	189
Kunststoff	69, 75, 183
Kunststoffverschmutzung	235

L

Laborabfall	117
Lahore	217
Landfill Mining	247
Landwirtschaft	199
LCA	167
Leaching	81
Lebensmittelabfall	141, 153, 199
Life Cycle	75
Lithium-Ionen-Batterie	161

M

Mechanische Aufbereitung	51
Metalle	109
Metallrückgewinnung	45
Modellierung	263
MolaZUT®	291
MSW	217
Municipal Solid Waste	127

N

N12 Kapellerfeld	269
Nitrogen	99

O

O76	279
Oberflächenabdichtung	285
Obst- und Gemüseabfall	145
Ökotoxisch	147
Optimization of Waste Collection	213
Organic Load	99
Organische Schadstoffe	241
Österreich	263

P

PAK	253
Phosphor	65
Photovoltaik	173
PORR Umwelttechnik GmbH	269
Probenahme und Sortierung	235
Probenahme	69

R

Recycling Logistics in Irkutsk	213
Recycling	65, 81, 103, 137, 173
Recyclingpotential	45
Recyclingquoten	75
Recyclingregion	155
Reinigung	117
Rekultivierung	109
Ressourcenmanagement	189
Restmüll-Feinfraktion	121
Re-Use	161
Rückstandsentsorgung	257
RUN Projekt	179

S

Salt Slag	81
Schlacke	137
Selektive Zerkleinerung	51
SPOP-Process	91
Störstoff	183, 193

T

Thermischen Energiespeichersysteme	137
Tourismus	223

U

Urban Mining	173
--------------------	-----

V

Verbrauchergruppen	153
Verbundwerkstoff	85
Verfügbarkeit von Rohstoffen	131
Vermeidung	153, 199
Vermeidungspotential	141
Versuchsanlage	241
Verwertbarkeit	257
Vorratsklassifikation	131

W

Wärmedämmverbundsystem	51
Wärmerückgewinnung	113
Waste Management 4.0	213
Waste Management	217

Wastewater Treatment.....	91
Wertstoffrückgewinnung	113
Wiederbelebung.....	121
Wiederverwendung Notebooks.....	179

Z

Zinc Recovery.....	91
--------------------	----

EVT

EnergieverbundTECHNIK

Der Lehrstuhl für Energieverbundtechnik unter der Leitung von Herrn Prof. Thomas Kienberger beschäftigt sich in Forschung und Lehre schwerpunktmäßig mit Fragestellungen, die darauf abzielen mittels interdisziplinären, systemischen Ansätzen die Energieeffizienz von öffentlichen Energiesystemen und Gesamtsystemen entlang der Wertschöpfungskette der produzierenden Industrie zu optimieren.

Nähere Informationen zu unseren aktuellen Forschungsprojekten finden Sie unter <http://evt.uniloeben.ac.at>.



Kontakt

✉ Franz-Josef-Straße 18, 8700 Leoben

✉ evt@uniloeben.ac.at

☎ +43 3842 402 5401



Photo: Stock - Research - Getty Images



CLC-EAST PROFESSIONAL SCHOOL

Keep up with the latest changes and new trends in the mining industry

The EIT RawMaterials Regional Center Leoben offers courses for industry professionals on the following topics:

- Innovative subsurface mining systems
- Innovative machines/equipment/systems
- Environmental and health issues

State-of-the-art education, tailored for the local industry in Central and Eastern Europe

Next opportunities in Leoben and Zeltweg

Dust, Noise and Vibration Management in Mining Industry	19. – 20.09.2018
Innovative Subsurface Mining Imaging Systems	25. – 26.09.2018
Techniques for Improved Blast Vibration Control	08. – 09.11.2018
Theoretical and Practical Aspects of Mechanical Rock/Rock Mass Extraction	13. – 14.11.2018
Softskill Leadership and Prevention of Crises	15. 11.2018

Education Partners

TU Bergakademie Freiberg, TH Nürnberg, WRC EIT+, AGH, Montanuniversität Leoben, EIT RawMaterials Academy, DMT, Austin Powder, Sandvik and many more!



Book your course here courses.eitrawmaterials.eu



Resources Innovation Center Leoben
Franz-Josef-Straße 18, 8700 Leoben - Austria
+43 3842 402 7601 | ric-leoben@uniloeben.ac.at
www.ric-leoben.at

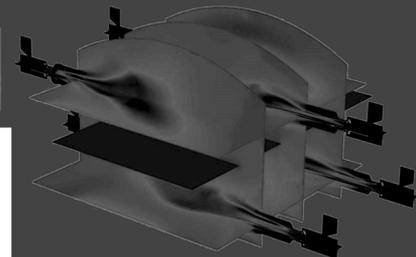


This activity has received funding from the European Institute of Innovation and Technology (EIT), a body of the European Union, under the Horizon 2020, the EU Framework Programme for Research and Innovation



Industrielle Energietechnik

Modellierung und Simulation



TPT

Thermoprozesstechnik

Montanuniversität Leoben
Umwelt- & Energieverfahrenstechnik
tpt.uniloeben.ac.at
tpt@uniloeben.ac.at



Hochtemperaturprozesstechnik



Prozess- und Anlagensicherheit



Zum vierzehnten Mal trifft sich die Abfallwirtschaft der DACH Länder im November 2018 in Leoben. Die Recy & DepoTech ist einer der Fixpunkte im Reigen der wissenschaftlichen Konferenzen zu den Themen der Abfallwirtschaft.

Recycling und Abfallverwertung, Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement, Deponietechnik und Altlasten sowie Internationale Abfallwirtschaft und Spezielle Recyclingthemen sind die Themenschwerpunkte.

Charakteristisch für die Recy & DepoTech ist die Verknüpfung von Theorie und Praxis. Sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse, als auch Fallbeispiele und Berichte aus der Praxis werden von Experten/innen präsentiert und diskutiert.

Gerade in der Zeit neuer Dynamik in der Umwelttechnik und Abfallwirtschaft - Stichworte Kreislaufwirtschaftspaket, Plastic Strategy, Klimawandel, Recycling, Ressourceneffizienz - hat eine fachliche Plattform besondere Bedeutung.

Das Programm der Recy & DepoTech 2018 umfasst 121 Vorträge und 53 Poster. In diesem Konferenzband sind die qualitativ hochwertigen, redigierten, wissenschaftlichen Fachbeiträge der **POSTER** inklusive englischem Abstract zusammengefasst.

