

Functional Materials in a Circular Economy

Professor Rüdiger Deike

Am 17. Oktober fand das 9. Ruhrsymposium in Duisburg statt, das vom Zentrum für Nanowissenschaften CENIDE und dem CAR – Center Automotive Research an der UDE organisiert wurde. Expert:innen in Tandems aus Wissenschaft und Industrie aus Österreich, der Schweiz und Deutschland haben sich mit den zukünftigen Bedeutungen von Funktionswerkstoffen und deren Recyclingmöglichkeiten beschäftigt.

Funktionswerkstoffe sind für die Energiewende und die Entwicklung der Elektromobilität systemrelevant, befinden sich aber im Gegensatz zu Konstruktionswerkstoffen in der Regel in geringen, bis sehr geringen Gehalten in elektronischen Bauteilen, Batterien, Magnetwerkstoffen und als Legierungselemente in hochlegierten Stählen. Die Tatsache der extrem feinen Verteilung in den Produkten ist der Grund dafür, dass die Separation dieser Elemente und eine anschließende Rückführung in den Wertstoffkreislauf technisch sowie ökonomisch besonders anspruchsvoll ist. Da infolge der Energiewende und der Elektromobilität die Nachfrage zukünftig drastisch steigen wird, ist die Weiterentwicklung von Recyclingverfahren unverzichtbar. In verschiedenen Sessions wurde vorgestellt, was heute schon möglich ist und welche Probleme zukünftig gelöst werden müssen, um ein Recycling der Funktionswerkstoffe verbessern zu können.

Metallrecycling in der Müllverbrennung

In der Session Urban Mining stellte Daniel Böni vom Zentrum für Nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung (Stiftung ZAR) in seinem Beitrag zum Thermo-Recycling vor, wie an der Müllverbrennungsanlage in Hinwil in der Schweiz im industriellen Maßstab (100.000 – 200.000 Asche/a) sehr werthaltige Metalle wie z. B. Kupfer, Silber und Gold aus der trockenen Müllverbrennungsasche zurückgewonnen werden. Dieser Prozess des Urban Mining basiert auf einer sehr gut aufeinander abgestimmten Kombination von Aufbereitungsschritten wie Brechen, Sieben, magnetischer Trennung, Wirbelstromtrennung und dem Einsatz von Trenntischen. Das Metallrecycling aus der trockenen Asche führt zu einer Einsparung von 1 t CO₂-eq./t Müllverbrennungsasche und entspricht damit einem CO₂-Einsparpotential von 400.000 MWh Fernwärme.

Müllverbrennungsasche für die Zementherstellung aufbereiten

Ida Adhiwiguna vom Lehrstuhl für Metallurgie und Umformtechnik der Universität Duisburg-Essen stellte Ergebnisse aus dem vom BMBF geförderten Forschungsprojekt EMSARZEM vor. In diesem Projekt wird die Feinfraktion (< 10 mm, 2,7 Mio. t/a) der Müllverbrennungsasche – die in Deutschland durch einen Nassaustrag entsteht – erstmalig gemahlen. Anschlie-

ßend werden die kleinen Metallpartikel durch Brechen, Sieben, magnetische Trennung und Wirbelstromtrennung von der mineralischen Fraktion getrennt. Die Ergebnisse zeigen, dass die mineralische Fraktion zur Herstellung von Zement und Beton geeignet ist, was hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Prozesses entscheidend ist. Auf der Basis dieser Ergebnisse soll im nächsten Jahr in einem Zementwerk ein Versuch im industriellen Maßstab durchgeführt werden.

Materialverschleiß mittels Künstlicher Intelligenz bestimmen

Inwieweit metallische Werkstoffe nachhaltig sind, war das Thema der Session Sustainability of High Performance Materials. Hier wies Prof. Dr. Stefanie Hanke vom Lehrstuhl für Werkstofftechnik der Universität Duisburg-Essen in ihrem Beitrag darauf hin, welche Rolle Reibung und Verschleiß unter dem Aspekt eines Öko-Designs spielen, da sie in industriellen Anwendungen für große Energieverluste verantwortlich sind. Darüber hinaus ist Materialverschleiß sehr oft der Grund für Stillstandszeiten, für Reparaturen und verursacht damit höhere Prozesskosten. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wird gezeigt, wie unterschiedliche Verschleißmechanismen mit Hilfe künstlicher Intelligenz klassifiziert werden können. Zyklische Belastungen führen zu Rissinitiierungen und insbesondere harte Werkstoffe neigen zur Oberflächenermüdung, so dass durch duktilere und häufig weichere Werkstoffe der Verschleiß reduziert werden kann.

Die Rolle von Werkstoffen für nachhaltige Komponenten

Wie bereits heute rostfreier Stahl ein hervorragendes Material für ein nachhaltiges Öko-Design ist, zeigte Stefan Lindner von der Outokumpu Nirosta GmbH. Denn rostfreier Stahl wird mit einem „recycled content“ von 94 % überwiegend aus Schrott hergestellt, in Elektrolichtbogenöfen (EAF) mit Strom aus weitgehend erneuerbaren Energien erschmolzen und in langlebigen Produkten (Gebäude, Rohre, Küchenartikel) verwendet. Mit einem Carbon Footprint von 1,7 t CO₂-eq./t rostfreier Stahl über die gesamte Wertschöpfungskette, d. h. CO₂-Emissionen aus der eigenen Produktion (Scope 1), Emissionen durch den Stromverbrauch (Scope 2) und indirekte Emissionen über die



Bild 1: Prof. Rüdiger Deike bei der Eröffnung des 9. Ruhrsymposiums [Quelle: Universität Duisburg-Essen]

gesamte Lieferkette infolge der Herstellung von Rohstoffen und notwendiger Transporte (Scope 3) ist Outokumpu in der Branche (7 t CO₂-eq./t rostfreier Stahl) der Benchmark für rostfreien Stahl, der ein typisches Beispiel für eine existierende Circular Economy in industriellem Maßstab darstellt.

Kritische Metalle: zukünftige potenzielle Versorgungsquellen

Nicht-Eisenmetalle sind als Funktionswerkstoffe sehr häufig in sehr kleinen Mengen in elektronischen Bauelementen zu finden. In der Session Non-Ferrous Metals wies Stefan Steinlechner von der Montanuniversität Leoben in seinem Vortrag darauf hin, dass moderne Energietechnologien deutlich mehr Rohstoffe benötigen, die von der EU als kritisch identifiziert wurden, so dass bereits heute zukünftige potentielle Versorgungslücken erkennbar sind. Daraus folgt gemäß dem Critical Raw Material Act der EU, dass durch Produkt- und Prozessoptimierungen die spezifischen Rohstoffverbräuche verringert, aber nichtsdestotrotz neue Lagerstätten erschlossen und Verarbeitungskapazitäten aufgebaut werden müssen. Aber darüber hinaus sind Recyclingraten und die Nutzung industrieller Nebenprodukte zu verbessern. Zu den Nebenprodukten, die intensiver genutzt werden müssen, zählen Tailings aus dem Bergbau, Filterstäube und Schlacken aus den metallurgischen Prozessen und Produktionsabfälle wie z. B. Bearbeitungsspäne und -schlämme. Nebenprodukte dieser Art fallen in den unterschiedlichsten Branchen in Millionen von Tonnen in unterschiedlichsten Zusammensetzungen an, für deren Rückführungen heute aber zum Teil die Prozesse und Infrastrukturen fehlen.

Flexible, effiziente und robuste Recyclingprozesse schaffen

Dass Metalle die idealen Kandidaten für eine Circular Economy sind, stellte Dr. Christian Hagelüken, ehemaliger Leiter der Abteilung EU Government Affairs des Materialtechnologieunternehmens Umicore, in seinem Beitrag heraus: Denn sie können dauerhaft und nachhaltig recycelt werden. Die Circular Economy ist allerdings mehr als nur Recycling, da es vor dem Recycling um die Erhöhung der Nutzungseffizienz mittels eines Öko-Designs geht, mit dem die Reparier- und Wiederverwendbarkeit verbessert wird. Aber letztendlich geht es dann am Ende doch darum, dass Rohstoffkreisläufe

möglichst weitgehend physisch zu schließen sind. Das ist der Fall, wenn die recycelten Produkte auch tatsächlich erneut in ihren ursprünglichen Wertstoffkreisläufen genutzt werden. Hagelüken wies sehr deutlich darauf hin, dass die derzeitige Abfallgesetzgebung diesen physischen Aspekt außer Acht lässt. Daher seien heute gemeldete Recyclingquoten nicht als geeignete Indikatoren für die Bewertung der Circular Economy heranzuziehen. Die Werte der zurückgewonnen Edelmetalle und des Kupfers finanzieren sehr oft in einem Multi-Metall-Recyclingprozess die Wirtschaftlichkeit des Recyclings anderer Metalle. Dazu werden aber hochgradig optimierte Sammel-, Aufbereitungs- und Separationsprozesse benötigt, so dass abschließend mit flexiblen, effizienten, aber dabei auch robusten metallurgischen Verfahren die unterschiedlichen Metalle separat zurückgewonnen werden können.

Lithium-Ionen-Batterien: Stand der Technik & aktuelle Forschungsaktivitäten

Der besonderen Bedeutung von Batteriewerkstoffen in der Zukunft widmete sich die Session Functional Battery Materials. Diese Relevanz, unter besonderer Berücksichtigung des aktuellen Stands bei Lithium-Ionen-Batterien und der aktuellen Forschung, hat Dr. Dominic Bresser vom Helmholtz Institut Ulm in seinem Beitrag betrachtet. Zu den wichtigen Punkten der Roadmap für die weitere Batterieentwicklung gehören unter anderem eine höhere Energiedichte und verbesserte Leistungen durch neue und optimierte Elektrodenmaterialien sowie eine höhere Sicherheit durch weniger stark entflammable Elektrolyte. Darüber hinaus steht eine verbesserte Nachhaltigkeit, durch neue Konzepte hinsichtlich einer verbesserten Wiederverwendbarkeit bestimmter Komponenten und eines intensiveren Recyclings, im Zentrum der weiteren Entwicklungen. Aktuell sind ca. 88 % des Graphits wieder als Anodenmaterial einsetzbar. Hinsichtlich einer nachhaltig gesicherten Verfügbarkeit ist auch die Frage wichtig, inwieweit Kobalt zukünftig als Lösungsmittel substituiert werden kann und welche Rolle Silicium als Elektrodenmaterial spielen kann.

Rückgewinnung von kritischen Materialien aus Lithium-Ionen-Batterien

Simon Hilgendorf von der Accurec GmbH gab einen Überblick über die zukünftige Entwicklung der Märkte für Lithium-Ionen-Batterien, die durch die Verwendung der Batterien in Elektro-



Bild 2: Frau Prof. Dr. Stefanie Hanke vom Lehrstuhl für Werkstofftechnik der Universität Duisburg-Essen während ihres Vortrages „The role of friction and wear in the sustainability of materials and components“ [Quelle: Universität Duisburg-Essen]

mobilen dominiert sein werden. Es wurde gezeigt wie nach derzeitigem Stand der Technik, mit dem Mercator-Prozess der Kreislauf von „End-of-Life Lithium-Ionen-Batterien“ hin zu Rohstoffen für neue Batterien geschlossen werden kann. Nach der Demontage der Batterien werden Komponenten direkt oder indirekt über eine „schwarze Masse“ einer pyrometallurgischen Behandlung zugeführt. Über die Bildung von Cobalt- / Nickellegierungen und „Matten“ können die Metalle vom Graphit über hydrometallurgische Prozesse am Ende der Behandlungskette separiert werden. Nichtsdestotrotz ist derzeit davon auszugehen, dass 2030 nur ca. 5 % der kritischen Rohstoffe, die für die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien benötigt werden, über das Recycling dargestellt werden können. Die derzeit verfügbaren industriellen Recyclingkapazitäten können nicht die legislativen Erwartungen erfüllen, so dass hier unbedingt weitere Forschungen und technologische Entwicklungen notwendig sind.

Seltene Erden in magnetischen Materialien

In der Session Rare Earths in Magnetic Materials wurde die Bedeutung der Seltenen Erden für die Herstellung von Permanentmagneten erörtert. Prof. Dr. Oliver Gutfleisch von der Technischen Universität Darmstadt stellte in seinem Beitrag vor, welche Relevanz Permanentmagnete für die Elektromobilität, die Windenergie und damit für eine Zukunft mit geringeren CO₂-Emissionen haben. In 95 % aller Elektromobile werden Elektromotoren mit Permanentmagneten eingesetzt, in denen Seltene Erden enthalten sind. Pro Jahr werden ca. 100.000 t Permanentmagnete mit Seltenen Erden verbraucht, wobei 91 % dieser Seltenen Erden aus China stammen. Um aus dieser Abhängigkeit herauszukommen, muss in die Exploration neuer, aber nachhaltiger Lagerstätten außerhalb Chinas investiert werden. Darüber hinaus gibt es auch in Brasilien theoretisch die Möglichkeit, Seltene Erden unter anderem aus abgelagerten Schlacken aus der Aufbereitung von niobhaltigen Erzen zu gewinnen. Vor dem Hintergrund, den spezifischen Verbrauch von Seltenen Erden zu reduzieren, müssen die Eigenschaften von Permanentmagneten optimiert werden, was z. B. durch

aufeinander abgestimmte Sinter- und Wärmebehandlungsprozesse geschehen kann. So können Diffusionsprozesse gesteuert werden, die zu gewünschten Korngrenzenbelegungen mit Seltenen Erden führen. In einem Video wurde sehr eindrucksvoll gezeigt, wie unter dem Einfluss von Wasserstoff ein gesinterter Neodym-Magnet (NdFeB) in einem Recyclingprozess so zerkleinert werden kann, dass die Partikel anschließend erneut einem Magnetherstellungsprozess zuführbar sind.

Industrielles Recycling von Dauermagneten

Dr. Alexander Buckow wies in seinem Vortrag am Beispiel des mehrstufigen Recyclingprozesses für Permanentmagnete der Heraeus Gruppe auf die Potentiale und die Herausforderungen des industriellen Recyclings von Permanentmagneten hin. Die Herausforderungen beginnen damit, dass es eine Vielzahl von „End-of-Life-Magneten“ gibt, die in Anwendungen verbaut sind, die nicht für einen Recyclingprozess konstruiert sind. Zudem müssen in einer engen Zusammenarbeit zwischen OEMs (Original Equipment Manufacturers), Recyclingunternehmen und Magnetherstellern Lieferkettenstrukturen aufgebaut werden, mit denen zu recycelnde Magnete gesammelt, aufbereitet und abschließend umgeschmolzen werden können. Hier sind robuste Prozesse unabdingbar, mit denen die stark variierenden Input-Stoffströme recycelbar sind. Aktuelle Prognosen gehen davon aus, dass bis zum Jahr 2040 global ca. 400.000 t Magnete/a recycelt werden müssen.

Keynotes: Produktlebenszyklus im Blick

Nach einem Grußwort der Rektorin der Universität Duisburg Essen, Frau Prof. Dr. Barbara Albert bildeten zwei Keynote-Vorträge den Abschluss des wissenschaftlichen Teils des 9. Ruhrsymposiums. Prof. Dr. Marzia Traverso von der RWTH Aachen zeigte in ihrem Keynote-Vortrag, wie ausgehend von den 17 Nachhaltigkeitszielen, die von der UN im Jahr 2015 verabschiedet worden sind, diese Ziele mittlerweile in den Gesetzgebungsverfahren der EU berücksichtigt werden. Der „Green Deal“ soll die Basis für den Übergang in eine „Circular Economy“ sein und mit dem „EU-Action Plan for

the Circular Economy“ wird angestrebt, dass nachhaltige Produkte zukünftig in der EU die Norm sein sollen, dass Märkte für Sekundärprodukte in den unterschiedlichsten Bereichen entstehen, so dass letztendlich weniger Abfälle generiert werden. Dabei steht im Zentrum ein Öko-Design, mit dem Produkte repariert, nachhaltiger genutzt und nach dem Erreichen des „End-of-life“ auch wieder recycelt werden können. Hier sind aber die Fragen zu klären, ob eine Kreislaufwirtschaft immer nachhaltig ist und wie das gemessen und beurteilt werden kann. Bei der Bewertung nachhaltiger Aktivitäten sind die sozialen, ökologischen und ökonomischen Dimensionen gemeinschaftlich zu berücksichtigen und bilden letztendlich die Entscheidungsgrundlage für oder gegen etwas. Unter Berücksichtigung dieser Dimensionen ist die Lebenszyklusanalyse der beste Ansatz zur Unterstützung von Entscheidungsfindungsprozessen in Design und Herstellung.

Dr. Matthias Weinberg von der thyssenkrupp Steel Europe AG (tkSE) erläuterte in seinem Keynote-Vortrag, wieso CO₂-Emissionen in der Stahlindustrie zu reduzieren sind und wie dies nach einem Konzept von tkSE in den nächsten Jahren umgesetzt werden soll: Im Rahmen der Transformation wird in einer ersten Stufe eine Direktreduktionsanlage am Standort Duisburg gebaut. Das direkt reduzierte Eisen wird dann in einem elektrischen Einschmelzaggregat verflüssigt und des Weiteren im Stahlwerk raffiniert, so dass damit auch zukünftig die gleichen Stahlqualitäten wie heute erzeugt werden können. Für die Planungen des Transformationsprozesses ist die standardisierte Methodik der Ökobilanz (Life Cycle Assessment – LCA), mit der Lebenszyklusbetrachtungen durchgeführt werden, ein unverzichtbares Werkzeug. Damit werden die tat-

sächlichen Umwelteinwirkungen für sämtliche Prozesse eines integrierten Hüttenwerkes in ihrer Komplexität erfasst und bewertet. Werden innerhalb eines LCA verschiedene umweltbezogene Wirkungskategorien betrachtet, so werden durch eine Kombination mit der Analyse des CO₂-Fußabdruckes (Carbon Footprint of a Product-PCF) zusätzlich als Wirkungskategorie die Auswirkungen auf den Klimawandel erfasst.

Wie kann eine nachhaltige Transformation der Industrie gelingen?

Den Abschluss dieses für alle Teilnehmenden hochinteressanten wie auch lehrreichen Tages bildete der Duisburger Nachhaltigkeitstalk, der von der Duisburg Business & Innovation GmbH (DBI) organisiert und von der Journalistin Jeanette Kuhn moderiert wurde. Wesentliches Element war hier eine Panel-Diskussion mit 9 Teilnehmer:innen. Anschließend gab es einen sehr angeregten Gedankenaustausch mit dem Publikum, in dem unter anderem diskutiert wurde, unter welchen Bedingungen unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit die Sanierung oder der Abriss und Neubau von Gebäuden die bessere Lösung ist. Somit fand das 9. Ruhrsymposium in Duisburg einen gelungenen Abschluss. Das 10. Ruhrsymposium wird aller Voraussicht nach im nächsten Jahr erneut stattfinden und lädt hierzu wieder Interessierte aller Branchen ein.

Autor

Prof. Dr.Ing. R.Deike

Universität Duisburg-Essen
Friedrich-Ebert-Straße 12
47119 Duisburg

