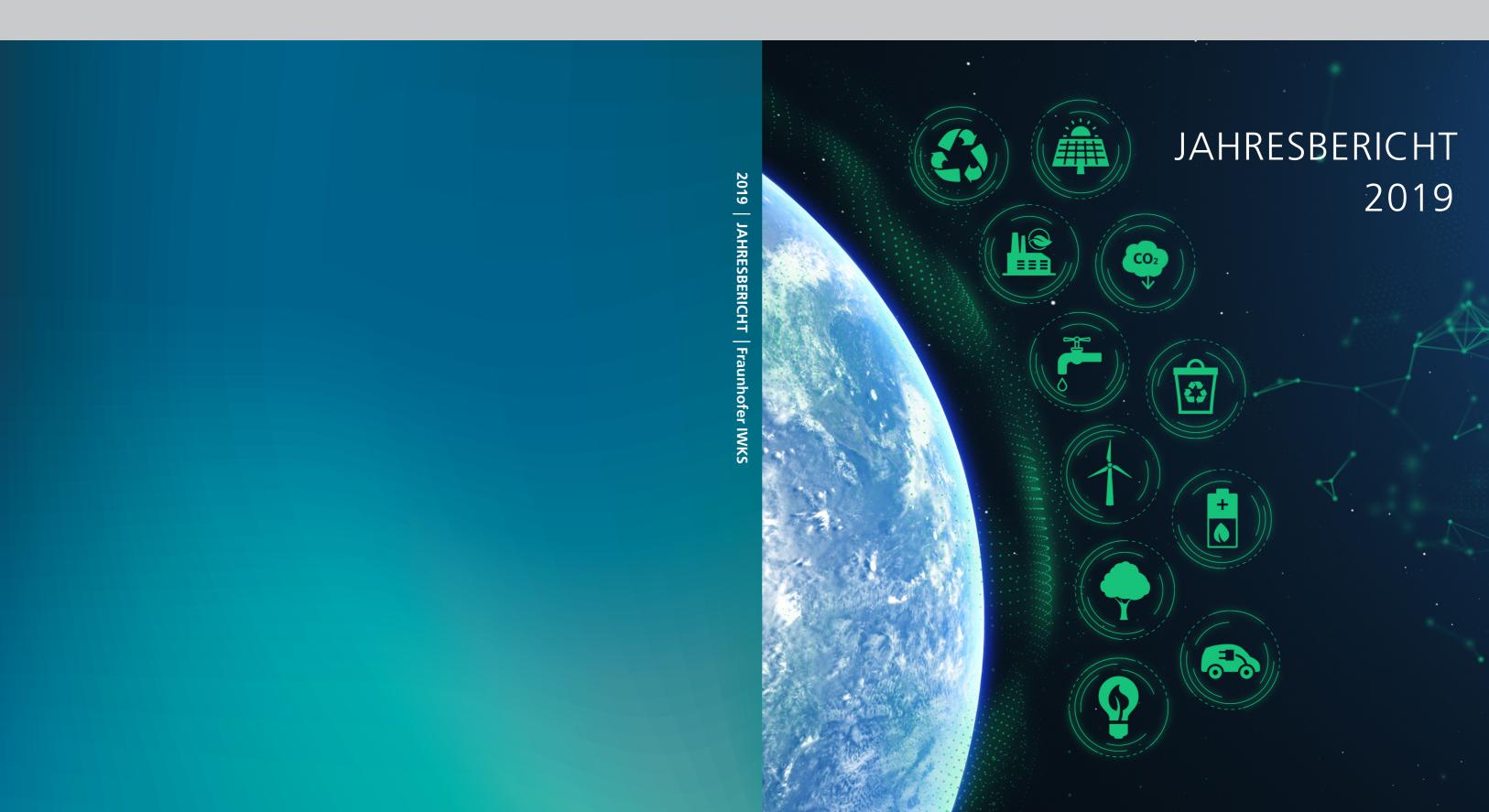


FRAUNHOFER-EINRICHTUNG FÜR WERTSTOFFKREISLÄUFE UND RESSOURCENSTRATEGIE IWKS



JAHRESBERICHT 2019





# **VORWORT**

#### Liebe Leserinnen und Leser,

das Jahr 2019 war sowohl für das Fraunhofer IWKS wie auch die Fraunhofer-Gesellschaft ein ereignisreiches und wichtiges Jahr. Seit ihrer Gründung im Jahr 2011 ist die Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS stetig gewachsen. Im April 2019 ist aus der Projektgruppe nach nur 8 Jahren Aufbauarbeit eine eigenständige Einrichtung geworden. Ebenfalls im Jahr 2019 beging die Fraunhofer-Gesellschaft ihr 70. Jubiläum und zum ersten Mal wurde dies von fünf Fraunhofer-Instituten im Rhein-Main-Gebiet, darunter das Fraunhofer IWKS, gemeinsam mit einer großartigen Veranstaltung gefeiert. Eine Vielzahl an Projekten konnte abgeschlossen und neue hinzugewonnen werden. Mittlerweile zählt das Fraunhofer IWKS rund 100 Mitarbeitende. Dies sind nicht einfach nur wichtige Meilensteine für unsere Einrichtung auf dem Weg zum Institut, sie tragen dem starken Aufwuchs und der thematischen Relevanz der Forschungsarbeit am Fraunhofer IWKS Rechnung.

So scheint es etwa, als wäre das Thema Klimaschutz und die Klimadebatte noch nie so öffentlich und so präsent in Deutschland geführt worden wie im letzten Jahr. Der Eindruck, dass der Klimawandel auch in Deutschland spürbarer zu werden scheint, mag dazu beigetragen haben: Wir erinnern uns an Dürresommer, Unwetter oder verheerende Waldbrände – in Deutschland, Europa und auf der ganzen Welt. Darüber hinaus haben Bewegungen wie Fridays for Future den Klimaschutz nicht nur in die öffentliche Debatte, sondern auch ganz oben auf die politische Agenda geführt. Unser Forschungsauftrag – wissenschaftliches Know-how aufzubauen und in industrielle Anwendungen zu überführen – ist daher wichtiger denn je. Denn Ressourcenschutz ist Klimaschutz.

Das Fraunhofer IWKS ist hier mit seinem interdisziplinären Forschungsansatz und seiner nationalen wie internationalen Vernetzung zu führenden Forschungsorganisationen und Universitäten sehr gut aufgestellt. An beiden Standorten sind die Arbeiten an den Neubauten sehr gut vorangeschritten und wir freuen uns darauf, mit dieser Aufwertung unserer Forschungsinfrastruktur noch innovativer und zukunftsorientierter arbeiten zu können. Thematisch wurde der Standort Alzenau konsequent auf die Themenbereiche Digitalisierung

und Ressourcen, darunter Ökonomie und Ökologie in der Kreislaufwirtschaft, ausgebaut. In Hanau konzentrieren sich die Forscherinnen und Forscher auf Rezyklate für Anwendungen aus der Elektromobilität mit den Bereichen Batterien und Brennstoffzellen, Leichtbau, Elektromotoren sowie Hochleistungselektronik. Der enge Austausch mit Industriepartnern aus der Region, in Deutschland und darüber hinaus liegt uns besonders am Herzen.

Mit erfolgreich abgeschlossenen Projekten wie HyperBioCoat, in dem wir gemeinsam mit unserem früheren Mutterinstitut Fraunhofer ISC eine vielbeachtete bioabbaubare Beschichtung mit Hilfe des nachhaltigen Rohstoffs Apfeltrester entwickelt haben, oder auch New-Bat, wo es um die Entwicklung einer energieeffizienten Wiederverwertung von Batteriematerialien geht, haben wir die Basis für viele weitere Folgeprojekte gelegt. Besonders freut uns die Beteiligung am 2019 gestarteten Fraunhofer-Leitprojekt MaNiTu, in dessen Rahmen Materialien für nachhaltige Tandemsolarzellen entwickelt werden. Das Fraunhofer IWKS ist hier mit der Nachhaltigkeitsbewertung von Materialien und Prozessen sowie der Entwicklung von bleifreien Substitutionsmaterialien betraut. Dies ist nur ein Auszug einer ganzen Reihe von spannenden Projekten und Forschungsaufträgen, mit denen wir unseren Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz leisten – mehr dazu erfahren Sie auf den folgenden Seiten.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Mitarbeitenden, Partnern, Förderern sowie Wegbegleitern ausdrücklich bedanken. Ohne Ihr Engagement und Ihre Ideen wäre aus der kleinen Projektgruppe von damals nicht so schnell das Fraunhofer IWKS von heute geworden.

Anke Who driff

Prof. Dr. Anke Weidenkaff Leiterin Fraunhofer IWKS

# **ORGANIGRAMM**



Prof. Dr. Anke Weidenkaff Institutsleitung



Prof. Dr. Rudolf Stauber Stellvertreter der Institutsleitung

# Alzenau



Sekundärwertstoffe



Biogene Systeme



Dr. Gert Homm Abteilungsleitung

Kreislaufmanagement



Dr. Andrea Gassmann Abteilungsleitung

**Urban Mining** 



Dr. Katrin Bokelmann Abteilungsleitung

Verwaltung



Nelly Klein Verwaltungsleitung

Vertrieb, Marketing, Netzwerke



Dr. Gert Homm Bereichsleitung



Energie-

Dr. Jörg Zimmermann Abteilungsleitung

Hanau

Funktionswerkstoffe Prof. Dr. Oliver Gutfleisch Wissenschaftliche Leitung

Magnet-

werkstoffe

Jürgen Gassmann

Abteilungsleitung



Rezyklatanalytik



Konrad Güth Abteilungsleitung

#### Anwendungszentrum Ressourceneffizienz, ARess

Hochschule Aschaffenburg



Prof. Dr. Gesa Beck Leitung ARess



Nicole Klinger Leitung Marketing

# ZAHLEN, DATEN, FAKTEN

# Betriebshaushalt 2019, in T€



# Medien-Echo



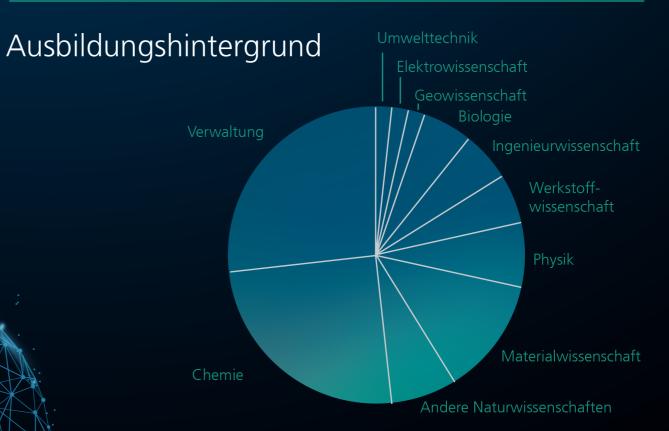
## Kundenstruktur

		Materialtechnologie		Recycling		
	Automotive		Metallin-			Int. Handel &
		Kunststoff	dustrie und verarbei	_	Energie	Entwick- lung
	Maschinen- und	  Elektro-	tung			
Chemie	Anlagenbau	technik	Baustoffe	9	Beratung	Konsum- güter

## Personalstruktur

- 38 Wissenschaftliche Mitarbeitende
- 28 Technische Mitarbeitend
- 10 Studentische Hilfskräfte / Praktikanter
- 6 Auszubildende
- 5 Graduierte Mitarheitende
- 2 Doktoranden









# MENSCHEN UND EREIGNISSE

Mitarbeitende sind das höchste Gut eines jeden Unternehmens. Erst engagierte, qualifizierte und motivierte Mitarbeitende ermöglichen unternehmerischen Erfolg. Das Jahr 2019 hielt Preise und Auszeichnungen für hervorragende Leistungen in unterschiedlichen Wirkungsfeldern bereit. Fraunhofer-Prädikatsprogramme wurden absolviert und Messen und Konferenzen wurden abgebildet.

# Neue Fraunhofer-Einrichtung zur Ressourcensicherung

#### Ein Meilenstein auf dem Weg zum Institut

Als Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS wurde seit acht Jahren erfolgreich die Sicherung der Rohstoffversorgung in Deutschland maßgeblich vorangetrieben. Die unter dem Dach des Fraunhofer-Instituts für Silicatforschung gegründete und seither kontinuierlich wachsende Forschungsgruppe wird seit dem 8. April 2019 an ihren Standorten in Alzenau und Hanau als eigenständige Fraunhofer-Einrichtung unter dem Namen Fraunhofer IWKS fortgeführt.

Aufbauend auf seinem etablierten Know-how wird das Fraunhofer IWKS seither unter eigener Flagge sein Renommee als Forschungsdienstleister auf dem Gebiet der Ressourcensicherung weiter fortentwickeln. Zu diesem Zeitpunkt beschäftigt das Fraunhofer IWKS rund 90 Mitarbeitende in zwei Bundesländern und ist mit seiner Expertise ein wichtiger Teil des Technologie- und Wissenschaftsstandorts der Region Rhein-Main und Deutschlands geworden.

»Neben dem Einsatz und Engagement der Mitarbeitenden des Fraunhofer IWKS gilt unser besonderer Dank dem Fraunhofer ISC, das uns in der Aufbauphase stets unterstützt und mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat«, so Prof. Dr. Anke Weidenkaff. »Dieser Schritt ist ein entscheidender Meilenstein für das Fraunhofer IWKS und ich freue mich sehr, die bisherige erfolgreiche Aufbauarbeit gemeinsam mit den Mitarbeitenden weiterzuführen.«

Auch thematisch soll das Portfolio des Fraunhofer IWKS weiterentwickelt werden. »Ressourceneffizienz und Rohstoffsicherung sind für Unternehmen von entscheidender Bedeutung.



Bild: v.l.n.r.: Prof. Dr. Rudolf Stauber, Prof. Dr. Anke Weidenkaff, Prof. Dr. Liselotte Schebek, Prof. Dr. Oliver Gutfleisch ©

Genau hier setzt die Forschung an: Am Standort Alzenau wird sich die Forschungsarbeit auf die Themenschwerpunkte Digitalisierung und Ressourcen, darunter Ökonomie und Ökologie in der Kreislaufwirtschaft, konzentrieren. In Hanau wird das Themengebiet Rezyklate für Anwendungen aus der Elektromobilität mit den Bereichen Batterien und Brennstoffzellen, Leichtbau, Elektromotoren sowie Hochleistungselektronik mit Industriepartnern aus der Region weiter ausgebaut werden. Damit sind wir für die Zukunft perfekt aufgestellt.

#### Fraunhofer-Kommunikationspreis 2019



Bild: v.l.n.r.: Jennifer Oborny, Christian Lüdemann, Nicole Klinger © Fraunhofer IWKS

Die Fraunhofer-Gesellschaft prämiert jährlich die besten Beispiele für gelungene Wissenschaftskommunikation von Fraunhofer. Das Fraunhofer IWKS belegte mit der Umsetzung einer Awereness-Kampagne, nach der Kampagne "Hallo-Joseph" der ZV, den zweiten Platz. Das Kommunikationsteam freute sich über den mit 3000 € dotierten Preis.

#### Fraunhofer Forschungsmanagerin



Bild: v.l.n.r.: Prof. Dr. Rudolf Stauber, Dr. Andrea Gassmann, Prof. Dr. rer. publ. ass. iur. Alexander Kurz © Fraunhofer IWKS

Dr. Andrea Gassmann absolvierte das Prädikatsprogramm »Fraunhofer-Forschungsmanager/in«. Diese Weiterbildung steht Fraunhofer-Mitarbeitenden exklusiv zur Verfügung und stellt ein im deutschen Sprachraum einmaliges Angebot zum Kompetenzerwerb an der Schnittstelle von Wissenschaft und Wirtschaft dar. Das Prädikatsprogramm wird seit 2015 angeboten und wurde von mehr als 100 Teilnehmenden in fünf abgeschlossenen Durchgängen erfolgreich absolviert.

#### Nachwuchsforscher - Preis 24 Stunden für Ressourceneffizienz



Bild: Tobias Necke, wissenschaftlicher Mitarbeiter Fraunhofer IWKS, © Hochschule Pforzheim

Für seinen Vortrag "Mechanochemie – Nachhaltige (Rück)Gewinnung versorgungskritischer Rohstoffe" wurde Tobias Necke, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fraunhofer IWKS, von der Technischen Universität Darmstadt geehrt. Tobias Necke arbeitet in der Abteilung Urban Mining am Fraunhofer IWKS, wo er u. a. an Lösungen für das Recycling von Industrieschlacken und -schlämmen forscht.

#### EMRS 2019 Spring Meeting



Bild: v.l.n.r.: Prof. Dr. Anke Weidenkaff, Prof. Dr. Hiroshi Amano © Fraunhofer IWKS

Das Frühjahrstreffen der European Materials Research Society fand vom 27. bis 31. Mai 2019 in Nizza statt. Mit Prof. Dr. Anke Weidenkaff als einer der Conference Chairpersons, war das Fraunhofer IWKS auf der EMRS vertreten und informierte rund um das Thema Wertstoffkreisläufe und Ressourcen.

#### EMCE 2019 Konferenz in Tokio



Bild: Daniel Horn, wissenschaftlichtler Mitarbeiter Fraunhofer IWKS © Fraunhofer IWKS

Vom 1. bis 3. Juli 2019 trafen sich Experten aus aller Welt im Rahmen der E-Mobility & Circular Economy (EMCE 2019) Konferenz in Tokio, um der Frage nachzugehen, wie Elektromobilität zu einem nachhaltigen und verantwortungsvollen Umgang mit unserer Umwelt beitragen kann. Daniel Horn, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Energiematerialien, zeigte in seinem Vortrag auf, dass das in Batterien enthaltene Aktivmaterial eine wichtige Rohstoffquelle ist. So kann dessen Rückgewinnung einen wichtigen Beitrag zum Schutz der Primärrohstoffe leisten.

#### CWIEME, Messe Berlin



Bild: v.l.n.r.: Dr.Johannes Öhl , Jürgen Gassmann, Dr. Jörg Zimmermann © Fraunhofer IWKS

Johannes Öhl, Jürgen Gassmann und Dr. Jörg Zimmermann informierten über Forschungsarbeiten zum Thema Batterieund Magnetrecycling und wie man die Wertschöpfungskette nachhaltig verbessern kann.

# Thema 2019 "Batterierecycling" EES, Messe München



© Fraunhofer IWKS

#### Neuer Biopolymerrohstoff Messe K



Bild: Messe K © Fraunhofer IWKS

Anwendungen für einen neuen Polymergrundstoff aus Lebensmittelresten, der sowohl biobasiert als auch biologisch abbaubar ist, zeigte das Fraunhofer IWKS unter anderem auf der Messe K. Der neue Polymerrohstoff erhöht die Schutzwirkung von Kunststoffverpackungen ohne Beeinträchtigung des Recyclings oder der Kompostierbarkeit. Konkret wird aus Apfeltrestern ein Hemicellulose-Produkt extrahiert, das dank der verzweigten Polymerstrukturen für verschiedenste Anwendungen geeignet ist.

#### Fraunhofer Rhein-Main Fünf Institute, ein Event



© Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie

Gemeinsam forschen und feiern geht nicht? DOCH!
Die Rhein-Main-Institute feierten gemeinsam beim Festival
"THE SOUND OF SCIENCE" das 70-jähirge Bestehen der
Fraunhofer-Gesellschaft. Kolleginnen und Kollegen präsentierten ihre Forschungsarbeiten und ließen anschließend bei LiveMusik und Speiß und Trank den Tag gemeinsam ausklingen.

# Fraunhofer IWKS schließt internationale Forschungskooperation mit Äthiopien

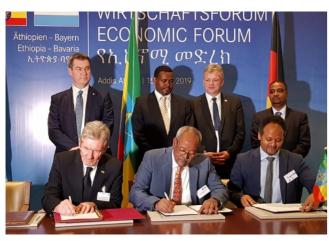


Bild: vordere Reihe v. l. n. r.: Prof. Dr. Rudolf Stauber, Prof. Tsige Gebre-Mariam, Prof. Teketel Yohannes Anshebo. Hintere Reihe: Dr. Markus Söder, Roland Weigert @ Bayerischen Staatskanzlei

Die Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS mit Standorten in Alzenau (Bayern) und Hanau (Hessen) hat eine Forschungskooperation mit der Ethiopian Academy of Sciences (EAS) in Addis Abeba (Äthiopien) geschlossen. Dies ist die erste Kooperation auf dem Gebiet Umweltschutz innerhalb der Fraunhofer-Organisation mit einer Forschungseinrichtung in Äthiopien. Ziel der Vereinbarung ist es, die Entwicklung von Ressourcenstrategien sowie Recyclingtechnologien grenzüberschreitend gemeinsam weiter

20

voranzutreiben. Insbesondere liegt der Fokus dabei auf der Rückgewinnung kritischer Elemente aus Elektroschrott, dem Recycling von Kunststoffen und Verpackungsmaterialien sowie der Extraktion von Fasermaterialien aus biologischen Reststoffen. Prof. Dr. Rudolf Stauber reiste vom 14. bis 18. April 2019 im Rahmen einer Delegationsreise der Bayerischen Staatsregierung in die Demokratische Bundesrepublik Äthiopien. Der Freistaat Bayern will Äthiopien aktiv bei seiner Entwicklung unterstützen und baut seine internationalen Beziehungen aus.

#### GERRI-Netzwerk fordert Stärkung der Metallurgie-Kapazitäten Europas



Bild: v. l. n. r.: Charlotte Geerdink, Andreas Nolte, Dr. Hans-Jürgen Wachter, Dr. Christian Hagelüken, José Rizo-Martin, Lieve Wierinck, Reinhard Bütikofer, Gwenole Cozigou, Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Markus Reuter, Dr. Peter Buchholz, Prof. Dr. Rudolf Stauber © GERRI

Am 26. Februar 2019 lud das German Resource Research Institute GERRI hochrangige Vertreter aus Politik, Forschung und Industrie zu einer Diskussionsrunde mit dem Thema "Circular Economy in Europa" in Brüssel ein. An dem vom deutschen Netzwerk für Ressourcenforschung organisierten Runden Tisch diskutierten die Experten Herausforderungen und mögliche Lösungen zur Etablierung einer geschlossenen Kreislaufwirtschaft in Europa.

# FORSCHUNGSABTEILUNGEN IM ÜBERBLICK



Am Fraunhofer IWKS wird an zwei Standorten in sechs Abteilungen an nachhaltigen Lösungen zur Ressourcensicherung geforscht. Dabei bildet der Bereich der Sekundärwertstoffe den Forschungsschwerpunkt der Forscherinnen und Forscher am Standort Alzenau. Dieses wichtige Thema wird durch den Forschungsschwerpunkt der Funktionswerkstoffe, welchem sich der Standort Hanau widmet, ergänzt. Der interdisziplinäre Ansatz, den das Fraunhofer IWKS dabei verfolgt, stellt einen wesentlichen Vorteil für Partnerinnen und Partner aus Industrie und Öffentlichkeit dar.



- Biobasierte Rohstoffe
- Nährstoffrückgewinnung
- Recycling
- Schadstoffbeseitigung



- Mikroskopie, Nanoanalytik
- Chemische Analytik und Strukturaufklärung
- Analytik von Materialeigenschaften



- Prozessoptimierung
- Verwertungskonzepte
- Ökobilanzierungen
- Lebenszykluskostenanalyse



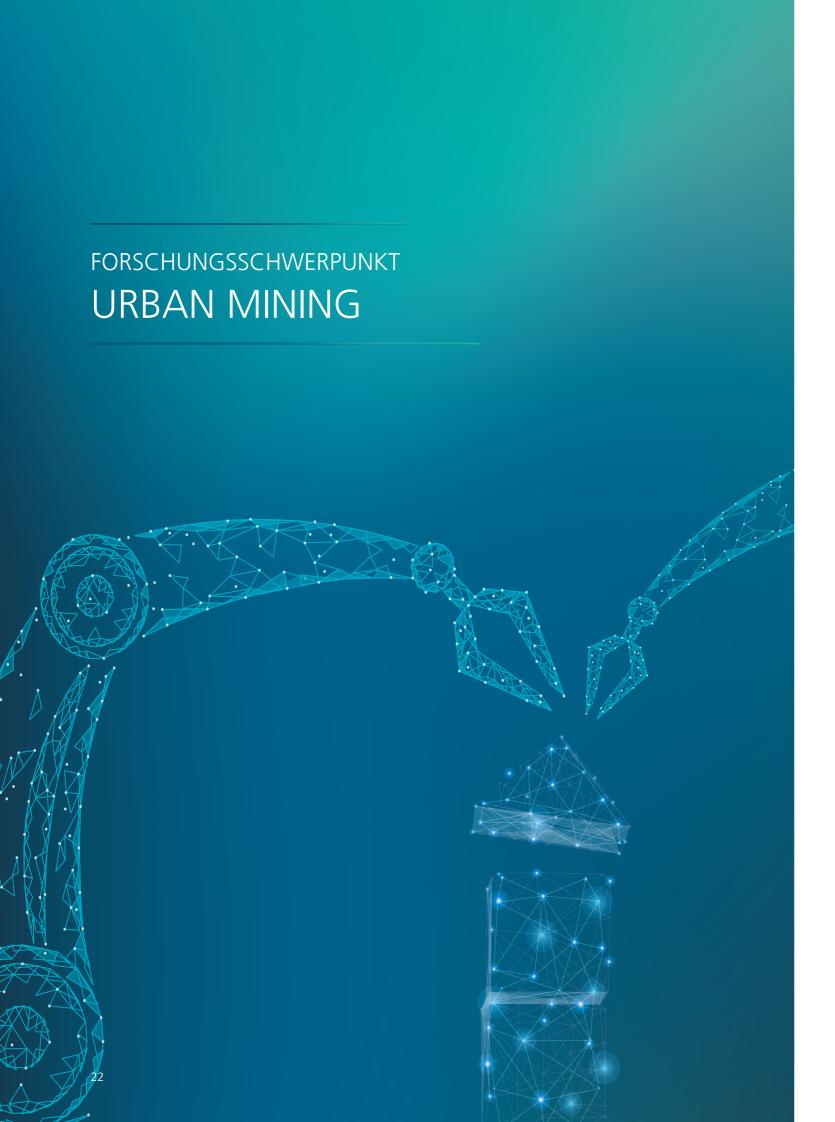
- Analytik
- Herstellung
- Studien
- Recycling



- Selektive Trennung
- Materialcharakterisierung
- Prozessanalysen
- Stoffstromanalysen



- Batterierecycling
- PV-Modulrecycling
- Beleuchtung



### Separieren, sortieren, trennen

Materialkompetenz und Verfahrens-Know-how

#### Was versteht man unter Urban Mining?

Dem Gedanken des Urban Minings folgend stellt alles, was der Mensch einst produziert und später weggeworfen hat, keinen unerwünschten "Abfall", sondern wertvolle (Boden-)Schätze dar. Benutzte Gebäude, Fabriken, ausgediente Konsumgüter, wie zum Beispiel Elektronikschrott. Auch Stäube, Aschen, Schlacken und Schlämme aus Industrien wie beispielsweise der Stahl-, Eisen-, und Aluminiumindustrie.

#### Konsumgut Elektronikschrott

Alleine Deutschland produziert jährlich eine Million Tonnen Elektronikschrott. In Smartphones, Ladegeräten und anderen Elektronikgütern befinden sich viele wertvolle Metalle. Etwa Gold, Silber, Platin oder Palladium. Diese kritischen Metalle gehen derzeit verloren, denn momentan existieren nur wenige effiziente Recyclingverfahren, um auch geringe Konzentrationen von kritischen Substanzen abzutrennen oder wiederzugewinnen.

Genau hier setzt die Forschungsarbeit des Fraunhofer IWKS an. So steckt in einem einzigen Mobiltelefon so viel Gold wie in 16 Kilogramm rohem Erz und ganze 20 Kg Gold gehen derzeit in einer einzigen Deponie durch die Müllverbrennung pro Jahr verloren. Darüber hinaus stellen gerade diese kleinen Bildschirmgeräte wie Smartphones oder Mobiltelefone hochintegrierte Verbunde aus Polymeren, Glas und Metallen, einschließlich kritischer Materialien wie Indium, Gallium, Germanium usw. dar. Aufgrund ihrer oft geringen Größe werden sie derzeit in der Praxis keinen mechanischen Trennprozessen unterzogen und stattdessen in Sekundärhütten verwertet. Dabei werden jedoch keine Kunststoffe zurückgewonnen und die schmelzmetallurgischen Verfahren sind nicht auf niedrig konzentrierte, kritische Metalle ausgerichtet. Die in diesen

Geräten zunehmend fest verbauten Hochenergiebatterien, insbesondere Lithium-Ionen-Akkumulatoren (Akkus), stellen eine weitere Herausforderung im Recycling dar.

Forscherinnen und Forscher des Fraunhofer IWKS entwickeln in der Abteilung Urban Mining Technologien und Recycling-prozesse, um diese primären Ressourcen systematisch zu lokalisieren und qualitativ hochwertig aufzubereiten, sodass sie als Sekundärwertstoffe erneut zum Einsatz kommen.

Im Bereich Trenn- und Zerkleinerungstechnologien werden neuartige Technologien entwickelt, um Materialien physikalisch, chemisch und biologisch aufzuarbeiten. Zusätzlich zu den etablierten Klassier- und Sortierverfahren auf physikalischer Basis bietet das Fraunhofer IWKS flexible Lösungen, um den zunehmend komplexer und heterogener werdenden Stoffströmen gerecht zu werden. So werden die verschiedenen Zerkleinerungstechnologien mit der modularen Sortieranlage, welche im Technikum Alzenau steht, zu einem Prozess kombiniert. Angepasst auf das jeweilige Material, um möglichst viele Wertstoffe zurückzugewinnen. Das Fraunhofer IWKS verfügt über eine Vielzahl Zerkleinerungstechnologien mit unterschiedlichen Beanspruchungsarten im Labor- und Technikumsmaßstab.

#### Kontakt

Dr. Katrin Bokelmann Abteilungsleitung Urban Mining +49 6023 32039-809 katrin.bokelmann@iwks.fraunhofer.de

# RÜCKGEWINNUNG ABFALL ALS ROHSTOFFLIEFERANT

Informationen online



# Schadstoffe effizient abtrennen und zurückgewinnen

Die Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWKS konzentrieren sich darüber hinaus auf Verbrennungsaschen und -stäube, metallurgische Schlacken, mineralische Systeme, glasartige Materialien, Verbundmaterialien, Klär-, Schleif-, Galvanik-, Rot-, Bohr- und anderen Industrieschlämmen.

Wie in allen nicht vollständig geschlossenen Kreisläufen fallen auch hier Reststoffe an, die nicht weiter verwertet werden können. Diese müssen – ohne Schaden für die Umwelt – als potenzielle zukünftige Rohstoffquellen (meist kostenpflichtig) deponiert werden. Ihre Deponierung im Sinne des Urban Mining dient gemäß der Abfallhierarchie einerseits zur Vorbereitung der Wiederverwendung und andererseits der Beseitigung.

#### Aufbereitung

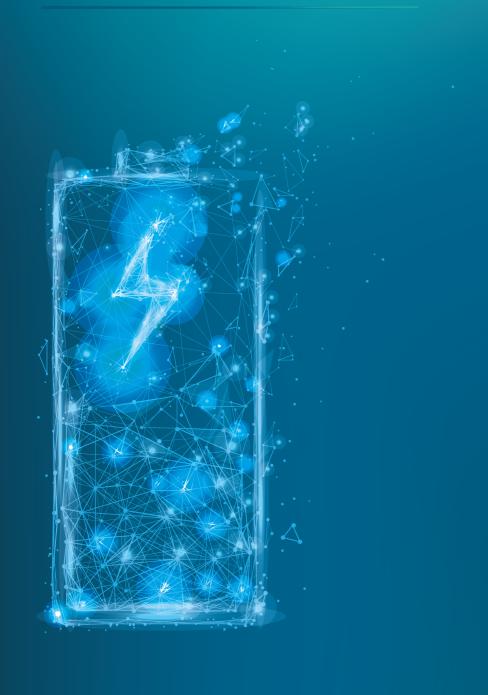
In der Prozesskette der Aufbereitung von Sekundärrohstoffen ist die Erzeugung von angereicherten Fraktionen aus Stoffgemischen ein wichtiger Schritt. Ähnlich wie die Wertstoffe sind auch Schadstoffe oft zu verdünnt, um sie wirtschaftlich und sauber abzutrennen. Das zentrale Element zum Schließen von Wertstoffkreisläufen ist die Aufbereitung des entsprechenden Materials und die anschließende Abtrennung entsprechender Wertstoffe.

In enger Kooperation mit Industriepartnern entwickeln Forscherinnen und Forscher neuartige Verwertungskonzepte sowie zukunftsweisende Verfahren zur intelligenten Zerkleinerung und selektiven Separation von Wert- und Schadstoffen, und forschen an der Weiterentwicklung bestehender Konzepte.





# FORSCHUNGSSCHWERPUNKT ENERGIEMATERIALIEN



### Batterien - PV-Module - Brennstoffzellen

#### Elektromobilität und Energiewende

Mit dem Ziel, dem Klimawandel entgegenzuwirken, stellen die Energiewende und die Elektromobilität, in Deutschland und darüber hinaus, zwei große nachhaltige zukunftsorientierte Trends dar. Eine weniger nachhaltige Gemeinsamkeit allerdings bildet der hohe Verbrauch von Rohstoffen für elektromechanische und elektronische Komponenten. Von tatsächlicher Nachhaltigkeit kann zudem erst dann gesprochen werden, wenn auch das Recycling der entsprechenden Produkte und die Kreislaufführung der Rohstoffe etabliert, Wertstoffkreisläufe geschlossen und Sekundärrohstoffe zugänglich gemacht wurden.

Bei der E-Mobilität ist die Kreislaufführung von wertvollen Ressourcen und die Reduktion des ökologischen Fußabdrucks der E-Mobile von entscheidender Bedeutung. Nicht nur, jedoch vor allem hier entwickelt das Fraunhofer IWKS, gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung, nachhaltige Prozesse für das Recycling von beispielsweise Batterien aus E-Fahrzeugen.

Der Forschungsschwerpunkt der Abteilung Energiematerialien am Fraunhofer IWKS setzt genau hier an.

#### Übergeordnete Forschungsschwerpunkte

- das Erforschen neuer/verbesserter Recyclingprozesse
- die Entwicklung effizienterer Produktionsverfahren und neuer Substitute f
  ür strategische Materialien zur Energiegewinnung, -umwandlung und -speicherung
- Konzeption individueller Strategien für den nachhaltigen Umgang mit Materialien und Energie
- die Entwicklung von alternativen Lösungen zur Substitution herkömmlicher Materialien
- spezielle Recycling- und Analysemethoden

#### Kontakt

Dr. Jörg Zimmermann Abteilungsleitung Energiematerialien +49 6023 32039-875 joerg.zimmermann@iwks.fraunhofer.de

#### **SCHWERPUNKTE**

# PV-MODULE UND LEUCHTMITTEL

## BATTERIERECYCLING

Informationen online



#### Wertvolle Metalle in der Müllverbrennung

Wachsende PV-Modulabfälle stellen eine neue Generation der Umweltherausforderung dar, bieten jedoch gleichzeitig Möglichkeiten, Werte zu schaffen und neue, wirtschaftliche Wege zu gehen. Dazu gehört die Rückgewinnung von Rohstoffen.

Eine Solarzelle besteht aus mehreren Hundert Gramm Silizium, einigen Gramm Blei, Zink, Zinn und mitunter auch geringe Mengen Silber – alles wertvolle Rohstoffe. Die besondere Herausforderung beim Recycling liegt unter anderem im aufwendigen Trennen der Wertstoffe von der Kunststofffolie, in welche sie eingebettet sind. Dies führt dazu, dass Solarzellen heute meist in der Müllverbrennungsanlage landen und die enthaltenen Materialien unwiederbringlich verloren gehen.

Der Fokus der Forschungsarbeiten liegt daher auf verbesserten Recyclingprozessen, effizienteren Produktionsverfahren und neuen Substituten für strategische Materialien zur Energieumwandlung, -speicherung und -einsparung.

Das Fraunhofer IWKS entwickelt innovative Verfahren für die Rückgewinnung der wertvollen Elemente und Verbindungen aus PV-Modulen. Ziel ist es, schonend unterschiedliche Fraktionen zu trennen und damit die Gewinnung von Materialien mit hoher Reinheit zu ermöglichen.

Es werden verschiedene Zerkleinerungs-, Separations-, und chemische Behandlungsverfahren zur Aufbereitung der PV-Module untersucht. Dies beinhaltet auch die adäquate Analyse zur Untersuchung der Materialien und Komponenten in allen Verfahrensstufen.

#### Forschungsschwerpunkte

- innovative Separationsverfahren für komplexe Verbunde (z.B. Elektrohydraulische Zerkleinerung)
- nasschemische Aufschluss- und Separationsverfahren
- Abtrennung und Aufreinigung von Wertstoffen mittels Gasphasentransportreaktion
- biologische Verfahren zur Anreicherung von kritischen Metallen
- Aufbereiten von Funktionsmaterialien



Bild: PV-Module vor und nach der elektrohydraulischen Zerkleinerung am Fraunhofer IWKS, © Fraunhofer IWKS

#### Recycling von Batterien

Das Marktvolumen bei Lithium-lonen-Batterien hat sich seit 2013 mehr als versechsfacht, was nicht zuletzt auf das hohe Wachstum der Importe nach Deutschland zurückzuführen ist. In diesen Batterien enthalten sind kritische Rohstoffe wie Kobalt, Nickel, Kupfer, Lithium und Graphit. Um diese Rohstoffe und die Rohstoffversorgung für die europäische Industrie zu sichern, bedarf es effizienter Recyclingprozesse für eine geschlossene Kreislaufführung.

- Demontage von Batteriesystemen
- innovative Separationsverfahren für komplexe Hybridmaterialien (z. B. elektrohydraulische Zerkleinerung)
- nasschemische Aufschluss- und Separationsverfahren
- Aufbereitung von Funktionsmaterialien und Rohstoffen
- Evaluierung von Re-use und Second-use



Bild: Batterien vor und nach der elektrohydraulischen Zerkleinerung am Fraunhofer IWKS, © Fraunhofer IWKS

#### Mechanische Zerkleinerung

Das Fraunhofer IWKS verfügt über eine Vielzahl an Zerkleinerungstechnologien mit unterschiedlichen Beanspruchungsarten im Labor- und Technikumsmaßstab. Das Material kann individuell zerkleinert und homogenisiert werden, wobei die Technologien für verschiedene Materialien einsetzbar sind. So können weiche, faserige, harte und spröde Proben im nassen und trockenen Zustand bearbeitet werden.

#### Elektrohydraulische Zerkleinerung (EHZ)

Eine besonders innovative Technik zur Zerkleinerung von Materialien stellt die sogenannte Elektrohydraulische Zerkleinerung mittels Schockwellen-Technologie dar. Hierbei wird das zu zerkleinernde Material in einem Reaktor in eine Flüssigkeit (insbesondere Wasser) gegeben. Über eine elektrische Entladung werden Schockwellen erzeugt, die sich mit Hilfe der Flüssigkeit im Reaktor ausbreiten und so eine Auftrennung des Materials entlang von Phasengrenzen bewirken. Durch diese kurzen, aber heftigen mechanischen Stöße werden gezielt Schwachstellen im Material angegriffen: Die Auftrennung erfolgt an makroskopischen Verbindungsstellen oder an mikroskopischen Grenzflächen.

Im Technikum des Fraunhofer IWKS steht eine EHZ-Anlage im Pilotmaßstab. Hier werden in verschiedenen Projekten Prozessparameter für verschiedene Materialien optimiert. Die Versuchsergebnisse werden detailliert bewertet und Ausgangs- und Endmaterial physikalisch und chemisch analysiert.



# FORSCHUNGSSCHWERPUNKT MAGNETWERKSTOFFE

# Analytik - Substitution - Recycling

#### Recycling und Wertstoffkreisläufe

Magnetwerkstoffe sind essentiell für viele industrielle Anwendungen. Im Zuge der angestrebten Erhöhung von Energie- und Ressourceneffizienz wachsen die Anforderungen an magnetische Materialien hinsichtlich ihrer magnetischen Eigenschaften und insbesondere ihrer Energiedichte stetig.

Für hochtechnologische Anwendungen (Smartphones, Computer, etc.) und für Anwendungen im Bereich der erneuerbaren Energien (Windkraftanlagen) sowie der Elektromobilität (Elektromotoren) sind Nd-Fe-B-Magnete wegen ihrer exzellenten magnetischen Eigenschaften nicht wegzudenken. Aufgrund ihrer sehr hohen Energiedichte sind sie derzeit auch nicht durch alternative Magnetwerkstoffe ersetzbar. Die in Nd-Fe-B-Magneten enthaltenen Seltenen Erden sind dadurch von strategisch wichtiger Bedeutung.

Die Fraunhofer-Einrichtung IWKS verfügt im Bereich der Magnetwerkstoffe über eine Pilotlinie zur Herstellung und für das Recycling von Nd-Fe-B– Permanentmagneten. Diese Anlagen erlauben es, Magnete im Pilotmaßstab herzustellen und neuartige Legierungen mit verbesserten Eigenschaften zu entwickeln und zu testen. Aufgrund der Sauerstoffempfindlichkeit dieser Materialien findet die Herstellung unter Ausschluss von Sauerstoff (unter Inertgas bzw. im Vakuum) statt.

#### Entwicklungsschwerpunkte

- Entwicklung von Recyclingkonzepten für Magnetwerkstoffe aus Altgeräten und Produktionsresten
- Weiterentwicklung werkstofflicher Recyclingverfahren basierend auf schmelz- und pulvermetallurgischen Verfahren

#### Ressourcenstrategie

Im Bereich Ressourcenstrategie umfasst das Leistungsspektrum des Fraunhofer IWKS die Beratung ebenso wie Studien für Industrie und Politik über folgende Themen:

- Erfassen und Bewerten des komplexen Stoffkreislaufs von Magnetwerkstoffen
- Kritikalität von Magnetwerkstoffen und den für ihre Herstellung benötigten Rohstoffen
- Life Cycle Assessment
- Schließen des Stoffkreislaufs durch Etablierung eines Netzwerkes aus Sekundärrohstofflieferanten, Herstellern und Anwendern recycelter Magnete

#### Kontakt



Dipl.-Ing. Jürgen Gassmann Abteilungsleitung Magnetwerkstoffe +49 6023 32039-814 juergen.gassmann@iwks.fraunhofer.de

# SUBSTITUTION, ANALYTIK





#### Ausgleich im Bedarf der Seltenen Erden

Um die Abhängigkeit von den als kritisch eingestuften Seltenen Erden zu verringern, forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Abteilung Magnetwerkstoffe an Möglichkeiten der Substitution dieser Elemente sowie der Substitution auf Material- und Systemebene. Bei der elementaren Substitution wird die Verwendung von weniger kritischen Seltenen Erden für die Anwendung in Magnetwerkstoffen untersucht. Diese weniger kritischen Elemente fallen in großen Mengen als Nebenprodukt beim Abbau Seltener Erden an. Eine Verwendung in Magneten würde so für einen Ausgleich im Bedarf der Seltenen Erden sorgen ("Rare Earth Balance"). Forschungsthemen auf diesem Gebiet sind:

- Synthese von Permanentmagneten auf Basis weniger kritischer Seltener Erden sowie Magnetwerkstoffen ohne Seltene Erden im Pilotmaßstab
- Entwicklung und Herstellung von Ausgangslegierungen durch Schmelzen im Vakuuminduktionsofen oder Lichtbogenofen, sowie Rascherstarren von Schmelzen mittels Strip-Cast- und Melt-Spinning-Verfahren
- Pulvermetallurgische Verfahren zur Herstellung von Sintermagneten, heißumgeformten Magneten
- Materialentwicklung für anisotrope Kunststoff-Magnete
- Wasserstoffgestützte Verfahren (HD und HDDR)
- Unterstützung bei der Skalierung für die industrielle Produktion

# Herstellung und Recycling von Nd-Fe-B-Sintermagneten

Nd-Fe-B-Sintermagnete haben bezogen auf den Nd-Fe-B-Markt einen Marktanteil von über 85 %. Die Herstellung über die pulvermetallurgische Route bietet den Vorteil, dass sich einfache Geometrien in weiten Größenbereichen herstellen lassen. Die Pilotlinie zur Magnetherstellung ist für die Verarbeitung von bis zu 10 kg Magnetmaterial pro Versuch ausgelegt. Die Magnetlegierung wird zur Einstellung der gewünschten Mikrostruktur in einem Strip-Caster induktiv aufgeschmolzen und zu Flakes rascherstarrt. Das so erhaltene Material wird zunächst in einem Wasserstoff-Autoklav versprödet und anschließend in einer Gegenstrahloder Targetmühle zu feinem Pulver (Partikelgrößen im einstelligen Mikrometerbereich) gemahlen. Dieses wird in einer uniaxialen Presse mit Transversalfeld ausgerichtet und gepresst. Der so erhaltene Grünkörper wird im Sinterofen zu einem kompakten Körper gesintert und im Anschluss geglüht, um die magnetischen Eigenschaften zu optimieren. Durch die hausinterne Analytik ist eine Kontrolle der chemischen Zusammensetzung, der Mikrostruktur sowie physikalischer Materialeigenschaften vor, während und nach dem Herstellungsprozess prozessbegleitend möglich. Mittels einer thermooptischen Anlage kann das Sinterverhalten (Schwindung und Verformung) in situ beobachtet und aufgezeichnet werden.



# FORSCHUNGSSCHWERPUNKT BIOGENE SYSTEME



## Wasserrecycling, Schad- und Wertstoffe

Der Wasserverbrauch steigt, nach Angaben der Vereinten Nationen (UN), seit den 1980er Jahren weltweit um etwa 1% pro Jahr. Gründe hierfür sind unter anderem das Bevölkerungswachstum, die sozioökonomische Entwicklung und ein sich ändernder Konsum. Bis 2050 soll die Wassernachfrage weltweit mit ähnlicher Rate weiter ansteigen – dies entspricht insgesamt einem Anstieg von 20 bis 30 % im Vergleich zum aktuellen Wasserverbrauch.

Angesichts der wachsenden Nachfrage nach Wasser und der zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels steigt der Stressgrad weiter. Folglich gewinnen die Wasserversorgung und somit auch das Wasserrecycling noch stärker an Bedeutung. Wasseraufbereitung schont nicht nur die vorhandenen Wasserressourcen, sondern kann auch ökonomisch sinnvoll sein. Es bietet Finanz- und Ressourceneinsparungen.

In nahezu jedem Produktionsprozess spielt Wasser eine tragende Rolle. Das Prozesswasser wird während des Gebrauchs häufig auf unterschiedlichste Weise verunreinigt. Einige dieser Verunreinigungen müssen als Schadstoff betrachtet werden und verursachen als solche hohe Entsorgungskosten. Andere können als Wertstoff eingestuft werden, dessen Rückführung in den Prozess teure Primärrohstoffe ersetzen kann. Eine Abtrennung der Schadstofffrachten oder der enthaltenen Wertstoffe stellt in beiden Fällen ein bedeutendes Einsparungspotenzial dar. Nicht zuletzt auch, weil das Wasser selbst eine knapper werdende Ressource ist.

Neben hohen Aufkommen an zu behandelnden wässrigen oder organischen Prozessmedien stellt die Vielzahl von gelösten und partikulären Stoffen unterschiedlicher Konzentration und die mikrobielle Kontamination von Prozesswässern und Anlagenkomponenten eine Herausforderung für Industrie und Kommunen dar. Verluste von Wertstoffen wie Phosphat und Metallen über das Abwasser und die Einhaltung von gesetzlichen oder prozessrelevanten Grenzwerten und der kostenintensive Aufwand zur Abwasser- und Schlammentsorgung ergänzen diese Herausforderungen noch. Die Forscherinnen

und Forscher der Abteilung Biogene Systeme forschen im Bereich "Aufbereitung von Prozesswässern" an nachhaltigen und ökonomisch wie ökologisch wirtschaftlichen Recyclinglösungen.

#### Leistungsportfolio

- Membranfiltration zur Auftrennung von Abwasserfraktionen und organischen Lösungen
- Elektrochemie (Diamantelektrode) zum oxidativen
   Abbau von Schadstoffen und Dekomplexierung von
   Schadstoffen und Wertstoffen
- Adsorptionsmaterialien zur selektiven Entfernung von Schad- und Wertstoffen
- Lösemittelextraktion zur Anreicherung von Schad- und Wertstoffen

Diese ermöglichen, neben einfachen und robusten Verfahren mit breiten Variationsmöglichkeiten, die spürbare Reduzierung der Entsorgungskosten, Einsparungen von Betriebsmitteln durch eine verbesserte Kreislaufführung, und sichern zudem die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben

#### Kontakt

Dr. Gert Homm Abteilungsleitung Biogene Systeme +49 6023 32039-867 gert.homm@iwks.fraunhofer.de

35

# BIOBASIERTE ROHSTOFFE

nformationen online



#### Biodiversität für neue Rohstoffe

Die Biodiversität der Natur kann immer häufiger für den Einsatz von Materialien erschlossen werden. Dabei ist die Rohstoffbasis von Biomaterialien ebenso groß wie ihre Anwendungsmöglichkeiten. Nicht zuletzt darum bietet die Nutzung biobasierter Rohstoffe, in vielen Bereichen der Industrie, derzeit Zugang zu bedeutenden Wachstumsmärkten und ist dabei schon lange nicht mehr auf die energetische Nutzung der Rohstoffe beschränkt.

#### Vielmehr umfasst die Nutzung unter anderem

- Bioverbundwerkstoffe,
- cellulosebasierte Polymere (einschließlich Cellulose-Regeneraten und Nanocellulose)
- sowie Bioraffinerien der dritten Generation.

#### Abfälle als Basis für neue Materialien

Am Fraunhofer IWKS sind organische Rest- und Abfallstoffe aus der Lebensmittelindustrie zunehmend als wertvolle Ressourcen und vielversprechende Ausgangsbasis für Materialien in den Fokus gerückt. Um diese Biomasse als Rohstoff durch intelligente Recyclingprozesse in einen nachhaltigen Stoffkreislauf einzubringen, arbeiten Forscherinnen und Forscher an effizienten Verfahren und Technologien.

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft und Ressourcenstrategie verfolgt die Forschung das Ziel, dass in einer Welt mit endlichen Ressourcen nur Produktionsverfahren mit einem hundertprozentigen Kreislauf fortgeführt werden sollen. Die Herausforderung für Industrie und Kommunen ist zum einen die hohe

Anforderung an die Qualitätseigenschaften der Rohmaterialien. Zudem müssen biobasierte Rohstoffe aus einem Verbund heraus isoliert und aufbereitet werden.

Die Nutzung von sekundären Reaktionsprodukten und Nebenprodukten macht darüber hinaus neue oder angepasste

- physikalische,
- chemische oder
- mikrobiologische

Trennungs- und Aufarbeitungsprozesse erforderlich.

Hier setzen die Forschungsarbeiten des Fraunhofer IWKS an. So wird beispielsweise an der Erschließung biogener Nebenprodukte zur Substitution erdölbasierter Polymere geforscht. Auch die Entwicklung von Extraktionsprozessen zur Gewinnung von biogenen Polymeren aus Nebenprodukten der Lebensmittelindustrie bildet einen Schwerpunkt der Abteilung Biogene Systeme.

Durch die chemische Modifizierung dieser Polymere für Biowerkstoffe, technische Celluloseprodukte und Beschichtungen konnte in einem Projekt eine Polymerschicht entwickelt werden, die für verschiedene Zwecke angewendet werden kann. Außerdem forschen die Wissenschaftler an der Entwicklung von biodegradierbaren Beschichtungen für Granulate von Langzeitdüngern und biobasierten Haftvermittlern zwischen Faser und Matrix in Bioverbundwerkstoffen.

Nicht zuletzt arbeiten die Forscher interdisziplinär und so runden die Analyse und Bewertung von Stoffströmen und Erarbeitung ressourceneffizienter Optimierungslösungen die Forschungsarbeiten des Bereichs ab.





# FORSCHUNGSSCHWERPUNKT REZYKLATANALYTIK



### Ganzheitliche Analytik

Verlässliche Analytik ist die Grundlage für Forschung und Produktentwicklung. Die Forscherinnen und Forscher der Abteilung Analytik am Fraunhofer IWKS qualifizieren Rezyklate und schaffen die Basis zur Entwicklung zukunftsfähiger Verwertungskonzepte, um Abfallströme wertschöpfend zurück in die Produktion zu führen. Mit wissenschaftlicher Sachkenntnis und langjähriger Erfahrung liefern die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verlässliche Untersuchungsergebnisse. Der interdisziplinäre Ansatz bietet dabei mehr als die Analyse einzelner Parameter: Bereichsübergreifend werden am Fraunhofer IWKS mit Kolleginnen und Kollegen aus der Biologie, der Chemie, der Physik oder auch Umweltwissenschaften komplexe Fragestellungen beantwortet.

Darüber hinaus werden Forschungsprojekte bis hin zum Übertrag in den industriellen Maßstab begleitet. Die moderne, umfangreiche Geräteausstattung umfasst neben anderen Technologien auch einen Atomsondentomographen. Stoffströme werden entlang des Materiallebenszyklus qualifiziert und schaffen so die Basis zur Entwicklung zukunftsfähiger Verwertungskonzepte für

- metallische,
- mineralische und
- biobasierte Rezyklate.

#### Diese sind beispielsweise

- Magnete,
- Batteriezellen,
- Schlacken und Aschen,
- pflanzliche Reststoffe aus der Lebensmittel- und Agrarindustrie.

#### Leistungsportfolio

#### Mikroskopie und Nanoanalytik

Mikro- und nanostrukturelle Eigenschaften entscheiden über die Funktionsweise von Produkten und Materialsystemen. Wir unterstützen Sie bei der Entwicklung und Optimierung von Herstellungsprozessen sowie bei der Untersuchung von Fehlerquellen.

#### Chemische Analytik und Strukturaufklärung

Die Kenntnis über vorliegende Elemente und chemische Verbindungen bildet die Grundlage für weiterführende Entscheidungen. Fragen wie "Werden Grenzwerte eingehalten?", "Wie hoch sind die Entsorgungskosten?", "Wie rein ist der Stoffstrom?", werden mit der Element- und Elementaranalytik beantwortet.

#### Analytik von Materialeigenschaften

Die Einsatzbereiche von Produkten und Materialien legen die an sie gestellten Anforderungen fest: Magnetisierbarkeit, thermische Stabilität, Partikelgröße und -form sind nur einige Beispiele. Wir charakterisieren Ihre Produkte und Materialien angepasst an Ihr individuelles Anforderungsprofil.

#### Kontakt

Dipl.-Ing. Konrad Güth Abteilungsleitung Rezyklatanalytik +49 6023 32039-868 konrad.gueth@iwks.fraunhofer.de



### FORSCHUNGSSCHWERPUNKT

# **KREISLAUFMANAGEMENT**



## Prozessoptimierungen, Verwertungskonzepte, Ökobilanzierungen, Lebenszykluskostenanalysen

#### Ganzheitliche Lösungen für die Industrie

Die Forscherinnen und Forscher unterstützen Kunden, durch die Erstellung systematischer Analysen von Prozessen, Stoffströmen sowie Zusammenhängen und Wechselwirkungen dabei, die Basis für eine ganzheitliche Betrachtung des Produktsystems und ein zukunftsfähiges Ressourcenmanagement zu schaffen.

Die Grundlagen hierfür bilden die Verwertungshierarchie, neuartige Kreislaufstrategien und Geschäftsmodelle, bei welchen Produktdesign, Verwertungsmöglichkeiten, Behandlung von Sekundärrohstoffen und Herstellerverantwortung eine grundlegende Rolle spielen.

#### Leistungsportfolio

- Prozessoptimierungen
- Verwertungskonzepte
- Ökobilanzierungen
- Lebenszykluskostenanalysen

Für die Steigerung von Nachhaltigkeit und Effizienz müssen die verschiedenen Lebensphasen eines Produkts nachvollzogen und um neue Technologien, Materialien und Konzepte ergänzt werden. Dazu beschreiben Forscherinnen und Forscher des IWKS Produktsysteme mit verschiedenen Prozesstypen und Details auf allen Ebenen in digitalen Modellen. Dies schließt Materialeigenschaften, technische Prozessparameter, Anwendungscharakteristika, Lieferketten und Geschäftsmodelle mit ein. Dazu wurde das flexible Multi-Property-Lifecycle-Analysis Tool entwickelt, das ein System nach Kriterien der Nachhaltigkeit, des Produktdesigns und der Prozesseffizienz bewertet und optimiert.

Neue Technologien, wie sie beispielsweise für das Recycling erst entwickelt werden, können integriert und hinsichtlich der Praktikabilität bewertet werden. Eine Analyse der Prozessketten und –parameter im Modell bildet die Grundlage für die quantitative Optimierung. Daraus ergeben sich technische Verbesserungen, die den Produktlebenszyklus im Sinne der Circular Economy optimieren (Funktionserhaltung, Design-for-Recycling, Infrastruktur, neue Technologien). Durch die Betrachtung abstrakter Prozesse und Hintergründe können außerdem neue Geschäftsmodelle für den Aufbau einer langfristigen Wirtschaftlichkeit abgeleitet (Effizienzsteigerung, neue Partner, digitale Services) werden.

Die prozess- und produktorientierte Ökobilanzierung gemäß den aktuellen Normen DIN EN ISO14040/44 ist entwicklungsbestimmend. Umweltbezogene Potenziale und Risiken können so bereits in frühen Entwicklungsstadien analysiert und Hotspots sowie Entscheidungsalternativen aufgezeigt werden. Ergänzend dazu ist die Betrachtung der Kosten innerhalb der Wertschöpfungskette entscheidend, die am IWKS durch eine prozessorientierte Lebenszykluskostenanalyse erfolgt.

#### Kontakt



Dr. Andrea Gassmann Abteilungsleitung Kreislaufmanagement +49 6023 32039-878 andrea.gassmann@iwks.fraunhofer.de

## FORSCHUNGSPROJEKTE

NeW-Bat – Neue energieeffiziente Wiederverwertung von Batteriematerialien

#### Zielsetzung

Lithium-lonen-Batterien sind eine Schlüsseltechnologie für die Energiewende. Durch den wachsenden Markt der Elektromobilität und den damit einhergehenden Anstieg der Altproduktstoffströme stellen diese Energiespeicher gleichermaßen eine wertvolle Rohstoffquelle dar. Ziel des Projekts "NeW-Bat" war die Entwicklung eines neuen energieeffizienten Recyclingverfahrens, basierend auf mechanischer und elektrohydraulischer Zerkleinerung, mit dem die einzelnen Batteriematerialien kostengünstig voneinander getrennt und aufbereitet werden können.

#### Ergebnisse

Anders als beim rein metallurgischen Recycling, haben die Partner des Projekts NeW-Bat im neuen Verfahren nicht nur die reinen Metalle, sondern auch die synthetisierten Basis-



Abb. 1: Pilotanlage zur elektrohydraulischen Zerkleinerung © Fraunhofer IWKS

materialien der Batterien zurückgewonnen. Mit der elektrohydraulischen Zerkleinerung (EHZ) (Abb. 1) und nachfolgender Sortierung ist es nun möglich, drei verschiedene Materialfraktionen zu separieren und aufzukonzentrieren.

Die gereinigten Metalle und Kunststoffe können direkt den üblichen Wertstoffkreisläufen zugeführt werden, während das hochreine Batterieaktivmaterial (Nickel-Cobalt-Manganoxid NCM, Nickel-Cobalt-Aluminiumoxid NCA, Lithium-Titanat-Oxid LTO) in einem thermischen Aufbereitungsschritt von Bindern und Kohlenstoffen abgetrennt wird. Mittels Röntgendiffraktometrie kann die für die Aktivmaterialien erwartete Phasenzusammensetzung kontrolliert und bestätigt werden.

Im Labormaßstab wurden anschließend aus dem recycelten Batteriematerial neue Elektroden hergestellt und in Testzellen untersucht. Alle betrachteten Elektrodenmaterialien sind nach der Behandlung elektrochemisch aktiv, unterscheiden sich jedoch deutlich in ihren spezifischen Kapazitäten. Für das feuchtigkeitsempfindlichere NCA ist der Wert mit ca. 50 mAh/g bei niedrigen Strömen deutlich geringer, verglichen mit den Ausgangsmaterialien (ca. 180 mAh/g). Untersuchungen an Referenzmaterialien belegen, dass die spezifische Kapazität mit zunehmender Wasserexpositionsdauer abnimmt und NCA deutlich feuchtigkeitsempfindlicher ist als NCM.

Weitere Entwicklungsarbeiten zeigten, dass mit einem Regenerierungsschritt (Kompensation des Lithiumverlusts im Wasser) bessere Ergebnisse erzielt werden können, dieser aber noch optimiert werden muss, um die spezifische Kapazität und elektrochemische Stabilität des Referenzmaterials zu erreichen. Für NCM (ca. 160 mAh/g) und LTO (ca. 165 mAh/g) dagegen liegt die spezifische Kapazität bereits

im erwarteten Bereich der Ausgangsmaterialien. Aber auch für diese Aktivmaterialien ist noch Entwicklungsarbeit bei der Elektrodenverarbeitung erforderlich, um die elektrochemischen Eigenschaften u. a. in Bezug auf Zyklenfestigkeit weiter zu verbessern.

#### Ausblick

Zum Abschluss des Vorhabens erfolgten Lebenszyklusanalysen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des neuen EHZ-Recyclingverfahrens sowie eines mit diesem kombinierten bestehenden Verfahrens des Partners Walch. Dabei sind die Investitions- und Betriebskosten der Verfahren dem ökonomischen Vorteil, der sich aus der Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen ergibt, gegenübergestellt. Durch die prozessspezifische Ökobilanzierung der direkten Verfahrensabläufe sowie der dabei eingesetzten Stoff- und Energieströme wurden die mit den Verfahren verbundenen Umweltauswirkungen analysiert. Die Untersuchung zeigt, dass durch die Integration der Recyclingverfahren eine Reduktion der spezifischen Kosten von über 10 % erreicht werden kann.

Dem Einsatz des gängigen mechanischen Zerkleinerungsverfahrens können gegenüber dem EHZ-Prozess im Rahmen der Datengenauigkeit marginale Kostenvorteile attestiert werden. Diese gehen aber zu Lasten einer niedrigen Ressourceneffizienz bezüglich der eingesetzten Sekundärrohstoffe. Eine Hot-Spot-Analyse ergab, dass die Betriebskosten des EHZ-Verfahrens durch Senkung der Systembetriebs- und Entsorgungskosten weiter reduziert werden können. Aus ökologischer Sicht ließen sich mit dem im Projekt NeW-Bat entwickelten Recyclingprozess künftig bis ca. 38 % des kumulierten Energiebedarfs und ca. 35 % CO2-Äquivalent im Vergleich zur Batterieherstellung aus Primärressourcen einsparen.



Abb. 2: Mit der elektrohydraulischen Zerkleinerungsanlage können Verbundmaterialien selektiv aufgetrennt werden. Hier Schwarzmasse aus Altbatterien. © Fraunhofer ISC

## FORSCHUNGSPROJEKTE

HyperBioCoat – Entwicklung einer neuen biobasierten und biologisch abbaubaren Beschichtung für Kunststoffverpackungen

#### Zielsetzung

Das Projekt HyperBioCoat zielte auf die Entwicklung einer neuen biobasierten und biologisch abbaubaren Beschichtung für Kunststoffverpackungen ab.

Heute werden sowohl Frischwaren als auch Convenience-Produkte häufig in Verpackungen verkauft. Hygienebestimmungen, lange Haltbarkeit und einfache Verfügbarkeit dieser verpackten Produkte bestimmen unseren Lebensstandard. Dies trägt jedoch wesentlich zur Umweltbelastung bei, da die Verpackungen hauptsächlich aus Kunststoffen bestehen.

Biologisch abbaubare Verpackungsmaterialien sind seit langem auf dem Markt. Allerdings gibt es strenge Auflagen, die eine breite Anwendung bei Lebensmittelverpackungen verhindern, da diese Materialien für mehrere Anwendungen nicht die gewünschten Eigenschaften aufweisen, wie z.B. eine ausreichende Barriere gegen Wasserdampf, Sauer-



Abb. 1: Apfelreste nach der Extraktion

stoff oder Aromen. Die Idee des Projekts war es daher, die Eigenschaften von Biokunststoffen durch eine biologisch abbaubare und nachhaltige Beschichtung für Lebensmittel, Kosmetika und medizinische Anwendungen zu verbessern. Wichtig war, dass die Rohstoffe der Beschichtung nicht mit der Nahrungsmittelproduktion konkurrieren.

#### Konsortium

Ein europäisches Konsortium von zwölf Partnern, das sich aus verschiedenen FuE-Einheiten und Unternehmen zusammensetzt, hat sich im Rahmen des HyperBioCoat-Projekts zusammengeschlossen. In diesem Projekt wird eine neue biobasierte und biologisch abbaubare Beschichtung für starre und flexible Kunststoffverpackungen untersucht und entwickelt.

Im Rahmen des Projekts arbeitete die Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS an der Extraktion und chemischen Modifikation bestimmter Polysaccharide, insbesondere Hemicellulose, als Basis für die neuen Beschichtungen. Für die Extraktion wurde, eine Extraktionsanlage im Pilotmaßstab und vorbehandelte Fruchtreste aus der Saft- oder Pektinproduktion, z. B. aus Äpfeln oder Himbeeren verwendet (Abb. 1).

Zur Extraktion von Hemicellulosen wurde der Extraktor mit Alkali oder heißem Wasser betrieben. Nach der Ausfällung der Hemicellulosen mit Alkohol werden diese an die hohen funktionellen Anforderungen der bioORMOCER®-Beschichtungen angepasst. Die hohe Verzweigung und damit Möglichkeit zur Modifikation ist prädestiniert, Hemicellulosen in weitere Beschichtungskonzepte zu integrieren.

Diese Beschichtung, die auf biobasierte Verpackungen aufgebracht wurde, verbesserte die Barriereeigenschaften von biobasierten Verpackungen, die bisher nicht ausreichend für eine breite Anwendung im Lebensmittelbereich waren. Die neue biobasierte Beschichtung erhöht auch die Haltbarkeit des Produkts und trägt zur Reduzierung der CO2-Emissionen bei, da alle für die Lacksynthese benötigten Vorprodukte auf erneuerbaren Materialien basieren.

Die chemische Verwertung von Hemicellulosen aus Nebenprodukten der Agrar- und Lebensmittelindustrie unterstützt
mehrere Ziele der europäischen Bioökonomiestrategie.
Sie schafft einen Mehrwert im Biogasbereich, denn die
Rückstände der Extraktion stellen einen zellstoffreichen
Rohstoff für etablierte Biogasanlagen dar. Die Vorextraktion
von Hemicellulose stärkt daher die Kaskadennutzung von
Biomasse. Die Hemicelluloseextraktion ist kompatibel mit
Phytoextraktionsverfahren auf Basis organischer Lösungsmittel oder CO2 und diversifiziert damit das Produktportfolio für Produzenten von Phytoextrakten und für regionale
Agro-Bioraffinerien.

Das von der Fraunhofer-Einrichtung IWKS und vom Fraunhofer ISC koordinierte Projekt wurde von BBI-JU im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 der Europäischen Union gefördert (Fördernr. 720736).

#### Ergebnisse

Das Fraunhofer IWKS bietet einen neuen Polymerrohstoff an, der ohne Beeinträchtigung des Recyclings oder der Kompostierbarkeit die Schutzwirkung von Kunststoffverpackungen erhöht. Er kann sowohl mit herkömmlichen als auch mit kompostierbaren Verpackungsmaterialien kombiniert werden. Statt aus Erdöl oder biobasierten Grundstoffen aus Mais oder Zuckerrohr gewinnen die Forscher ihren Rohstoff aus großen Nebenproduktströmen der Lebensmittelindustrie. Konkret wird aus Apfeltrestern ein Hemicellulose-Produkt extrahiert, das dank der verzweigten Polymerstrukturen für verschiedenste Anwendungen geeignet ist: von Beschichtungen, die Sauerstoff und Wasserdampf abschirmen, für Folien, Schalen und Flaschen aus Kunststoffen und Naturwachsen, über Lack- und Farbsysteme bis hin zu Papieradditiven oder Kosmetikartikeln, in denen das Polymerprodukt zur Steigerung der Reißfestigkeit bzw. zur Einstellung der Fließfähigkeit und zur Stabilisierung von Dispersionen und Emulsionen eingesetzt werden kann. Der Vorteil: Der Rohstoff ist biobasiert und biologisch abbaubar, steht nicht in Konkurrenz zur Lebensmittelindustrie, ist in ausreichender Menge vorhanden und als Nebenprodukt kostengünstig zu beziehen. Fundamental für den Einsatz in den diversen Materialsystemen ist die Tatsache, dass sich die verzweigten Polymerstrukturen vielfältig und wirtschaftlich chemisch modifizieren lassen.



Abb. 2: Apfeltrester dient als Ausgangsstoff

# **FORSCHUNGSPROJEKTE**

#### **DISPLAY**

## Aufskalierung - Prozesses zur Materialrückgewinnung aus Bildschirmgeräten und bestückten Leiterplatten

Ziel des Projektes ist es, aus bereits entwickelten Technologien eine innovative Prozesskette zu entwickeln und den industriellen Produktionsmaßstab zu erreichen, um wertvolle Materialien und Rohstoffe aus kleinen Displaygeräten wie Smartphones und Tablets sowie Leiterplatten (Printed Circuit Boards, PCBs) zurückzugewinnen. Diese Produkte stellen sehr komplexe Materialverbünde dar, die Polymere (25-40%), Glas (10-40%) und Metalle, einschließlich kritischer Elemente wie Indium, Gallium, Germanium etc. enthalten können. Die Verwertung erfolgt zumeist in Hochofenprozessen, mit denen zwar viele Metalle effektiv zurückgewonnen werden können, nicht jedoch die Polymere, das Glas und die gering konzentrierten kritischen Elemente.

Das Projekt DISPLAY beabsichtigt, eine technisch wie wirtschaftlich überzeugende Lösung für eine materialorientierte Demontage von Displaygeräten und PCBs durch die Kombination von elektrohydraulischer Zerkleinerung, spektroskopischer Sortierung und dem lösungsmittelbasierten CreaSol-



v®-Verfahren zu liefern. Dabei sollen die Einzelprozesse mit einem Technologiereifegrad (Technology Readiness Level, TRL) von derzeit 5 (Versuchsaufbau in Einsatzumgebung) zu einer Prozesskette verbunden und auf TRL 7 (Prototyp im Einsatz) gehoben werden. Die zu erzielenden Produkte sind hochwertiges Flachglas, technische Kunststoffe wie z. B. ABS oder PA sowie Metallkonzentrate, die für eine weitere Wertschöpfung in pyro- oder hydrometallurgische Prozesse eingebracht werden können. Dieser Ansatz wird die gesamte Materialrückgewinnung und die Wirtschaftlichkeit des Recyclingprozesses erhöhen, da ein deutlich höherer Prozentsatz dieser speziellen Elektroschrotte zu Sekundärrohstoffen verarbeitet und vermarktet werden kann.

#### AutoBatRec2020

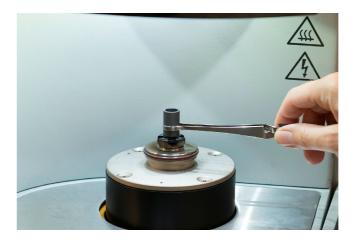
# Altbatterien aus E-Fahrzeugen intelligent wiederverwerten

Elektromobilität benötigt große Mengen an Traktionsbatterien. Allen voran die leistungsfähigen Lithium-lonen-Akkumulatoren. Für die Herstellung von Traktionsbatterien werden wertvolle Rohstoffe benötigt, die nach Lebensende der Batterien möglichst im Wertstoffkreislauf erhalten bleiben sollten. Dies erfordert eine geschlossene Recyclingkette inklusive erweiterbarer Logistiklösungen auch für die in naher Zukunft zu erwartenden wachsenden Batteriemengen. Im Forschungsprojekt »Automotive Battery Recycling 2020«, gefördert vom EIT RawMaterials mit Mitteln der EU, wird nun daran gearbeitet, ökologisch und ökonomisch vorteilhafte Wege für das effiziente Recycling von Batterien zu identifizieren und für die industrielle Anwendung aufzuskalieren. Die gesamte Recyclingkette soll so verbessert werden, dass die kostbaren Rohstoffe zurückgewonnen und so für die europäische Industrie gesichert werden.

#### NOVAMAG

# Novel, Critical Materials Free, Hich Anisotropy Phases for Permanent Magnets, by Design

Magnete mit den besten Eigenschaften basieren auf Seltenen Erden, wie Neodym, Dysprosium und Terbium, welche als kritische Rohstoffe betrachtet werden können. Zur Identifizierung neuer Legierungen wird im Projekt NOVAMAG ein interdisziplinärer Ansatz verfolgt, der das Fachwissen aus den Bereichen Physik, Chemie und Materialwissenschaft vereint. Es werden theoretische Vorhersagen zu Legierungen aus der Simulation mit Ergebnissen der experimentellen Methodik verifiziert, um neue potentielle hartmagnetische Phasen zu identifizieren. Es werden Screening-Methoden zur Identifikation von bisher unbekannten magnetischen Legierungen eingesetzt. Hierbei werden die strukturellen Eigenschaften auf atomistischer Längenskala und die magnetischen im mikroskopischen Maßstab charakterisiert. Die vielversprechendsten Legierungen sollen im Anschluss experimentell bestätigt und die Herstellung dieser Magnete im Technikumsmaßstab hergestellt werden. Eine Ökobilanzierung demonstriert die Nachhaltigkeit im Bezug auf die Kritikalität.



#### PRil

#### Vom Phosphor-Rezyklat zum Langzeitdünger

Vom Phosphorrezyklat zum intelligenten langzeitverfügbaren Düngemittel. Anstatt Phosphat abzubauen, ist es ökologisch und ökonomisch sinnvoll, Phosphat in großem Maße rückzugewinnen und es dem Kreislauf wieder zuzuführen. Zum Beispiel in Form von Düngemitteln. Unter der Leitung des Fraunhofer IWKS entwickeln die Forscher zusammen mit Industrieunternehmen einen Phosphat-Recyclingdünger aus Klärschlammasche. Basis ist das von der Firma Fritzmeier entwickelte P-Bac-Verfahren, welches nun in den industriellen Maßstab aufskaliert werden soll.



 $\mathbf{5}$ 



- [1] D. M. Amaya Dueñas, G. Chen, A. Weidenkaff, N. Sata, F. Han, G. Schiller, R. Costa, A. K. Friedrich, Synthesis and evaluation of the A-site deficient perovskite La0.65Sr0.3Cr0.85Ni0.15O3- δ as fuel electrode for high temperature co-electrolysis enhanced by in situ exsolution of ni nanoparticles, in ECS Transactions (Eds.: Eguchi K, Singhal S.C), Electrochemical Society Inc. **2019**, p. 1751.
- [2] B. I. Arias-Serrano, W. Xie, M. H. Aguirre, D. M. Tobaldi, A. R. Sarabando, S. Rasekh, S. M. Mikhalev, J. R. Frade, A. Weidenkaff, A. V. Kovalevsky, Exploring tantalum as a potential dopant to promote the thermoelectric performance of zinc oxide, Mater. **2019**, 12, DOI: 10.3390/ma12132057.
- [3] R. Auerbach, K. Bokelmann, R. Stauber, O. Gutfleisch, S. Schnell, S. Ratering, Critical raw materials Advanced recycling technologies and processes: Recycling of rare earth metals out of end of life magnets by bioleaching with various bacteria as an example of an intelligent recycling strategy, Minerals Engineering 2019, 134, 104, DOI: 10.1016/j.mineng. 2018.12.022.
- [4] R. Auerbach, S. Ratering, K. Bokelmann, C. Gellermann, T. Brämer, R. Baumann, S. Schnell, Bioleaching of valuable and hazardous metals from dry discharged incineration slag. An approach for metal recycling and pollutant elimination, Journal of environmental management 2019, 232, 428, DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.028.
- [5] C. Bubeck, M. Widenmeyer, G. Richter, M. Coduri, E. Goering, S. Yoon, A. Weidenkaff, Tailoring of an unusual oxidation state in a lanthanum tantalum(IV) oxynitride via precursor microstructure design, Commun. Chem. **2019**, 2, DOI: 10.1038/s42004-019-0237-x.
- [6] G. Chen, F. Buck, I. Kistner, M. Widenmeyer, T. Schiestel, A. Schulz, M. Walker, A. Weidenkaff, A novel plasma-assisted hollow fiber membrane concept for efficiently separating oxygen from CO in a CO2 plasma, Chem. Eng. J. 2020, 392, DOI: 10.1016/j.cej.2019.123699.
- [7] B. Fayyazi, K. P. Skokov, T. Faske, I. Opahle, M. Duerrschnabel, T. Helbig, I. Soldatov, U. Rohrmann, L. Molina-Luna, K. Güth, H. Zhang, W. Donner, R. Schäfer, O. Gutfleisch, Experimental and computational analysis of binary Fe-Sn ferro magnetic compounds, Acta Materialia 2019, 180, 126, DOI: 10.1016/j.actamat.2019.08.054.
- [8] M. Hämmer, A. Gassmann, A. Reller, H. von Seggern, O. Gutfleisch, R. Stauber, J. Zimmermann, Recyclable Phosphor Films: Three Water-Soluble Binder Systems Enabling the Recovery of Phosphor Powders in White LEDs, Journal of Electron Mater 2019, 48, 2294, DOI: 10.1007/s11664-019-06936-x.
- [9] M. Hämmer, A. Gassmann, A. Reller, H. von Seggern, O. Gutfleisch, R. Stauber, J. Zimmermann, Recyclable phosphorsheet based on polyvinyl alcohol for LED lighting using remote phosphor technology, Materials Technology **2019**, 34, 178, DOI: 10.1080/10667857.2018.1541213.
- [10] D. Horn, A. Gassmann, J. Zimmermann, R. Stauber, O. Gutfleisch, Battery Recycling: Focus on Li-ion Batteries, in Modern Battery Engineering (Ed.: P. K. Birke), World Scientific Publishing Co Pte Ltd. Singapore **2019**, p. 223.

- [11] J. Öhl, D. Horn, J. Zimmermann, R. Stauber, O. Gutfleisch, Efficient Process for Li-Ion Battery Recycling via Electrohydraulic Fragmentation, MSF **2019**, 959, 74, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.959.74.
- I. Poenaru, A. Lixandru, S. Riegg, B. Fayyazi, A. Taubel, K. Güth, R. Gauß, O. Gutfleisch, Ce and La as substitutes for Nd in Nd2Fe14B-based melt-spun alloys and hot-deformed magnets: a comparison of structural and magnetic properties, Journal of Magnetism and Magnetic Materials **2019**, 478, 198, DOI: 10.1016/j.jmmm.2019.01.095.
- [13] I. A. Radulov, V. V. Popov, A. Koptyug, F. Maccari, A. Kovalevsky, S. Essel, J. Gassmann, K. P. Skokov, M. Bamberger, Production of net-shape Mn-Al permanent magnets by electron beam melting, Additive Manufacturing 2019, 30, 100787, DOI: 10.1016/j.addma.2019.100787.
- [14] U. Rohrmann, K. Güth, J. Gassmann, R. Stauber, High sensitivity nanoscale characterization by local electrode 3-D atom probe microscopy, in European Metallurgical Conference EMC 2019, Vol. 4 (Ed.: U. Waschki), GDMB. Clausthal-Zellerfeld, Germany 2019, p. 1483.
- F. Sauer, B.-K. Choi, G. Beck, M. Wickleder, Recovery of tantalum from printed circuit boards: An overview of the IRETA project, World Metall. ERZMETALL **2019**, 72, 216.
- L. Schebek, O. Gutfleisch, J. Gassmann, J. Zimmermann, Materialkreisläufe der Energiewende: Potentiale, Techno logien, Nachhaltigkeit, in Recycling und Rohstoffe: Band 12 (Eds.: S. Thiel, O. Holm, E. Thomé-Kozmiensky, D. Gold mann, B. Friedrich), Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH 2019, p. 395.
- [17] A. Weidenkaff, Little precious lithium?, MRS Bull. 2019, 44, 917, DOI: 10.1557/mrs.2019.296.
- [18] G. Chen, W. Liu, M. Widenmeyer, P. Ying, M. Dou, W. Xie, C. Bubeck, L. Wang, M. Fyta, A. Feldhoff, A. Weidenkaff, High flux and CO2-resistance of La0.6Ca0.4Co1–xFexO3–Δ oxygen-transporting membranes, J. Membr. Sci. 2019, 590, DOI: 10.1016/j.memsci.2019.05.007.
- F. Chi, L. Wießner, T. Gröb, E. Bruder, S. Sawatzki, K. Löwe, J. Gassmann, C. Müller, K. Durst, O. Gutfleisch, P. Groche, Towards manufacturing of Nd-Fe-B magnets by continuous rotary swaging of cast alloy, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 2019, 490, 165405, DOI: 10.1016/j.jmmm.2019.165405.
- J. Öhl, D. Horn, J. Zimmermann, R. Stauber, O. Gutfleisch, Efficient Process for Li-lon Battery Recycling via Electrohydraulic Fragmentation, MSF **2019**, 959, 74, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.959.74.

# FÖRDERHINWEISE BIBLIOGRAFISCHES

# IN DEN MEDIEN FRAUNHOFER IWKS

#### Förderhinweise

#### Seite 42/43

Projekt NeWBat, gefördert im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme »r4- Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe«

#### Seite 44/45

HyperBioCoat-Projekt, gefördert von BBI-JU im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 der Europäischen Union (Fördernr. 720736)

#### Seite 46/47

Projekt Display, gefördert durch das EIT RawMaterials mit EU-Geldern

Projekt AutoBatRec2020, gefördert durch EIT RawMaterials – eine Knowledge and Innovation Community der EU

Projekt NOVAMAG (2016–2019), gefördert durch Horizon 2020

Projekt PRiL, gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

#### Bildnachweise, Rechtliches

Rainer Taepper: Seite 4, 5, 12, 13 Wolf-Dieter Gericke: Seite 14, 15

pabst&pabst GmbH, Christoph Pabst: Seite 8, 9, 23, 27, 31,

35, 3

Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie Seite: 20

GERRI Seite: 20

Bayerischen Staatskanzlei Seite: 20

Fraunhofer ISC, Katrin-Selsam Geißler: Seite 43 Fraunhofer IWKS: Seite 6, 17,18, 19, 25, 28, 29, 33, 37,

42, 44, 45, 47

brutto film/Shutterstock: Titelbild
Illus\_man/Hilch/Shutterstock: Seite 10, 11
Rainer Lesniewski/Shutterstock: Seite 10, 13, 15
NabillaJKT/Yanie/Shutterstock: Seite 16
LuckyStep/anttoniart/Shutterstock: Seite 21, 22
Illus\_man/Shutterstock: Seite 21, 26
anttoniart/Shutterstock: Seite 21, 30
LuckyStep/Shutterstock: Seite 21, 34
Derplan13/Shutterstock: Seite 21, 38
Inna Bigun/lurii Motov/Shutterstock: Seite 40
Daniel Jedzura/shutterstock: Seite 46
Ozabotok/Shutterstock: Seite 48

#### Fraunhofer IWKS im Social Web



Youtube

III A THE STATE OF THE STATE OF



Linkedin



Facebook





Fraunhofer IWKS im Web



Fraunhofer IWKS Website

#### **IMPRESSUM**

**REDAKTION** 

Nicole Klinger (verantwortlich) Qingli Zheng Jennifer Oborny

presse@iwks.fraunhofer.de

**BERICHTSZEITRAUM** 

1. Januar 2019 - 31. Dezember 2019

**LEKTORAT** 

Christine Giegerich

LAYOUT, SATZ UND PRODUKTION

Nicole Klinger Qingli Zheng

#### RECHTLICHE HINWEISE

Alle Rechte an Texten, Bildern und Darstellungen liegen beim Herausgeber, soweit nicht anders angegeben. In diesem Bericht wiedergegebene Bezeichnungen können Marken sein, deren Benutzung durch Dritte für deren Zwecke die Rechte der Inhaber verletzen kann.

#### **HERAUSGEBER**

Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS

Brentanostraße 2a 63755 Alzenau

Aschaffenburger Straße 121 63457 Hanau

Telefon 06023 32039-801 Internet www.iwks.fraunhofer.de E-Mail info@iwks.fraunhofer.de

Das Fraunhofer IWKS ist eine rechtlich nicht selbstständige Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.

Hansastraße 27c 80686 München

Geschäftsmodelle

#### **VORSTAND**

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer, Präsident, Unternehmenspolitik und Forschung Prof. Dr. Ralf Boris Wehrspohn, Technologiemarketing und

Prof. Dr. Alexander Kurz, Personal, Recht und Verwertung Dipl.-Kfm. Andreas Meuer, Finanzen und Digitalisierung DRUCK

Werbung & Druck
M. Kroeber GmbH
Vogelsbergstraße 5 - Altenhaßlau
63589 Linsengericht
Geschäftsführung: Jennifer Engering
Amtsgericht Hanau HRB 12993
www.druckerei-kroeber.com





#### PAPIER

FSC-zertifiziert, Der Blaue Umweltengel und EU Ecolabel Bei der Herstellung dieses Berichts haben wir auf die Verwendung von umweltfreundlichen Materialien besonderen Wert gelegt.

**AUFLAGE** 

150 Exemplare

ONLINE-AUSGABE DES JAHRESBERICHTS

www.iwks.fraunhofer.de/de/ueber-uns/jahresberichte