



Fraunhofer

MOLECULAR SORTING SZENARIEN FÜR DIE WELT VON ÜBERMORGEN



MOLECULAR SORTING
SZENARIEN FÜR DIE
WELT VON ÜBERMORGEN

INHALT

Geleitwort	3
Projektinformationen	4
Szenario-Methodik.....	9
Szenarien Molecular Sorting.....	19
Bedeutung der Szenarien	31
Nutzen des Szenario-Prozesses.....	32
Ansprechpartner	33
Impressum	35



GELEITWORT – SZENARIEN FÜR DIE WELT VON ÜBERMORGEN

Wie richtungssicher und zukunftsfähig ist unsere Forschung? Werden sich die heutigen Entwicklungen von Verfahren und Methoden zukünftig bewähren? Erforschen wir heute das Richtige für übermorgen? Mit Methoden der Szenarientechnik hat ein Fraunhofer-Projektteam gemeinsam mögliche Zukunftsbilder entwickelt und versucht, diese Fragen mit Blick auf die im Rahmen des Vorhabens »Molecular Sorting« entwickelten Techniken zu beantworten.

Die diesem Vorgehen zugrunde liegende Idee war, sich gemeinsam gedanklich nach »Übermorgen« zu versetzen und mit dem Wissensstand von 2030 die heute bearbeiteten Themengebiete und Verfahren kritisch zu betrachten. Das Ergebnis liegt nun in Form dieser Broschüre vor. Sie vereint eine Beschreibung des Prozesses mit insgesamt drei möglichen Zukunftsbildern, die in mehreren Workshops und zahlreichen weiteren Interaktionsschritten gemeinsam entwickelt wurden.

Die Zukunft beinhaltet Unsicherheiten und neue Erfahrungen, und das galt auch für den Prozess der Szenarienerstellung: Deutlich über die üblicherweise in Technologie-Entwicklungsvorhaben hinausreichende Ansätze waren für die meisten Teammitglieder methodisch ungewohnt und im Ergebnis überraschend. Dennoch: »So einen Foresight-Prozess hätten wir schon während der Antragsphase zu dem Projekt machen sollen!« – das war die einhellige Meinung der Mitarbeitenden im Märkte-von-übermorgen-Projekt. Einen großen Beitrag dazu lieferte neben der Bereitschaft des gesamten Teams, sich auf den Prozess einzulassen, die professionelle Begleitung durch das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI aus Karlsruhe.

Die nun vorliegende Broschüre soll Ihnen zum einen einen Eindruck über den Prozess verschaffen und zum anderen die Zukünfte beschreiben, die für »Molecular Sorting« mit Blick auf Ressourceneffizienz in unserer Gesellschaft im Jahr 2030 entwickelt wurden. Wenn Sie bei Ihnen die Wünsche weckt, einen Blick auf die Zukunft der Ressourceneffizienz werfen zu wollen und diese Zukunft mitzugestalten, dann hat sie ihren Zweck erfüllt.

Prof. Dr. Jörg Woidasky
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Projektleiter »Molecular Sorting«

PROJEKTINFORMATIONEN ZU MOLECULAR SORTING

Zurzeit werden weltweit jährlich etwa 60 Milliarden Tonnen Ressourcen verbraucht – mit steigender Tendenz. Ressourceneffizienz ist daher einer der wichtigsten Schlüssel für nachhaltige Entwicklung. Als Teil des Nachhaltigkeitskonzepts bildet Ressourceneffizienz ein wichtiges Element nationaler und internationaler Strategien, zum Beispiel auf der Ebene der UN, der Europäischen Union und in Deutschland.

Technisch wird Ressourceneffizienz vorrangig durch Materialsubstitution und kreislaufwirtschaftliche Ansätze in Forschung, Entwicklung und Praxis umgesetzt.

Die Fraunhofer-Gesellschaft fördert dazu im Rahmen ihres Programms »Märkte von übermorgen« mit dem Forschungsvorhaben »Molecular Sorting« eine methodenorientierte Technologie-Entwicklung. Ziel dieser Entwicklung ist es, mittel- bis langfristig die Wieder- und Weiterverwertung von Werkstoffen durch neue, leistungsfähige Trennprozesse bis auf molekulare Ebene nach der Herstellung oder Nutzung von Produkten zu ermöglichen.

Für die Entwicklung solcher Verfahren der »Kreislaufwirtschaft der nächsten Generation« haben sich insgesamt sieben Fraunhofer-Institute zusammengeschlossen. Anhand von ausgewählten Stoffströmen, den »Demonstratoren«, werden neue Methoden entwickelt und erprobt, die die Ressourceneffizienz steigern können. Die Methoden werden zunächst für Glas, Altholz, Metallsalzlösungen, heiße Gase, Schlacken aus der Müllverbrennung sowie Hybridbauteile entwickelt, sollen jedoch zukünftig auch für weitere Stoffströme Anwendung finden. Daher ist die Untersuchung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Stoffe und Branchen ein weiteres wichtiges Element der Technologieentwicklung.

Neben der Technologieentwicklung werden in dem Vorhaben ergänzende Bewertungsschritte durchgeführt: Zum einen werden die Umwelteffekte der Verfahren im Rahmen einer ökologischen Bewertung (LCA) bestimmt, zum anderen wird durch einen Szenarienprozess die Zukunftsfähigkeit der Technologien für die Märkte im Jahr 2030 untersucht.



DEMONSTRATOR ALTHOLZKASKADE

Identifizieren und Entschichten

Die nachhaltig erwirtschafteten Holzressourcen werden voraussichtlich weder in Deutschland noch in Europa den vorhergesagten Bedarf zur stofflichen und energetischen Nutzung in Zukunft decken können. Daher wird die Versorgung der Holzwerkstoff- aber auch der Papierindustrie mit recyceltem, reinem Holz immer wichtiger.

Die stoffliche Nutzung des Altholzes findet mit 20 Prozent in Deutschland derzeit fast ausschließlich in der Holzwerkstoffindustrie statt, während vergleichbare Länder wie zum Beispiel Italien ihren Anteil bis auf 70 Prozent gesteigert haben. Ein Grund liegt in den Beschränkungen der Altholzverordnung, die ohne weitere Sortierung nur die Nutzung von naturbelassenem oder mechanisch bearbeitetem Altholz erlaubt. Schwerer zu sortierende Fraktionen des Altholzes (Möbel und Abbruchholz) werden derzeit direkt der thermischen Verwertung zugeführt.

Ziel des Demonstrators ist es, Verfahren und Technologien zu entwickeln, die in Zukunft die nutzbare Menge der reinen Holzfraktion deutlich steigern und die am Holz haftenden Kontaminationen als Werkstoff zurückzugewinnen. Hierzu werden Detektions- wie auch Zerkleinerungs-, Trenn-, Sortier- und Aufreinigungsverfahren entwickelt, die die Sortenreinheit der gewonnenen Produkte deutlich steigern. Hierzu gehören Techniken zur Ablösung der Deckschichten, in denen der größte Teil der Kontaminationen konzentriert ist, und Online-Detektionsmethoden wie zum Beispiel NIR Spektroskopie und Ionen-Mobilitätsspektrometrie zur Erkennung, Unterscheidung und Separation kontaminierter Hölzer.

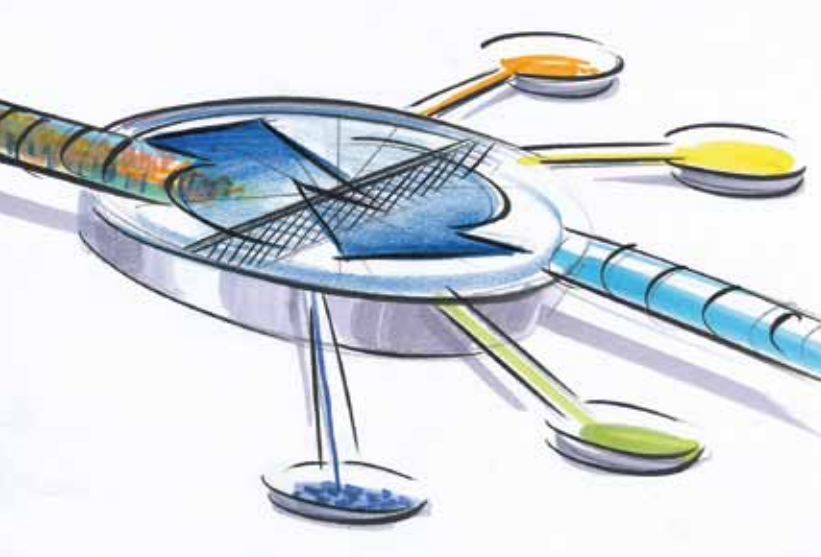


DEMONSTRATOR HOCHTRANSPARENTES GLAS

Sortieren in der Schmelze

Für Zukunftstechnologien wie die Photovoltaik und die Solarthermie sind Gläser erforderlich, die höchste Transparenz aufweisen und deshalb möglichst rein sein sollten. Die am meisten verbreitete Verunreinigung bildet Eisen, das schon in geringen Mengen die Lichtdurchlässigkeit von Glas erheblich senkt. Die Wachstumsdynamik dieser Zukunftstechnologien ist jedoch so groß, dass weder die natürlichen Eisen-freien Rohstoffquellen noch die Recyclingmenge zum Beispiel von »ausgedienten« PV-Modulen mit hochtransparenten Gläsern ausreichen, um den Bedarf der nächsten Jahrzehnte an hochtransparentem Flachglas zu decken. Hier bietet sich konventionelles Flachglas als Rohstoffquelle an, das bisher vor allem zu billigem Behälterglas oder Mineralwolle »downcycelt« wird. Ein Problem hierbei ist aber der zu hohe Eisengehalt.

Das Fraunhofer ISC in Würzburg und die zugehörige Projektgruppe IWKS in Alzenau entwickeln gemeinsam Verfahren, die das Eisen auf molekularer Ebene vom Glas trennen bzw. verbleibende geringste Eisengehalte in eine Spezies umwandeln, die die Transmission nicht mehr beeinträchtigen. Die Stofftrennung erfolgt bei rund 1500 Grad Celsius in der Glasschmelze. Vorteil beim Recycling von günstigem Flachglas sind die im Vergleich zu teuren und kaum noch verfügbaren eisenfreien Rohstoffen für die eisenarmen Gläser geringeren Kosten und die gute Verfügbarkeit.

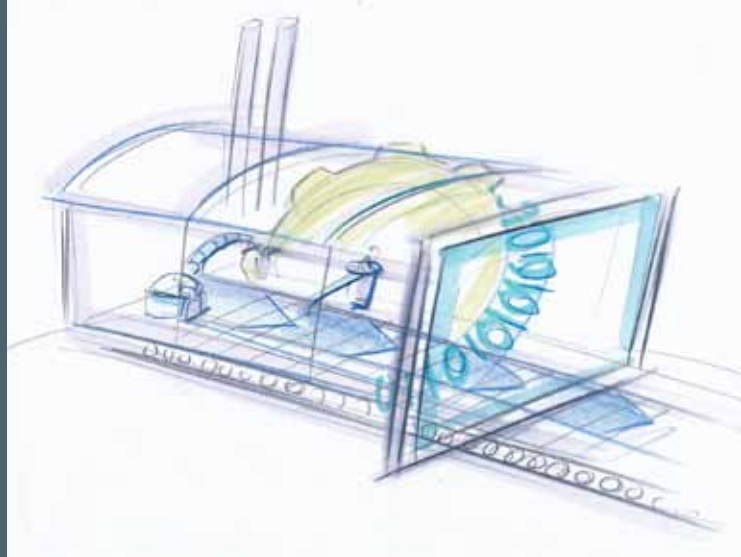


DEMONSTRATOR NIEDRIG KONZENTRIERTE METALLSALZLÖSUNGEN

Bioleaching und selektive Anreicherung

Prozessströme, die bereits eine Standardaufarbeitung durchlaufen haben, Deponiesickerwasser oder auch Laugungsbäder enthalten in der Regel nur geringe Mengen bestimmter Metalle. Diesen Metallen kann aufgrund des Wertes (Edelmetalle), der Verfügbarkeit (Seltene Erden) oder der Toxizität (Schwermetalle) trotzdem eine hohe Bedeutung zukommen. Bei solchen Stoffen können auch geringe Konzentrationen einen signifikanten Anteil an den zirkulierenden Mengen darstellen. Zum Schließen von Kreisläufen ist es deshalb gerade bei diesen Substanzklassen notwendig, auch niedrig konzentrierte Lösungen aufzuarbeiten und einer Verwertung zuzuführen. Für eine ökonomische Durchführung ist die Entwicklung innovativer Aufkonzentrierungs- und Trennkonzepte notwendig.

Ziel des Demonstrators ist die Entwicklung eines integrierten Prozesses, der aus drei Teilprozessen aufgebaut ist: selektive Auflösung, selektive Aufkonzentrierung und selektive Abtrennung. Hierzu werden verschiedene Technologien, wie Bioleaching, Adsorption, Membrantechnologie und elektrophysikalische Trennung (weiter) entwickelt. Der Demonstrator wird in enger Zusammenarbeit mit den anderen Demonstratoren durchgeführt, wobei ein intensiver Stoff- und Datenaustausch geplant ist. Um eine effektive und sortenreine Abscheidung der in ihrer Eigenschaft (u. a. Größe und Ladung) sehr ähnlichen Stoffe zu gewährleisten, ist eine Kombination von Prozessen nötig: Die elektrophysikalische Trennung beinhaltet eine Klassierung der Ionen durch ein Free-Flow-Elektrophoreseverfahren sowie eine nachfolgende galvanische Abscheidung an Elektroden in wässrigen und nicht wässrigen Medien.



DEMONSTRATOR HEISSGASFILTRATION

Keramische Filter und Adsorbentien

Der Demonstrator »Heißgasfiltration« adressiert das Thema der selektiven Abscheidung von Wertstoffen in Prozessen, die mit einer Abgasbildung bei hohen Temperaturen verbunden sind. Der Markt für Abgasreinigung ist aktuell im Wesentlichen unterteilt in Abgasreinigung für die Energietechnik (Kohle/Biomasse/Müllverbrennung/Vergasung) und sonstige industrielle Abgasreinigung. Gegenwärtig steht die Abreinigung von Schadstoffen im Mittelpunkt, um Umweltgrenzwerte einzuhalten oder Anlagentechnik zu schützen. Abgeschiedene Stäube aus Müll- und Sondermüllverbrennungsanlagen (ca. 1 Million Tonnen mit starken Steigerungsraten) werden dagegen kaum verwertet, obwohl sie beträchtliche Mengen an Zn, Pb, Cu, Cr und Ni enthalten.

Bis zu 30.000 Tonnen Feinstaub aus Industrieprozessen gelangen in Deutschland gegenwärtig noch in die Umwelt. Eine integrierte Zurückhaltung von Wertstoffen wird nur in wenigen Fällen praktiziert, zum Beispiel bei der Katalysatorrückgewinnung aus Wirbelschichtprozessen oder der Nanopartikelerzeugung (Ruß, pyrogene Kieselsäure). Das Ziel im Rahmen des Projektes besteht nun darin, auf energetisch effizientem Weg Wertstoffe in Heißgasprozessen selektiv so abzuscheiden oder aufzukonzentrieren, dass sie nach einer entsprechenden Aufbereitung möglichst in Primärproduktqualität wieder in den Produktionskreislauf eingebracht werden können. Dazu sind insbesondere material-, fertigungs- und prozesstechnische Aufgaben zu lösen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt ist die Entwicklung von heißgasfähigen Sensoren, die eine Überwachung des Prozesses dauerhaft sicherstellen sollen.



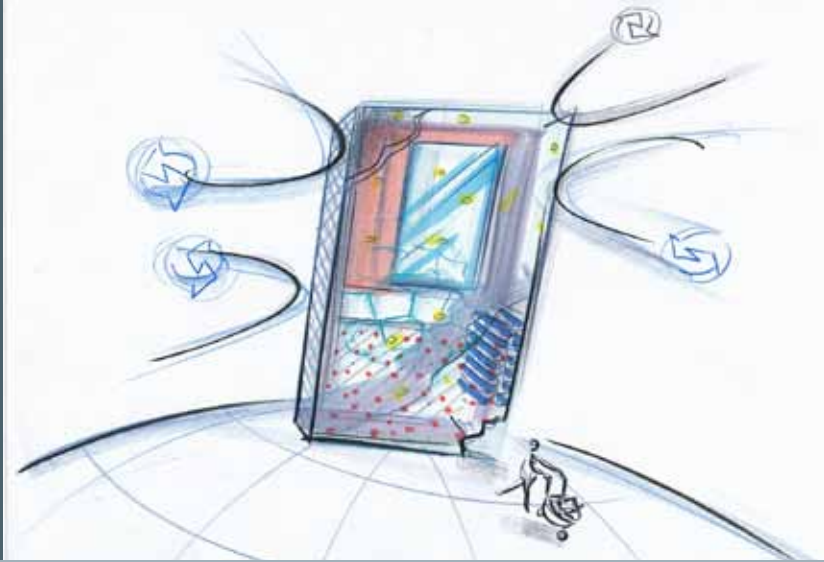
DEMONSTRATOR MVA-SCHLACKEN

Durch Trennung zur Wertschöpfung

Schlacken aus Müllverbrennungsanlagen (MVA-Schlacken) sollen mit innovativen Recyclingverfahren so aufbereitet werden, dass die einzelnen Schlackenbestandteile voneinander getrennt und separiert werden können. Damit lassen sich zum Beispiel Eisenschrott und NE-Metalle aus Schlacken effizienter zurückgewinnen.

Am Fraunhofer IBP werden MVA-Schlacken mithilfe der »elektrodynamischen Fragmentierung« aufbereitet. Dieses Verfahren beruht auf dem Prinzip, dass bei ultrakurzen Unterwasserentladungen ein Blitz nicht durch das Wasser, sondern bevorzugt durch den Festkörper entlang von Phasengrenzen verläuft. Das Material wird dadurch selektiv aufgetrennt. Dieses Verfahren besitzt gegenüber mechanischen Verfahren mehrere Vorteile: Das Material wird nicht durch äußere Kräfte zerkleinert, sondern durch innere »Elektroexplosionen«. Es entstehen keine Stäube. Da keine Mahlwerkzeuge existieren, entfallen Verschleißprobleme, wie sie bei mechanischen Methoden auftreten.

In einer Machbarkeitsstudie konnte bereits gezeigt werden, dass sich MVA-Schlacken mithilfe der elektrodynamischen Fragmentierung in einzelne Mineralphasen auftrennen und separieren lassen.



DEMONSTRATOR HYBRIDBAUTEILE

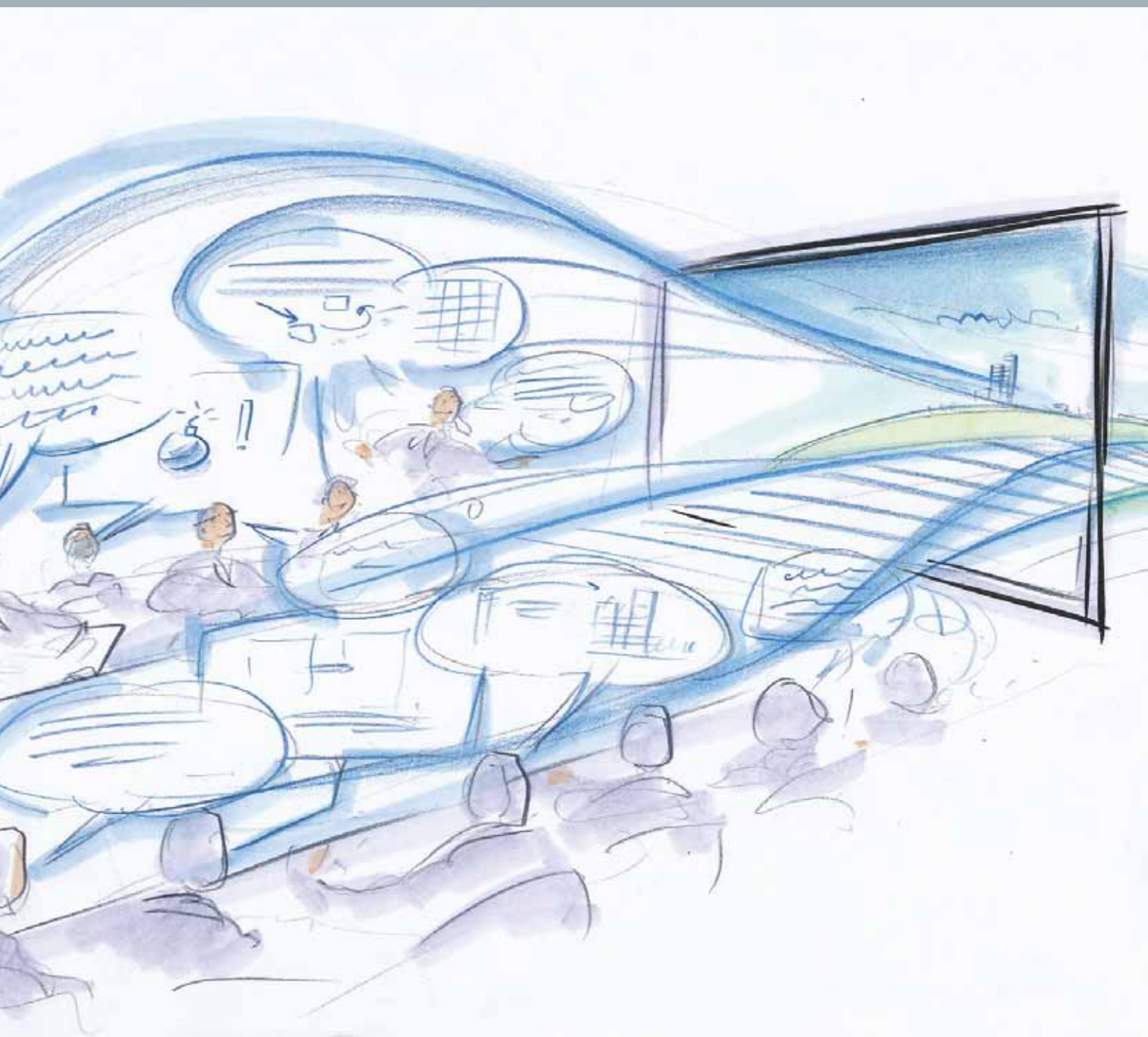
Separation und Eco-Design

Längst werden in vielen technischen Bereichen Bauteile bzw. Bauteilgruppen eingesetzt, die sich in ihrer Zusammensetzung als Hybride erweisen. Nicht immer gelingt es, die in ihrer Funktion optimal zusammenpassenden Komponenten von Hybridbauteilen nach ihrer Produktlebensphase in wiederverwertbare Werkstofffraktionen aufzutrennen und einer sinnvollen Verwertung zuzuführen.

Ziel ist es daher, im Rahmen dieses Projektes Hybridbauteile, aus dem Fahrzeug-, Luftfahrt- oder dem Windkraftanlagenbau einer ganzheitlichen und nachhaltigen Betrachtung zu unterziehen. Dabei werden unter gleichzeitiger Berücksichtigung von entsprechend angepassten Recycling- und Bauteil- Herstellungstechnologien Richtlinien zur Werkstoff- und Produktgestaltung von Hybridbauteilen erarbeitet und diese experimentell verifiziert.

Zur Erarbeitung von Richtlinien zur nachhaltigen Werkstoff- und Produktgestaltung von Hybridbauteilen wird vom Stand der Technik bei Hybridbauteilen hinsichtlich ihrer Herstellung und Rezyklierbarkeit ausgegangen. Über die Phasen der Soll/Istanalyse und die Handlungsbedarf-Definition für den Lösungsweg wird der Kern-Arbeitsbereich des Teilprojektes, die Entwicklung alternativer Lösungen, adressiert. Nach Erstellung und Optimierung des Gesamtkonzeptes für eine ausgewählte Bauteil-/Werkstofftechnologie sowie Recyclingtechniken münden die Arbeiten in die Erstellung von Richtlinien zur Werkstoff- und Produktgestaltung als Handlungshilfen für Anwender aus den angesprochenen Branchen.

MOLECULAR SORTING
SZENARIEN FÜR DIE
WELT VON ÜBERMORGEN



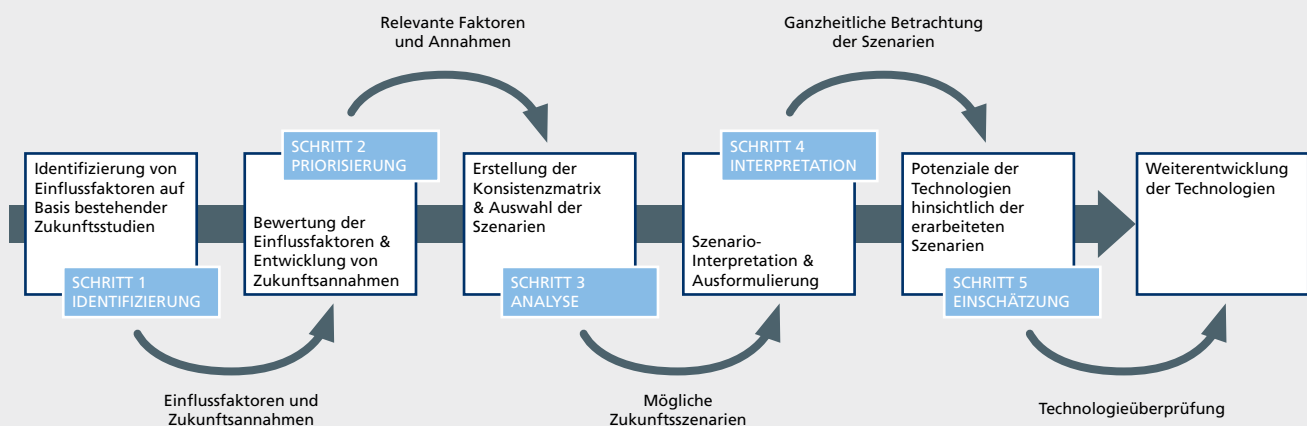
METHODIK ZUR SZENARIENERSTELLUNG

Viele strategische Entscheidungen basieren auf Zukunftseinschätzungen. Wie wird aber die zukünftige Welt aussehen? Wodurch wird sie geprägt? Um diese Fragen zu beantworten, ist es wichtig, sich mit der Zukunft bereits heute auseinanderzusetzen. Hierfür kann die Szenario-Methode eingesetzt werden, ein langjährig erprobtes Instrument der Zukunftsforschung für den bewussten Umgang mit Unsicherheiten.

Auch wenn die Zukunft nicht genau planbar ist, können mithilfe der Szenario-Methode plausible und begründbare Zukunftsbilder, die sogenannten Szenarien, entwickelt werden. Dabei werden die zukunftsrelevanten Einflussfaktoren berücksichtigt, die ein System nicht nur von innen, sondern auch von außen prägen. Einige der Einflussfaktoren weisen eine eindeutige Entwicklungsrichtung auf, für andere werden alternative Zukunftsannahmen aufgestellt. Durch die zeitliche Erweiterung des Horizonts entstehen auf der Grundlage der erstellten Szenarien bereits heute Ideen über die Bedürfnisse in einer zukünftigen Welt. Vor diesem Hintergrund werden Handlungsmaßnahmen konzipiert oder Investitionsentscheidungen getätigt.

Dabei wird die Robustheit bisheriger Strategien überprüft bzw. neue Strategien werden rechtzeitig entwickelt. Das globale Umfeld der Ressourceneffizienz ist durch viele Akteure mit unterschiedlichen Interessen sowie preis- und regulationsgetriebenen Anreizen gekennzeichnet, die dazu führen, dass viele Unsicherheiten Zukunftsannahmen erschweren. Gerade dann lohnt sich die Erforschung der Zukunft, da die Komplexität der Unsicherheiten und deren Zusammenhänge sowie deren mögliche Entwicklungen systematisch analysiert und diskutiert werden können und das Ergebnis Überblickswissen generiert. Die Szenario-Methode ist eine speziell für diese Anforderungen entwickelte Methode der Zukunftsforschung und gut geeignet, heterogene quantitativ und qualitativ

Arbeitsschritte für die Szenarioentwicklung und Technologieeinschätzung.



MOLECULAR SORTING SZENARIEN FÜR DIE WELT VON ÜBERMORGEN

Im Rahmen der Metaanalyse identifizierte Einflussfaktoren.



■ sehr hohe Relevanz

■ hohe Relevanz

■ niedrige Relevanz



Der Wahrnehmungsbereich wird erweitert.

beschreibbare Entwicklungen ganzheitlich zu berücksichtigen. Da hohe Unsicherheiten und viele alternative Entwicklungsmöglichkeiten eine höhere Flexibilität und Robustheit verlangen, wurde vor dem Hintergrund der Szenarien untersucht, welchen Beitrag die im Rahmen des Molecular-Sorting-Projekts zu entwickelnden Technologien zukünftig leisten können.

Für die Betrachtung längerfristiger Entwicklungen wurde der Zeithorizont 2030 ausgewählt. Das Projekt wurde in einem mehrstufigen Prozess durchgeführt: Zunächst wurden die globalen Entwicklungen analysiert. Im Anschluss daran wurden auch technologienahe Entwicklungsmöglichkeiten

betrachtet. Die zwei Ebenen wurden im Rahmen der Konsistenzanalyse miteinander in Zusammenhang gebracht. Auf dieser Basis wurden drei Szenarien entwickelt, die unterschiedliche Rahmenbedingungen für die Anwendung der Technologien beschreiben.

Die eigentliche Szenarienentwicklung verlief in vier Schritten, unter Einbindung projektinternen und -externen Wissens. Im fünften Schritt erfolgte die Einschätzung des zukünftigen Potenzials der Technologien.

SCHRITT 1 – IDENTIFIZIERUNG VON EINFLUSSFAKTOREN UND ZUKUNFTSANNAHMEN

Einflussfaktoren sind relevante Faktoren, die den Betrachtungsgegenstand, hier die Kreislaufwirtschaft, in hohem Maße heute und in der Zukunft beeinflussen. Um den Wahrnehmungsbereich zu erweitern, wurde zunächst auf das bereits existierende externe Wissen zugegriffen, das heißt auf die unterschiedlichen Zukunftsstudien aus den relevanten Bereichen, wie Szenarien, Roadmaps oder Trendstudien.

Das komplexe Umfeld der zu entwickelnden Technologien wurde auf zwei Ebenen untersucht: auf der globalen Ebene, als Kontext für alle Technologien, sowie auf der Ebene der Demonstratoren, als Umfeld einer konkreten Technologie.

Im Zuge der Metaanalyse von über 70 Zukunftsstudien wurden insgesamt über 60 Einflussfaktoren identifiziert.

Basierend auf den Interviews mit projektexternen Experten wurde die Relevanz der Faktoren für die Problemstellung bewertet und die Anzahl der Faktoren, und damit auch die Komplexität, reduziert.

Die ausgewählten Einflussfaktoren wurden genauer beschrieben, wodurch sie einen fassbaren, gut verständlichen, qualitativen oder quantitativen Charakter bekamen. Anschließend wurden sie in zweierlei Hinsicht betrachtet: Zum einen wurde ihr heutiger Zustand beschrieben. Zum anderen wurden ihre zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten in Form von Zukunftsannahmen formuliert und begründet. Dabei unterscheidet man zwischen den (in einem gewissen Zeitraum) sicheren Entwicklungen sowie unsicheren Entwicklungen, die als Alternativ-Annahmen erarbeitet werden.

MOLECULAR SORTING SZENARIEN FÜR DIE WELT VON ÜBERMORGEN

Priorisierte Einflussfaktoren mit dem Istzustand und den Zukunftsannahmen.

Nr.	Faktor	IST	Annahme A	Annahme B	Annahme C
1	Werte in der Gesellschaft und Politik	Hohes Bewusstsein der Konsumenten ohne konkretes Handeln, preisgetrieben	Hohes Bewusstsein der Konsumenten ohne konkretes Handeln, preisgetrieben (Status quo)	Nachhaltigkeit wichtiger als Gewinn / Output mit nötiger Verhaltensänderung	Kostendruck ist ausschlaggebend; kein Nachhaltigkeitsbewusstsein
2	Werte des Unternehmens	Gewinnorientiert, Nachhaltigkeitsaspekte nicht ausschlaggebend	Hohes Bewusstsein der Konsumenten ohne konkretes Handeln, Gewinnorientierung (Status quo)	Nachhaltigkeitsaspekte sind ausschlaggebend	Kostendruck ist ausschlaggebend; kein Nachhaltigkeitsbewusstsein
3	Produktionsformen	Produktion nicht immer auf dem Stand der Technik	Implementierung der verfügbaren Technologien nach dem Stand der Technik	Nachhaltige Produktionsformen etabliert, effizienter Technologietransfer in die Produktion	Produktion nicht immer auf dem Stand der Technik
4	Entwicklung der Rohstoffpreise	Steigende Preise / schwankende Preise	Anstieg bei vorhersehbaren Schwankungen bezüglich Frequenz und Amplitude	Anstieg bei unvorhersehbaren Schwankungen bezüglich Frequenz und Amplitude	
5	Strategische und operative Verfügbarkeit von Rohstoffen	Rohstoffe am Markt verfügbar	Verknappung und Abhängigkeit	Autarkie wird gefördert	
6	Abfallaufkommen	Abfall EU 27 (2009) 260 Mio. t: 95 Mio. t recycelt, 55 Mio. t verbrannt, 100 Mio. t deponiert ¹	Geringeres Abfallaufkommen (Vermeidungsstrategien erfolgreich)	höheres Abfallaufkommen	Stagnation des Abfallaufkommens und heterogene Entwicklung der Zusammensetzung
7	Recycling	Stoffliche und thermische Verwertung	Weiterhin überwiegend Downcycling aber höhere Recyclingquoten	Verstärktes Kaskadensystem für verlangsames Downcycling	Upcycling größtenteils realisiert
8	Globaler Ressourcenverbrauch	2010: ca. 60 Mrd. t ²	2030 ca. 105 Mrd. t		
9	Energiemix	Erneuerbare Energien 15 %, fossile Energieträger 70 %, Kernenergie 15 % ³	Szenario »Business as usual«, erneuerbare Energien 15 %, fossile Energieträger 70 %, Kernenergie 15 % ⁴	Anteil an erneuerbaren Energien auf über 30 % angestiegen ⁵	
10	CO ₂ -Emissionspreis	2012 ca. 7 Euro/Tonne ⁶	Preis deutlich gestiegen	Preis ist gesunken; Emissionshandel ist nicht mehr aktuell	
11	Rechtliche Regulation für Produkte und Technologien in den EU-Ländern	Unterschiedlich, different (EU) in der Umsetzung; Bestrebungen zur Harmonisierung haben zugenommen	Unterschiedlich in der Umsetzung mit Bestrebungen zur Harmonisierung (Status quo)	Harmonisierung erfolgreich umgesetzt	
12	Design von Hybridbauteilen	Funktionsintegration ohne Berücksichtigung von Recyclingaspekten	Funktionsintegration ohne Berücksichtigung von Recyclingaspekten (Status quo)	Erweiterung der Designvorgaben im Sinne Design2Recycling (zum Beispiel Sourcing, Handling/Sicherheit)	
13	Recycling von Hybridbauteilen / Verbundwerkstoffen	Eher Downcycling als Recycling, Verbundwerkstoffe (zum Beispiel Gipskartonplatte) größtenteils Deponierung	Mengenzunahme: kein effizientes Aufarbeiten möglich (thermische Verwertung oder Export (Status quo))	Mengenzunahme: vollständiges Wiederverwerten durch effiziente Trennverfahren	Mengenzunahme: kein vollständiges Trennen; vermehrte Kaskadennutzung, neue Verwertungswege (Re-Use)
14	Metalllösungen (zum Beispiel aus Recyclingprozessen)	Überwiegend gute Verfügbarkeit, teilweise hohe Recyclingquoten, unvollständige Kreisläufe	Höheres Aufkommen an Metalllösungen, teilweise hohe Recyclingquoten, unvollständige Kreisläufe (Status quo)	Hohes Aufkommen an Metalllösungen, verstärkte Dissipation	Hohes Aufkommen an Metalllösungen, Schließung der Kreisläufe
15	Konsum von Holzprodukten	Markt für Holzwerkstoffe befindet sich im Wachstum	Markt für Holzprodukte im Wachstum (Status quo)	Holzverbrauch stagniert	
16	Holzrecyclingquote (stark politisch reguliert)	D: 20 % stoffliche Nutzung, 80 % energetische Nutzung, stagnierend; EU: indifferent ⁷	Erhalt des Status quo	Stoffliche Nutzung gestiegen	Energetische Nutzung gestiegen
17	Germaniumverbrauch	2009: 140 t weltweite Förderung (davon 71 % China) ⁸	Stark erhöhter Verbrauch	stagnierende / konstante Nachfrage	
18	klassische Zinkförderung	Fördermenge 2011: 1204 Mio. t, davon 70 % aus Primärförderung ⁸	Rückgang der klassischen Zinkförderung	konstante Zinkförderung	
19	Klärschlammverwendung	Verbrennung von Klärschlamm zunehmend, >50% (davon 50% Mono)	höherer Anteil der Monoverbrennung	höherer Anteil der Mitverbrennung	
20	Flachglasherstellung	Ineffektive Oxidationsmittel (Co, Sb, Mn), kaum Recycling bedingt durch die heterogene Zusammensetzung des Materials und wenig wirtschaftliche sowie gesetzliche Anreize	keine konkurrenzfähige Technologie (Status quo)	konkurrenzfähig durch Technologieoptimierung	
21	Behälterglas	Zunehmende Verunreinigung (Cd, Hg, Pb)	Steigende Verunreinigung / Vermischung trotz Öffentlichkeitsarbeit	massive Verunreinigung (Downcycling)	



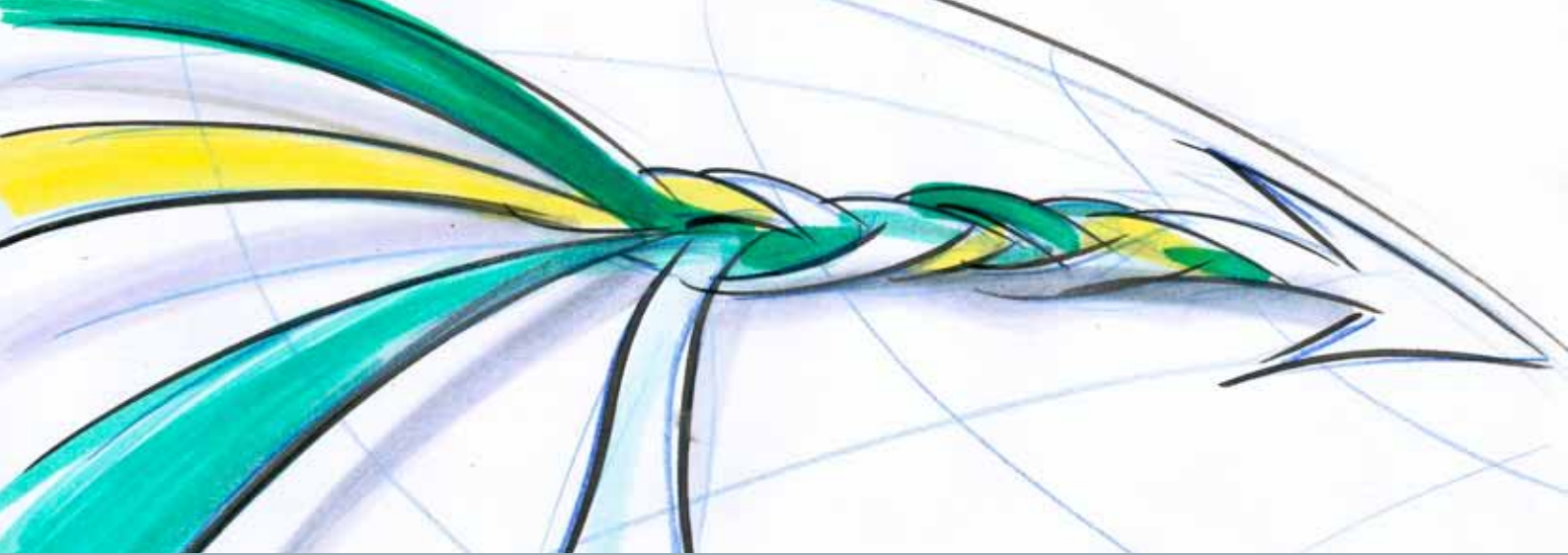
Die Komplexität wird reduziert.

SCHRITT 2 – BEWERTUNG DER EINFLUSSFAKTOREN UND ENTWICKLUNG VON ZUKUNFTSANNAHMEN

Ein Kernbestandteil des Szenario-Prozesses war der »Sprung in die Zukunft« in Form eines Workshops, bei dem es zunächst darum ging, die zuvor identifizierten Einflussfaktoren hinsichtlich der Relevanz für die einzelnen Demonstratoren zu priorisieren und für die weitere Analyse auszuwählen. Die identifizierten Zukunftsannahmen wurden diskutiert und häufig auch neu formuliert. Der stark partizipative Workshop-Ansatz ermöglichte die Nutzung des internen Wissens der Projektbeteiligten.

Die Workshop-Teilnehmer haben insgesamt 21 Einflussfaktoren mit einer bis drei Zukunftsannahmen pro Faktor als Basis für die Szenariointerpretation identifiziert. Ein kreatives Element des Szenario-Workshops war die interaktive Visualisierung von Zukunftsannahmen, die nicht nur die Aufnahmebereitschaft und -kapazität der Gruppe erhöhte, sondern auch einer Fokussierung auf die wesentlichen Informationen diente. Zahlreiche Zeichnungen, die während der Workshops entstanden sind, wurden in diese Broschüre aufgenommen.

1 Updated ETC/SCP working paper GHG emissions from municipal waste management, 2010, European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production
 2 Living planet report, 2012, WWF
 3 Energy Statistics Division 08/2011, 2011, International Energy Agency (IEA)
 4 Background on energy in Europe (Information prepared for the European Council), 2011, European Commission
 5 iTREN: Integrated transport and energy baseline until 2030, 2010, ISI Fraunhofer
 6 Roadmap for sustainable manufacturing research, 2010, ISM2020
 7 Energie aus Biomasse, 2009, Martin Kaltschmitt et al.
 8 Kritische Rohstoffe für Deutschland, 2011, IZT Berlin



Bündelung der Zukunftsannahmen zu Szenarien.

SCHRITT 3 – KONSISTENZANALYSE UND AUSWAHL DER SZENARIEN

Basierend auf einer Konsistenzprüfung wurden in einem Konsistenz-Workshop paarweise Konflikte und Synergien zwischen den Zukunftsannahmen verschiedener Einflussfaktoren analysiert und durch einen Konsistenzwert beschrieben. Der Konsistenzwert stellt das Ausmaß dar, in welchem sich die zwei Annahmen gegenseitig ausschließen oder vertragen. Die Werteskala verlief von »-2« (starke Inkonsistenz) bis »+2« (starke Konsistenz). Den paarweisen Kombinationen mit einer neutralen Wechselbeziehung zwischen den betrachteten Annahmen wird ein Konsistenzwert von 0 zugeordnet. Die Konsistenzwerte aller Kombinationen von Annahmen unterschiedlicher Einflussfaktoren wurden in einer Konsistenzmatrix zusammengestellt. Dabei wurden nur diese Einflussfaktoren betrachtet, die unsichere Entwicklungen aufweisen.

Die Konsistenzanalyse umfasst die Überprüfung aller möglichen Annahmebündel auf Widerspruchsfreiheit. So wird die Gesamtkonsistenz für jede Kombination der Annahmen mithilfe eines Rechenalgorithmus ermittelt. Aus diesen An-

nahmebündeln sind zwei bis fünf Bündel als Grundlage für die Szenariointerpretation auszuwählen. So entstehen die sogenannten Rohszenarien. Die ausgewählten Annahmebündel sollen nicht nur in sich konsistent sein, sondern sich auch voneinander deutlich unterscheiden. Zur Erfüllung der zweiten Bedingung wurde hier eine Clusteranalyse hinzugezogen. Um effektiv mit den Szenarien arbeiten zu können, ist es sinnvoll, eine kleinere Anzahl an deutlich unterschiedlichen Szenarien auszuwählen. Häufig werden auch die Extremvarianten der Zukunft betrachtet, um den Möglichkeitsraum aufzuspannen, sowie weitere charakteristische Szenarien.

In einem Expertenworkshop wurden die Ergebnisse des Rechenalgorithmus interpretiert und diskutiert. Von der Vielzahl der möglichen konsistenten Annahmen-Kombinationen wurden drei in sich schlüssige Rohszenarien ausgewählt, die durchaus unterschiedliche Zukünfte beschreiben. Jedem Szenario wurde eine weitere Annahme zur Entwicklung des globalen Ressourcenverbrauchs hinzugefügt, die als sichere Entwicklungsmöglichkeit für alle Szenarien gilt.

**Kombination der Zukunftsannahmen für die drei Rohszenarien
zur Beschreibung des zukünftigen Umfelds der Ressourceneffizienz.**

Nr.	Faktor	Annahme A	Annahme B	Annahme C
1	Werte in der Gesellschaft und Politik	Hohes Bewusstsein der Konsumenten ohne konkretes Handeln, preisgetrieben (Status quo)	Nachhaltigkeit wichtiger als Gewinn/Output mit nötiger Verhaltensänderung	Kostendruck ist ausschlaggebend; kein Nachhaltigkeitsbewusstsein
2	Werte des Unternehmens	Hohes Bewusstsein der Konsumenten ohne konkretes Handeln, Gewinnorientierung (Status quo)	Nachhaltigkeitsaspekte sind ausschlaggebend	Kostendruck ist ausschlaggebend; kein Nachhaltigkeitsbewusstsein
3	Produktionsformen	Implementierung der verfügbaren Technologien nach dem Stand der Technik	Nachhaltige Produktionsformen etabliert, effizienter Technologietransfer in die Produktion	Produktion nicht immer auf dem Stand der Technik
4	Entwicklung der Rohstoffpreise	Anstieg bei vorhersehbaren Schwankungen, gleich Frequenz und Amplitude	Anstieg bei unvorhersehbaren Schwankungen bezüglich Frequenz und Amplitude	
5	Strategische und operative Verfügbarkeit von Rohstoffen	Verknappung und Abhängigkeit	Autarkie wird gefördert	
6	Abfallaufkommen	Geringeres Abfallaufkommen (Vermeidungsstrategie erfolgreich)	höheres Abfallaufkommen	Stagnation des Abfallaufkommens und heterogene Entwicklung der Zusammensetzung
7	Recycling	Weiterhin überwiegend Downcycling aber höhere Recyclingquoten	Verstärktes Kaskadensystem für verlangsames Downcycling	Upcycling größtenteils realisiert
8	Globaler Ressourcenverbrauch	2030 ca. 105 Mrd. Tonnen		
9	Energiemix	Szenario »Business as usual«, erneuerbare Energien 15 %, fossile Energieträger 70 %, Kernenergie 15 %	Anteil an erneuerbaren Energien auf über 30 % ansteigen	
10	CO ₂ -Emissionspreis	Preis deutlich gestiegen	Preis ist gesunken, Emissionshandel ist nicht mehr aktuell	
11	Rechtliche Regulation für Produkte und Technologien in den EU-Ländern	Unterschiedlich in der Umsetzung mit Bestrebungen zur Harmonisierung (Status quo)	Harmonisierung erfolgreich umgesetzt	
12	Design von Hybridbauteilen	Funktionsintegration ohne Berücksichtigung von Recyclingaspekten (Status quo)	Erweiterung der Designvorgaben im Sinne Design2Recycling (zum Beispiel Sourcing, Handling/Sicherheit)	
13	Recycling von Hybridbauteilen / Verbundwerkstoffen	Mengenzunahme: kein effizientes Aufarbeiten möglich (thermische Verwertung oder Export (Status quo))	Mengenzunahme: Vollständiges Wiederverwerten durch effiziente Trennverfahren	Mengenzunahme: kein vollständiges Trennen; vermehrte Kaskadennutzung, neue Verwertungswege (Re-Use)
14	Metalllösungen (zum Beispiel aus Recyclingprozessen)	Höheres Aufkommen an Metalllösungen, teilweise hohe Recyclingquoten, unvollständige Kreisläufe (Status quo)	Hohes Aufkommen an Metalllösungen, verstärkte Dissipation	Hohes Aufkommen an Metalllösungen, Schließen der Kreisläufe
15	Konsum von Holzprodukten	Markt für Holzprodukte im Wachstum (Status quo)	Holzverbrauch stagniert	
16	Holzrecyclingquote (stark politisch reguliert)	Erhalt des Status quo	Stoffliche Nutzung gestiegen	Energetische Nutzung gestiegen
17	Germaniumverbrauch	Stark erhöhter Verbrauch	stagnierende / konstante Nachfrage	
18	Klassische Zinkförderung	Rückgang der klassischen Zinkförderung	konstante Zinkförderung	
19	Klärschlammverwendung	höherer Anteil der Müllverbrennung	höherer Anteil der Müllverbrennung	
20	Flachglasherstellung	keine konkurrenzfähige Technologie (Status quo)	konkurrenzfähig durch Technologieoptimierung	
21	Behälterglas	Steigende Verunreinigung / Vermischung trotz Öffentlichkeitsarbeit	massive Verunreinigung (Downcycling)	

■ Szenario »ideal«
 ■ Szenario »neutral«
 ■ Szenario »katastrophal«



Ausloten unterschiedlicher Entwicklungsmöglichkeiten im Szenario-Workshop.

SCHRITT 4 – SZENARIOINTERPRETATION

Wie in der Szenario-Analyse üblich, erfolgte bisher die Entwicklung der Zukunftsannahmen zunächst für einzelne Faktoren, ohne die Wechselwirkungen zwischen den Entwicklungen zu berücksichtigen. Nun galt es, eine gedanklich oder argumentativ vorstellbare Welt für jedes Szenario zu skizzieren. Hierfür wurden die Rohszenarien in Texten

beschrieben. Diese Beschreibung beinhaltete eine mögliche Entwicklung der relevanten Bereiche in dem betrachteten Jahr 2030. Dies diente dazu, in verständlichen »Storys« die Vernetzung der Einflussfaktoren untereinander anschaulicher zu machen und den Zusammenhang zu dem Betrachtungsgegenstand, hier zu den Technologien, deutlich zu machen.

SCHRITT 5 – TECHNOLOGIEEINSCHÄTZUNG

Die Nutzungsmöglichkeiten der Szenarien sind vielfältig: Es können Chancen und Risiken abgeleitet, Herausforderungen identifiziert oder Strategien überprüft werden. Dazu gehören auch Entscheidungen über die Entwicklung neuer Technologien. Die Szenarien und damit auch die Unsicherheiten können auf dieser Weise in den Strategieprozess integriert werden.

Unsicherheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen ist grundsätzlich Bestandteil von Forschungsprojekten, da diese immer in Wechselwirkungsbeziehungen sowohl zu technologischen als auch zu gesellschaftlichen Entwicklungen in ihrem Umfeld stehen. Bei Forschungsaktivitäten kann es daher nicht darum gehen, Unsicherheiten und Risiken vollständig zu vermeiden, sondern mit ihnen bewusst umzugehen unter Berücksichtigung der sich jeweils bietenden Chancen. So wurden hier die längerfristigen Potenziale der zu entwickelnden Technologien vor dem Hintergrund unterschiedlicher Umfeld-Szenarien hinreichend bewertet, um anschließend bewusst eine robuste, risikoarme Technologie oder auch eine risikoreichere Technologie zu wählen, die besonders große Chancen bietet.

Für die Einschätzung der Technologiepotenziale wurde ein Workshop mit den Projektteilnehmern durchgeführt. In drei Schritten wurden die Potenziale jedes Demonstrators eingeschätzt:

- Die Leistungspotenziale der Demonstratoren wurden im Allgemeinen beschrieben, zum einen hinsichtlich der technologischen und gesellschaftlichen Ziele, zum anderen hinsichtlich der Stoffströme und der adressierten Branchen.
- Die zukünftigen Leistungspotenziale der Demonstratoren wurden nun vor dem Hintergrund der jeweiligen Szenarien eingeschätzt. Hierfür haben zunächst die Demonstratorverantwortlichen die in Szenarien beschriebenen Rahmenbedingungen für den Einsatz ihrer Technologien diskutiert und die Technologiepotenziale kritisch hinterfragt. Die Ergebnisse wurden in der Gesamtgruppe diskutiert.
- Abschließend wurde eine Potenzialeinschätzung für die Demonstrator-Technologien für die einzelnen Szenarien erstellt.

MOLECULAR SORTING
SZENARIEN FÜR DIE
WELT VON ÜBERMORGEN



SZENARIEN FÜR MOLECULAR SORTING

SZENARIO »IDEAL« GRÜNE NEUE WELT

Im Jahr 2030 leben wir in Europa in einer Werte-Gesellschaft. Nachhaltigkeitsgedanken sind im Bewusstsein verwurzelt und werden aktiv gelebt. Sowohl Bürgern als auch Politikern ist eine nachhaltige Gesellschaft wichtiger als Gewinnorientierung oder individueller Konsum – dies prägt auch die in Europa angesiedelten Unternehmen. Dank effizienten Technologietransfers haben sich inzwischen nachhaltige Produktionsformen etabliert. Insgesamt unterliegt die Produktion hohen technologischen Standards, die den Energie- und Rohstoffeinsatz verringern. Das gute Umfeld für Forschung und Entwicklung ermöglicht es, durch intensive Forschungsarbeiten die neuen Technologien auch in bisher noch unrentablen Gebieten zu nutzen: Beispielsweise wird das Recycling von niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen durch hoch entwickelte Hightech-Recyclingverfahren interessant.

Im Zuge der Entwicklung hin zur nachhaltigen Gesellschaft sind im Laufe der letzten Jahre sowohl die Preise von Primär- als auch von Sekundärrohstoffen gestiegen, da Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte in die Preisbildung einbezogen werden. Die Preise sind Schwankungen unterworfen, die jedoch infolge der Bemühungen, Rohstoffquellen zu sichern und zu schonen, vorhersehbar und beherrschbar bleiben. Aufgrund dieses absehbaren und kalkulierbaren Preisanstiegs wird die Gewinnung von Rohstoffen aus Abfallprodukten auch bei hohem Anlagenaufwand attraktiv, was beispielsweise positive Auswirkungen für die vermehrte Anwendung der Technologie der Heißgasfiltration mit sich bringt. Auch die steigenden Kosten für Erdöl und andere Basisstoffe von Polymeren führen zu einer intensiv betriebenen Entwicklung alternativer Produktionsformen. Holz beispielsweise birgt ein großes Potenzial zur Gewinnung von Biopolymeren. Die steigenden Primärrohstoffpreise begünstigen

das Recycling von Glas, während sich der Anstieg der Sekundärrohstoffpreise auf den Volumenstrom von Glas eher dämpfend auswirkt. Folglich wird auch aus ökonomischen Gründen in die neuen Technologien investiert.

So haben sich im europäischen Raum längst auch rechtliche Regulationen für Produkte und Technologien und politische Rahmenbedingungen etabliert, die eine nachhaltige Gesellschaft in ihrer Entwicklung fördern. Unsere nachhaltigkeitsorientierte Produktionskultur ist beispielsweise in der Konstruktion von Hybridbauteilen umgesetzt. Zu einem Anstieg in der Verwendung von Verbundwerkstoffen haben sowohl die hohen Preise für fossile Treibstoffe als auch die flächendeckende Verbreitung der Elektromobilität geführt. In der Produktion wird jedoch nicht nur auf den Leichtbau selbst geachtet, sondern bereits in der Entwicklung ein Augenmerk auf die Wiederverwertbarkeit der Materialien gelegt. Wegweisend ist dabei das »Design for Recycling«, mit dem auf die vollständige Trennbarkeit und Wiederverwertbarkeit von Hybridbauteilen und Verbundwerkstoffen abgezielt wird. So wird beispielsweise beim Einsatz von Holz in Verbundwerkstoffen auf die Anforderungen des Recyclings geachtet, um die Kaskadennutzung zu vereinfachen, denn diese erlaubt über Jahrzehnte hinweg eine langfristige CO₂-Speicherung. Die thermische Verwertung von Hybridbauteilen wird daher zunehmend verdrängt.

Durch ihre Bemühungen, sich so weit wie möglich von den Primärrohstoffquellen unabhängig zu machen und den Verbrauch insgesamt zu senken, haben die EU-Länder hinsichtlich der strategischen und operativen Verfügbarkeit von Rohstoffen eine gewisse Autarkie erreicht. Um diese



Werte in der Gesellschaft und Politik: Nachhaltigkeit.

Recycling von Hybridbauteilen/Verbundwerkstoffen.

Unabhängigkeit nicht zu gefährden, wird auf eine nachhaltige Nutzung forstwirtschaftlicher Flächen und Verwertung von Altholz Wert gelegt. Infolge der begrenzten Verfügbarkeit der fossilen Energieträger ist etwa die thermische Nutzung von Holz attraktiv. Zudem werden Technologien gefördert, die es ermöglichen, Altholz in hoher Qualität weiter einsetzen zu können. In der heutigen Zeit hat die stoffliche Nutzung der Holzabfälle zugenommen, was insbesondere durch die sortenreine Trennung begünstigt wird.

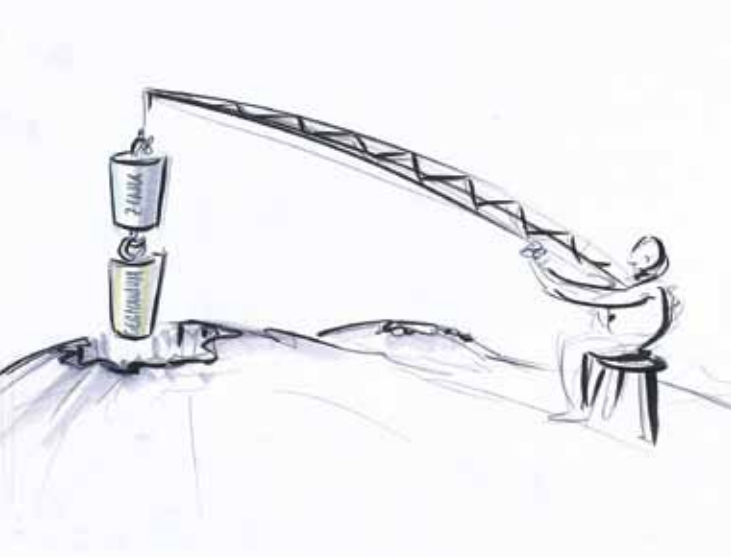
Da unsere Gesellschaft auf eine nachhaltige Energieversorgung Wert legt, werden erneuerbare Energien anhaltend gefördert und sind konkurrenzfähig zu herkömmlichen Formen der Energieerzeugung. So stammt im Jahr 2030 bereits über ein Drittel der Endenergie in Europa aus regenerativen Quellen und dieser Anteil nimmt weiterhin zu. Resultat ist beispielsweise eine vermehrte Nutzung von Holz, da die Bestrebungen, verstärkt regenerative Rohstoffe zu verwenden, Erfolg haben. Diese Entwicklung wirkt sich außerdem positiv auf die Heißgasprozesse aus, da die Nachfrage nach energetisch vorteilhaften Recyclingstrategien anhält.

Weiterhin besteht bei dem grundsätzlich sehr hohen Ressourcenverbrauch und -bedarf in 2030 sowohl ein großer Input in Form von Abfall als auch eine starke Nachfrage nach Sekundärrohstoffen aus den MVA-Schlacken. Die hier im Rahmen der Verbrennung frei werdende Energie wird in Form von Strom und Wärme (Fernwärme) genutzt und verringert zusätzlich den Anteil fossiler Energieträger am Energiemix. Innerhalb der Bestrebungen in der EU, sich von fossilen Energieträgern soweit wie möglich zu lösen, kommt Hybridbauteilen eine Schlüsselrolle zu. Zum einen sind Windkraftanlagen, in denen Hybridmaterialien in großen Mengen verarbeitet werden, ein Kernelement innerhalb der regenerativen Energien, zum anderen werden Hybridbauteile insbesondere in Automobilen eingesetzt, um diese leichter

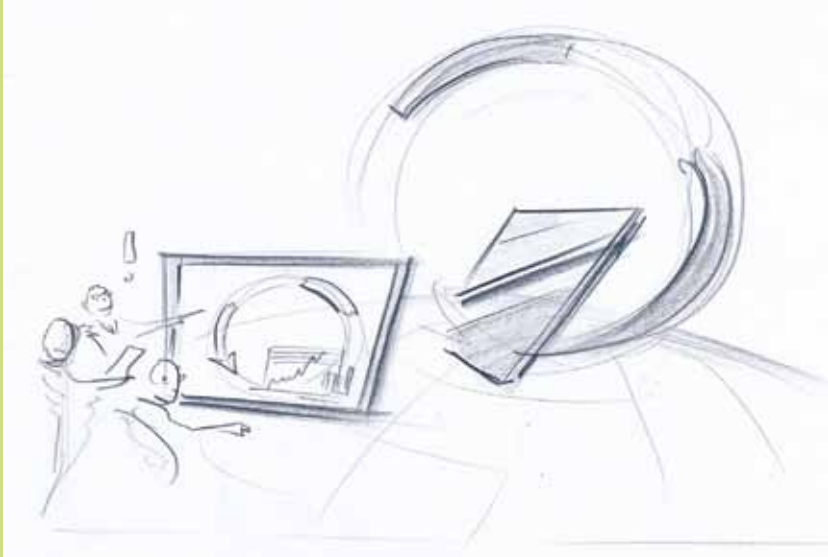
und energieeffizienter zu gestalten. Mit dieser steigenden Verwendung werden Technologien verlangt, die ein Recycling der Verbundwerkstoffe ermöglichen, um diese von den Primärrohstoffen Öl bzw. Gas zu entkoppeln. Einen Beitrag hierzu leistet nach der nicht ganz vermeidbaren Verbrennung die Trennung der MVA-Schlacken in verschiedene Fraktionen (zum Beispiel die Rückgewinnung von Messing), sodass die MVA-Schlacke sehr gefragt ist.

Auch in anderen Bereichen haben sich fortgeschrittene Recyclingtechnologien gegenüber anderen Verwertungskonzepten durchgesetzt. Durch bewussteren Konsum, nachhaltige Produktionsformen und erfolgreich umgesetzte Abfallvermeidungsstrategien ist das Abfallaufkommen insgesamt gesunken. Diese Entwicklung hat zum Teil sehr unterschiedliche Folgen für die Demonstratoren: Beispielsweise steht weniger Ausgangsmaterial für den Volumenstrom von Glas zur Verfügung, was den Bedarf an Glasrecyclingtechnologien verringert. Dasselbe gilt für niedrigkonzentrierte Metallsalzlösungen, da die Einsatzmöglichkeiten aufgrund des reduzierten Massenstroms rückläufig sind. Trotz der kleineren Abfallmenge finden Heißgasprozesse aber vermehrt Anwendung.

Da eine ganzheitliche und konsequente Umsetzung der Nachhaltigkeit verfolgt wird, kommen Heißgasprozesse verstärkt für die Abgasreinigung zum Einsatz, um ökologische Richtwerte einzuhalten. Die notwendigen Deponiekapazitäten, die sich durch sinkendes Abfallaufkommen bereits verringert haben, können durch die Volumenreduktion, die durch den optimierten Umgang mit MVA-Schlacken möglich werden, nochmals minimiert werden. Klärschlamm wird weiterhin verbrannt, der Anteil der Monoverbrennung nimmt dabei zu. Die Rückgewinnung von im Klärschlamm enthaltenen Stoffen wird dadurch gefördert. Hier finden die Heißgasprozesse verstärkt Anwendung, da durch die erhöhte Monoverbrennung die Möglichkeit einer selektiven Abtrennung verschiedener



Metalllösungen aus Recyclingprozessen.



Rückgang der klassischen Zinkförderung.

Wertstoffe (insbesondere Phosphor) gegeben ist. Dank des erfolgreichen Technologietransfers und des insgesamt positiven Umfeldes für F&E ist in der EU weiterhin ein Upcycling der Abfälle größtenteils üblich. Der Anstieg an erneuerbaren Energien führt beispielsweise zu einem höheren Bedarf an Ultraweißglas und somit zu vermehrtem Upcycling auf diesem Gebiet. Mit ihren Rohstoffstrategien fördern die EU-Länder zudem unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten die Entwicklung und den Einsatz der Glas-Technologie sowohl für Flach- als auch für Behälterglas. Die Flachglasherstellung ist durch Technologiefortschritte konkurrenzfähig. Beim Behälterglas kommt es trotz öffentlicher Bemühungen, diese zu reduzieren, weiterhin zu steigenden Verunreinigungen. Auch der Anlagenbau und die Technologieentwicklung im Bereich der MVA-Schlacken werden durch das erhöhte Upcycling und die harmonisierte Regulation bezüglich Technologien und Produkten positiv beeinflusst.

Das erhöhte Upcycling ermöglicht ein Schließen der Kreisläufe, beispielsweise über die Rückgewinnung der Metalllösungen, die in den Recyclingprozessen entstehen. Gerade die MVA-Schlacke nimmt hier eine wichtige Rolle ein. Ihr Image hat sich im Laufe der vergangenen Jahrzehnte verbessert. Neben der Erhöhung der Verfügbarkeit von Metallen durch die Aufarbeitung der MVA-Schlacke kann auch der bestehende Bedarf an Zusatzstoffen in der Zementindustrie bedient werden. So können neben den ökologischen Gesichtspunkten auch ökonomische Vorteile realisiert werden, die Verwertung der Schlacke trifft folglich auf breite Akzeptanz. Durch das Wertebewusstsein hinsichtlich Recycling und Nachhaltigkeit kommt es zwar zu niedrigen Konzentrationen an Metallionen, trotzdem liegt kumuliert ein nennenswertes Aufkommen an Metalllösungen vor. Zur Schließung der Stoffkreisläufe ist ein Einsatz der niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen also sinnvoll: Sie werden somit auch bei Hightech-Anwendungen eingesetzt. Diese haben unter anderem das Ziel, die Empfindlichkeit und

die Selektivität so weit zu erhöhen, dass es auch bei geringsten Konzentrationen lohnenswert ist, Metalle aus Lösungen zurückzugewinnen. Die Schließung der Stoffkreisläufe ist auch im Hinblick auf die Autarkie der EU ausschlaggebend: Beispielsweise ist die klassische Zinkförderung zunehmend zurückgegangen, sodass alternative Wege der Germanium-Gewinnung, wie über die Heißgasprozesse, benötigt werden.

In anderen Bereichen führen die Anstrengungen, nachhaltige Produktionsformen zu etablieren, dazu, dass der Rohstoffbedarf vom Wirtschaftswachstum entkoppelt wird – so bleibt beispielsweise der Germaniumverbrauch konstant. Verbesserte Recyclingverfahren und erhöhte Recyclingquoten führen auch in anderen Bereichen zu einer Schonung der Primärressourcen, beispielsweise nimmt die klassische Zinkförderung zugunsten einer steigenden Rückgewinnung ab. Folglich gewinnen die Heißgasprozesse neben ökologischen Aspekten (Abscheidung von Schadstoffen aus Abgasen) vor allem aufgrund ihrer Fähigkeit, wichtige Wertstoffe zurückzugewinnen, an Bedeutung.

Europaweite Bemühungen zum Umwelt- und Klimaschutz haben weiterhin den CO₂-Zertifikathandel gefördert und weite Bereiche der Wirtschaft einbezogen. Die Preise für CO₂-Emissionszertifikate sind in Folge stark gestiegen, was seinerseits die erneuerbaren Energien sowie energieeffiziente Technologien fördert. Dem hohen CO₂-Emissionspreis wird etwa durch eine Senkung des CO₂-Ausstoßes bei der Wiederverwendung von Altglas Rechnung getragen. Angesichts der gestiegenen CO₂-Emissionspreise bringt außerdem die Kreislaufführung einen finanziellen Vorteil und fördert somit den Einsatz von MVA-Schlacken. Ebenso gibt der Emissionspreisanstieg einen Anreiz zum Einsatz von energieeffizienten niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen. Intensive Grundlagenforschung durch günstige F&E-Bedingungen lässt in diesem Bereich weitere Verbesserungen erwarten.

MOLECULAR SORTING
SZENARIEN FÜR DIE
WELT VON ÜBERMORGEN



SZENARIO »NEUTRAL« WEITER WIE GEHABT

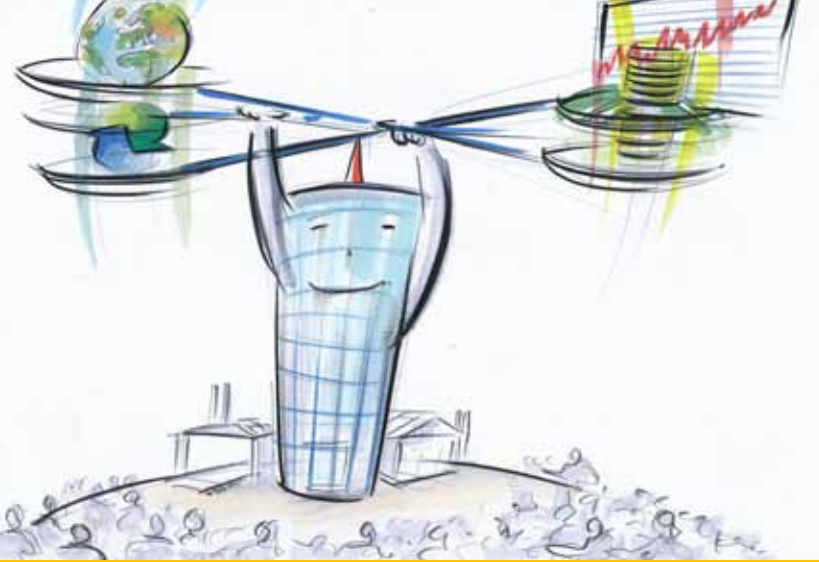
In Gesellschaft und Politik existiert ein hohes Nachhaltigkeitsbewusstsein. Trotz des Wissens um die Bedeutung von Recycling findet jedoch kein konkretes Handeln statt. Vielmehr werden Entscheidungen preisgetrieben getroffen. Ein ähnliches Bild findet sich bei Unternehmen. Auch hier wird gewinnorientiert gehandelt, obwohl die Wichtigkeit von schonendem Umgang mit Energie und Ressourcen gesehen wird. Verfügbare Technologien werden – sofern dadurch eine Gewinnmaximierung erreicht wird – nach dem aktuellen Stand der Technik in die Produktionswege implementiert ohne besondere Bemühungen, nachhaltige Produktionsformen einzusetzen.

Rohstoffpreise der Primär- als auch der Sekundärrohstoffe steigen weiterhin. Diese Entwicklung der Primärrohstoffpreise resultiert in einem hohen Potenzial für den Volumenstrom Glas. Demgegenüber wirken sich steigende Sekundärrohstoffpreise hier eher dämpfend aus. Die vorhersehbaren Preisanstiege der Rohstoffe machen Investitionen in alternative Gewinnungsstrategien attraktiv, sodass die Heißgasprozesse vermehrt Anwendung finden. Die Implementierung der Technologie erfolgt hierbei vorrangig aus Kostengründen. Die zeitlichen und preislichen Schwankungen bewegen sich in einem relativ vorhersehbaren Korridor. Die Implementierung der verfügbaren Technologien zur Aufarbeitung von MVA-Schlacken erfolgt preisgetrieben: Die Wiedergewinnung von Rohstoffen aus den Schlacken verhindert zwar nicht den Anstieg der Rohstoffpreise, dämpft jedoch die Preisschwankungen. Gleichzeitig gewinnt das Recycling von niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen an Relevanz, da es

in Bezug auf Schwankungen der Rohstoffpreise extrem flexibel ist. So wird eine Absicherung gegenüber Preisschwankungen und bezüglich der strategischen Verfügbarkeit der Rohstoffe durch die Technologie ermöglicht.

Um den Schwankungen weiterhin entgegen zu wirken, sind die einzelnen Regionen um Autarkie bemüht, um nicht von zu stark schwankenden Weltmarktpreisen für Rohstoff abhängig zu sein. Beispielsweise werden die Forstflächen in Europa nachhaltig bewirtschaftet, da dies sowohl von der Gesellschaft erwünscht ist als auch durch das Streben um zunehmende Autarkie bezüglich der Rohstoffquellen gefördert wird. Auch im Hinblick auf die Autarkiebestrebungen der EU bezüglich der Verknappung von Rohstoffen nehmen die Heißgasprozesse eine wichtige Rolle ein, da sie eine vermehrte Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen (zum Beispiel Germanium und Phosphor) ermöglichen. Ebenso verhält es sich beim Einsatz der Technologie der MVA-Schlacken.

Gleichzeitig wird mit steigenden Preisen für Primärrohstoffe und insbesondere teurer werdenden fossilen Energieträgern die Attraktivität einer energetischen Nutzung sowohl von frischen Hölzern als auch von Altholz gesteigert. Insgesamt nimmt daher der Anteil der stofflichen Verwertung von Altholz ab. Überdies steigt der Holzpreis bedingt durch die bedachte Bewirtschaftung nicht so stark an, dass die stoffliche Verwertung gegenüber der thermischen wirtschaftlich lohnender ist, sofern lediglich die Kosten der beiden Alternativen eine Rolle spielen.



Werte in der Gesellschaft und Politik: hohes Bewusstsein ohne konkretes Handeln.



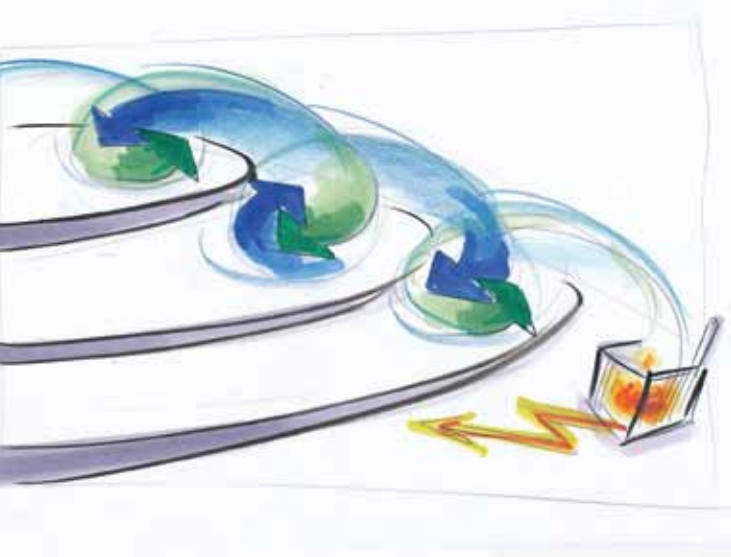
Anteil an erneuerbaren Energien auf über ein Drittel angestiegen.

Sowohl das Bewusstsein für Nachhaltigkeit als auch der durch den deutlich gestiegenen CO₂-Emissionspreis verursachte Kostendruck haben dafür gesorgt, dass der Anteil der erneuerbaren Energien im europäischen Energiemix auf über ein Drittel gestiegen ist. Hierbei sind alle regenerativen Energiequellen absolut gesehen relevanter geworden. Die Erhöhung der CO₂-Emissionspreise verlangt nach energetisch günstigeren Recyclingstrategien und fördert somit den Einsatz der Heißgasprozesse. Die Technologie kommt also in erster Linie wegen wirtschaftlicher Vorteile zum Einsatz. Der globale Ressourcenverbrauch liegt bei gut 100 Milliarden Tonnen Rohstoffe pro Jahr. Ein hohes Potenzial des Volumenstroms Glas ergibt sich in diesem Kontext, sofern es gelingt, Kosten für Energie und Emissionszertifikate zu reduzieren und somit die Produktionskosten zu senken. Sollte eine Kreislaufführung des CO₂ bereits möglich sein, so könnte dies ein breites Einsatzgebiet der MVA-Schlacken widerspiegeln, da so angesichts der CO₂-Emissionspreise Kostenvorteile umgesetzt werden können. Auch das Potenzial der niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen steigt, da die Energieeffizienz der Technologie einen Anreiz zur CO₂-Einsparung bietet und sie somit wirtschaftlich lohnender wird.

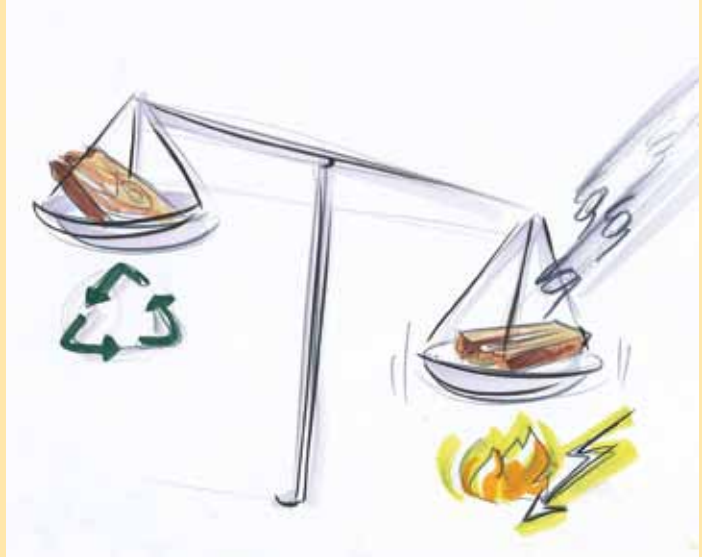
Nicht zuletzt für den erhöhten Bedarf an Windkraftanlagen werden zunehmend Hybridbauteile eingesetzt. Auch im Bereich Leichtbau sowie in der Baubranche finden Verbundwerkstoffe zunehmend Eingang. Die gesellschaftliche Förderung erneuerbarer Energien sowie die steigenden Rohstoff- und Energiepreise resultieren außerdem im Einsatz von Verbundmaterialien im Mobilitätsbereich. Trotz vermehrter Kaskadennutzung und der Suche nach neuen Verwertungswegen (Re-Use) ist ein vollständiges Trennen dieser Verbundbauteile nicht immer möglich. Bestrebungen, Designvorgaben zu

erweitern, um im Sinne eines »Design for Recycling« Verbundbauteile einfacher wieder einsetzen zu können, bestehen, jedoch erfolgt eine konkrete Umsetzung eher schleppend. Das Bewusstsein, das innerhalb der Bevölkerung für den Wert nachhaltiger Aktivitäten besteht, führt gleichzeitig auch zu der Etablierung von Richtlinien, die das Design von Hybridbauteilen bereits auf ein mögliches Recycling hin fördern. Dabei werden die Designrichtlinien um die mögliche Aufarbeitung von Altbauteilen für eine Verwendung der Bauteile anstelle einer Trennung der einzelnen Bestandteile erweitert. Diese Aktivitäten bleiben jedoch aus Kostengründen begrenzt und werden nicht koordiniert umgesetzt. Darüber hinaus schrecken viele Firmen vor großen Investitionen in Richtung Nachhaltigkeit zurück. Dies erschwert eine umfangreiche Trennung im Anschluss an die Nutzung der Hybridbauteile. Zudem lassen die steigenden Energiepreise eine thermische Verwertung der Materialien attraktiv erscheinen. Dies konkurriert mit steigenden Rohstoffpreisen, die wiederum ein Recycling der Altmaterialien fördern.

Bei der Zusammensetzung des Abfalls innerhalb der Europäischen Union ist aufgrund des erhöhten Einsatzes von Hybridmaterialien zunehmend eine heterogene Entwicklung zu beobachten. Dies erhöht die Kosten für klassische Recyclingverfahren, sodass weitere Technologien (wie die Ansätze der Heißgasprozesse und der MVA-Schlacken-Verwertung) benötigt werden. Gerade die MVA-Schlacken können hier die konstanten Abfallmengen nach der Verbrennung abfangen und Sekundärrohstoffe bereitstellen. Der wachsende Bedarf an effizienten Recyclingtechnologien mit hohen Rückgewinnungsquoten für unterschiedlichste Metalle kann weiterhin durch die Technologie der niedrig konzentrierten Metalllösungen bedient werden.



*Verstärktes Kaskadensystem für verlangsames
Downcycling*



*Holzrecyclingquote:
Energetische Nutzung gestiegen*

Das Abfallaufkommen innerhalb der EU hat sich im Vergleich zu 2012 bezüglich der Gesamtmenge nicht verändert. Somit ist eine Potenzialeinschätzung für den Glas-Volumenstrom eher neutral. Das konstante Abfallaufkommen basiert vor allem auf einem verlangsamen Downcycling, was durch ein verstärktes Kaskadensystem erreicht wird. Das bedeutet, dass Materialien öfter recycelt werden, bevor sie letztlich der thermischen Verwertung zugeführt werden. Methoden des Upcycling erfahren jedoch keine Förderung, sodass beispielsweise das Potenzial des Altholzes nicht ausgeschöpft wird. Es besteht somit zwar in Teilen eine Kaskadennutzung, deren Umfang jedoch sinkt und die in ihren Stufen nicht die Möglichkeiten, die technologisch denkbar wären, realisiert.

Zur rechtlichen Regulation für Produkte und Technologien in den EU-Ländern bestehen Bestrebungen zur Harmonisierung, jedoch ist auch hier kein konkretes Handeln erkennbar. Diese Unschlüssigkeit hemmt den Einsatz des Glas-Volumenstroms. Trotz unterschiedlicher Regulierungen in den EU-Mitgliedsländern ist es allerdings möglich, die Technologie der MVA-Schlacke in andere Länder zu exportieren.

Aus den teilweise vorhandenen Recyclingprozessen ist ein hohes Aufkommen an Metalllösungen zu verzeichnen. Die Metalle können jedoch nur teilweise wiedergewonnen werden, die Kreisläufe sind nicht vollständig geschlossen. Auch in anderen Branchen findet ein Recycling nur teilweise statt. Im mengenmäßig gestiegenen Markt von Holzprodukten wird ein Recycling größtenteils durch energetische Nutzung von Altholz umgesetzt, das volle Potenzial wird also nicht ausgenutzt.

Auch im Fall von Klärschlamm macht die thermische Verwertung einen Großteil der Entsorgung aus, wobei hier der Anteil an Mitverbrennung gegenüber dem Anteil an Monoverbrennung deutlich größer ausfällt. Im Bereich der Metalle Zink und Germanium hat sich im Vergleich zu 2012 keine signifikante Änderung ergeben. Für die in ihrer Förderung zusammen vorkommenden Metalle besteht eine konstante Nachfrage. Das Recycling von Flachglas wird durch eine Technologieoptimierung vergünstigt, wohingegen im Bereich von Behälterglas weiterhin steigende Verunreinigungen trotz vermehrter Öffentlichkeitsarbeit zu beobachten sind.

MOLECULAR SORTING
SZENARIEN FÜR DIE
WELT VON ÜBERMORGEN



SZENARIO »KATASTROPHAL« NACH UNS DIE SINTFLUT

Im Jahr 2030 stehen die Chancen schlecht, den Herausforderungen, vor die die Gesellschaft aufgrund des Klimawandels und schwindender Ressourcen gestellt wird, angemessen zu begegnen. Weder in der Gesellschaft noch in der Politik ist ein Nachhaltigkeitsbewusstsein verbreitet. Nachhaltige Ansätze können so im Alltag nicht bestehen, stattdessen ist insbesondere in Unternehmen der Kostendruck ausschlaggebend und vorrangig. So wird in der Regel diejenige Produktionsweise verwendet, die für das Unternehmen die geringsten Kosten mit sich bringt, wobei Aspekte wie Umwelt- oder Ressourcenschonung nicht berücksichtigt werden. Effizientere Technologien und neuartige Produktionsweisen setzen sich gegen bekannte und etablierte Techniken oftmals nicht durch, da für deren Ablösung und Ersatz hohe Investitionen erforderlich wären.

Diese Investitionslücken füllt auch der Staat nicht aus, da die Öffentlichkeit kein Interesse an nachhaltigerer Entwicklung bekundet. Unter diesem Zustand leiden auch Forschung und Entwicklung, Neuerungen werden seltener entwickelt und implementiert. Allein die Wirtschaftlichkeit entscheidet über den Einsatz neuer Technologien, die Produktionsformen entsprechen also nicht dem Stand der Technik. Entsprechend ist die Produktion in Europa teilweise veraltet.

Da keine Anstrengungen zur Senkung des Rohstoff- oder Energieverbrauchs unternommen werden, steigen die Preise der Rohstoffe weiterhin an. Diese Erhöhung der Primärrohstoffpreise schafft ein zunächst positives Umfeld für den Volumenstrom Glas, allerdings wirken sich steigende Sekundärrohstoffpreise eher dämpfend aus. Die Verknappung der Rohstoffe erhöht den Druck zur Rohstoffgewinnung mit

Alternativverfahren, was beispielsweise den Einsatz der Heißgasprozesse fördert. Der Trend zum Preisanstieg wird begleitet von unvorhersehbaren Preisschwankungen, die unter anderem daraus resultieren, dass die Rohstoffreserven zunehmend knapp werden. Auf diese nicht abschätzbaren Schwankungen kann durch die Recycling-Technologie der niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen flexibel reagiert werden, hier ist also ein hohes Potenzial gegeben. Festzuhalten ist außerdem, dass die unvorhersehbaren Preisschwankungen für Rohstoffe Investitionen in neue, noch nicht wirtschaftliche Technologien hemmen.

Die Abhängigkeit von den großen Lieferanten und rohstoffreichen Ländern wächst zusehends, während Bemühungen, diese Abhängigkeit beispielsweise über umfangreicheres Recycling und Entkopplung von den Primärvorkommen zu reduzieren, in der Gesellschaft keine Unterstützung erfahren und nicht umgesetzt werden. Daher sind Prozesse zur Gewinnung von knappen Wertstoffen zunehmend wichtiger: Beispielsweise sichert die Technologie zur Verwertung niedrigkonzentrierter Metallsalzlösungen die Verfügbarkeit strategisch wichtiger Metalle und bietet somit aufgrund der im Schnitt steigenden Rohstoffpreise und zunehmenden Verknappung eine wichtige Basis für eine gesicherte Versorgung innerhalb der EU. Auch die Relevanz der MVA-Schlacken steigt an: Dort, wo die Aufarbeitung der Schlacken erfolgreich umgesetzt werden kann, bringt sie angesichts der Verknappung von Rohstoffen und der Abhängigkeit von wenigen Rohstoffquellen eine Entspannung, denn Rohstoffe wie Kupfer, Aluminium und Eisen können wieder gewonnen werden.



Werte des Unternehmens: Kostendruck.



Energienmix: erneuerbare Energien 15 Prozent, fossile Energieträger 70 Prozent, Kernenergie 15 Prozent.

Das gesamte Abfallaufkommen ist 2030 im Vergleich zu 2012 stark angestiegen, da weder der Rohstoffeinsatz reduziert noch Recyclingmaßnahmen in ausreichendem Maße etabliert werden. Aufgrund mangelnden ökologischen Bewusstseins ist auch hier der Bedarf für die vermehrte Anwendung des Volumenstroms Glas gegeben. Das hohe Abfallaufkommen stellt außerdem gute Rahmenbedingungen bereit für die Anwendungen der MVA-Schlacken, die den Müll maximal verwerten und das zu deponierende Volumen verringern. Dies bringt vor allem wirtschaftliche Vorteile mit sich, da so ein aufwendiger und kostenintensiver Export von Schlacken vermieden werden kann. Hinzu kommt die Rückgewinnung von seltenen Rohstoffen im Rahmen der thermischen Verwertung bei der Müllverbrennung: Der gesteigerte Bedarf an Recycling von unterschiedlichsten Metallen macht beispielsweise die Wiederverwertung von niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen sinnvoll. Der Trend läuft hier hin zu Lowtech-Anwendungen, die bei hohen Durchsatzraten die gesteigerten Mengen an Metalllösungen bewältigen können und so zur Kostenreduktion beitragen.

Ein langfristiger Bedarf an der Technologie der niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen auch über 2030 hinaus ist nicht zuletzt zusätzlich durch den steigenden Markt an Elektrotechnik gesichert. Auch den Heißgasprozessen kommt bei der Müllverbrennung eine Schlüsselfunktion zu, da die Rückgewinnung relevanter Wertstoffmengen aufgrund der hohen Rohstoffpreise erhebliche ökonomische Vorteile mit sich bringt. Zwar steigt mit der Menge an Abfall und den hohen Kosten für Primärrohstoffe auch die Recyclingquote, jedoch werden Investitionen gescheut, die ein Upcycling ermöglichen. Das Downcycling der Abfälle ist daher die Regel. Dies wird dadurch verstärkt, dass die energetische Nutzung verglichen mit den Trennverfahren kostengünstig umsetzbar ist und infolge hoher Energiepreise entsprechende Gewinnaussichten bietet. Da sich die Produktionsformen nicht auf dem Stand der

Technik befinden, resultieren aus einem suboptimal geführten Verbrennungsprozess beispielsweise inhomogene Schlacken. Dieser Umstand erschwert die Implementierung einer einheitlichen Technologie. Das fehlende Augenmerk für nachhaltige Produktionsformen in Gesellschaft und Politik führt weiterhin zu einer zunehmenden Verknappung von Holz. Dies liegt zum einen daran, dass die Forstwirtschaft nicht nachhaltig ist und die EU somit abhängig von Holzimporten wird, andererseits werden Holzabfälle zum überwiegenden Teil thermisch verwertet und neue Recyclingtechnologien kaum entwickelt. Im Zuge dieser Entwicklung gewinnt die Technologie der MVA-Schlacken an Bedeutung: Sie kann in 2030 aus dem hohen Schlackeaufkommen auch große Mengen an Sekundärrohstoffen extrahieren, da Wiederverwertungskonzepte vor der Verbrennung wenig verfolgt werden.

Infolge der vergleichsweise höheren Kosten für erneuerbare Energieträger nimmt deren Umfang im Energiemix nicht zu. Fossile Energieträger stellen weiterhin mit 70 Prozent den Großteil der benötigten Energie zur Verfügung. Aufgrund dieses anhaltenden hohen Anteils an fossilen Energieträgern finden die Heißgasprozesse in Heizkraftwerken breite Anwendung. Die erneuerbaren Energien halten sich auf einem Niveau von knapp einem Sechstel und bewegen sich damit in der gleichen Größenordnung wie die Kernkraft, die innerhalb der EU von der Mehrheit der Bevölkerung akzeptiert wird. Der gesunkene Bedarf an erneuerbaren Energien bringt negative Konsequenzen für einige der Technologien mit sich: Beispielsweise reduziert sich die Nachfrage nach Ultraweißglas, was eine Verminderung der Potenziale von Glasrecyclingtechnologien zur Folge hat. Die Zusammensetzung des Energiemix hat auch negative Folgen für die Anwendungen und das Recycling der Hybridbauteile: Ihr Einsatz außerhalb der Automobilbranche ist begrenzt, insbesondere dadurch, dass mit den erneuerbaren Energien auch Windkraftanlagen, die eine potenzielle Anwendung von Hybridbauteilen darstellen, keine Förderung mehr erfahren.



Höheres Abfallaufkommen.



*Strategische und operative Verfügbarkeit von Rohstoffen:
Verknappung und Abhängigkeit.*

Da keine politische Unterstützung für den Emissionshandel besteht und der Preis für CO₂-Zertifikate deutlich sinkt, wirkt sich auch dieses Instrument nicht auf den Einsatz fossiler Brennstoffe aus. Die fehlende Notwendigkeit der Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung macht die Verwendung von Altglas überflüssig. Daher wird ein Flachglasrecycling bzw. -upcycling nicht verfolgt. Weiterhin bietet der niedrige CO₂-Emissionspreis keine Anreize dafür, die aus fossilen Energieträgern gewonnene Energie durch die verstärkte Verbrennung von Holz wenigstens teilweise zu ersetzen. Somit wird die sortenreine Trennung der Holzabfälle bei steigenden Holzpreisen zunehmend interessant.

Weder der Emissionshandel noch andere energiepolitische Instrumente können innerhalb der EU auf einer gemeinsamen Basis eingesetzt werden, da die Harmonisierung der verschiedenen rechtlichen Regulationen nicht erfolgt. Die unterschiedlichen Richtlinien und der zunehmende Kostendruck hemmen somit die Potenziale des Volumenstroms Glas. Darüber hinaus erschweren die fehlenden Nachhaltigkeitsaspekte die Umsetzung der Technologie und schränken ihre Einsatzmöglichkeiten ein. Folglich kann sie sich gegenüber der asiatischen Konkurrenz in Europa nicht behaupten. Neue Technologien stehen also der Herausforderung gegenüber, dass aufgrund des geringen gesellschaftlichen Interesses und der fehlenden politischen Förderung nur kostengünstige Verfahren eine Chance haben, sich zu etablieren. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass ein verstärktes Upcycling unmöglich wird, auch wenn die stoffliche Recyclingquote für den Volumenstrom von Holz steigt – vielmehr steigt sogar die Downcyclingquote an.

Der geringe Stellenwert moderner Recyclingverfahren und die fehlende Beachtung durch die Gesellschaft schlagen sich auch im Produktdesign nieder. Bei Hybridbauteilen stehen beispielsweise lediglich die Funktionsintegration und sparsame

Bauweisen im Vordergrund, getrieben vor allem durch die hohen Treibstoffpreise. Recyclingaspekte werden dabei nicht berücksichtigt, was eine effiziente Aufarbeitung von Verbundwerkstoffen verhindert. Vielmehr werden Hybridbauteile zur Energiegewinnung verbrannt oder exportiert und anschließend unkontrolliert beseitigt. Infolge der steigenden Preise für fossile Treibstoffe, aber auch andere Formen der Endenergie, werden Hybridmaterialien zunehmend als Leichtbauelemente im Automobilbau eingesetzt. Dabei wird jedoch, wie oben aufgeführt, der Fokus auf eine effiziente Produktion und Funktionsintegration gelegt.

Die Möglichkeit, die Materialien im Anschluss an ihre Nutzung stofflich weiter zu verwerten, spielt innerhalb der Konstruktion keine Rolle. Designrichtlinien im Sinne eines »Design for Recycling«-Ansatzes setzen sich dabei nicht durch. Dies erschwert eine sortenreine Rückgewinnung der einzelnen Stoffe erheblich: Insbesondere Holz-Hybridbauteile werden weiterhin thermisch verwertet, da es nicht möglich ist, die Bestandteile effektiv zu trennen und eine separate Weiterverwertung des Holzes zu ermöglichen. Für das steigende Aufkommen an Abfällen von Hybridmaterialien bleibt die thermische Verwertung also weiterhin attraktiv, insbesondere, da die Gesellschaft kein Interesse an verstärktem Recycling zeigt. Auch in anderen Bereichen sieht man ähnliche Entwicklungen. Die Verunreinigungen von Behälterglas bewegen sich auf hohem Niveau und erlauben lediglich ein Downcycling, zumal jede Öffentlichkeitsarbeit in dieser Richtung ausbleibt.

Den preisgetriebenen Unternehmensstrategien ohne Nachhaltigkeitsbewusstsein kann der Ansatz der niedrigkonzentrierten Metallsalzlösungen dabei entgegenkommen. Hierzu wird die Technologie hin zu einer Lowtech-Lösung modifiziert, was hohen Durchsatz und dadurch hohe Kosteneinsparungen ermöglicht und die Technologie für die Unternehmen wirtschaftlich lohnend macht. Die Fortentwicklung

einer Hightech-Lösung wird jedoch durch die fehlenden politischen und gesellschaftlichen Bemühungen erschwert.

In vielen Bereichen sieht man einen deutlichen Anstieg des Verbrauchs einzelner Rohstoffe, beispielsweise gilt dies für Germanium. Hier wird wieder die Relevanz der Heißgasprozesse deutlich, da erhebliche Mengen an Wertstoffen (unter anderem Germanium) wiedergewonnen werden können, was im Hinblick der Abhängigkeit der EU von Rohstoff liefernden Ländern maßgeblich ist. Da die Verfahren zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen nur langsam und in dem Maße verbessert werden, in dem sie sich finanziell lohnen, wird das Primärfördervolumen vieler Rohstoffe erhöht oder stagniert zumindest. Dies ist zum Beispiel beim Zink zu beobachten, dessen Förderung konstant bleibt. So nehmen die Heißgasprozesse auch im Hinblick auf die Rückgewinnung von Zink eine Schlüsselrolle ein. Da die wirtschaftlichen Aspekte überwiegen, finden sie insbesondere Anwendung zur Wiedergewinnung teurer Wertstoffe. Weiterhin fördert auch das erhöhte Abfallaufkommen den vermehrten Einsatz der Heißgasprozesse, die daher in 2030 ein hohes Anwendungspotenzial haben.

Der Holzverbrauch stagniert, ebenso wie die Holzrecyclingquote, die stark politisch beeinflusst wird. Daher wird im Schnitt ein Fünftel der Holzabfälle stofflich verwertet, wohingegen die verbleibenden vier Fünftel energetisch genutzt werden. Dabei ist jedoch der Effekt zu beobachten, dass die stoffliche Nutzung zwar infolge des Holzpreises steigt, gleichzeitig jedoch Bemühungen scheitern, die Qualität des recycelten Altholzes zu steigern, da die Entwicklung und Umsetzung der entsprechenden Technologien nicht gefördert wird. Das Potenzial, das die Nutzung von Altholz bietet, wird somit nicht ausgenutzt. Gleichzeitig besteht ein hoher Kostendruck. Ob sich die Technologie durchsetzt, hängt dabei also in entscheidendem Maße von der Holzpreisentwicklung ab.

Die thermische Verwertung nimmt auch bei der Klärschlammbehandlung zu. Vorrangig ist hierbei die Mitverbrennung, die eine Wiederverwertung der im Klärschlamm enthaltenen Stoffe erschwert. In den Recyclingprozessen fallen hohe Mengen an Metalllösungen an, die nur ungenügend oder gar nicht weiter verwertet bzw. wiedergewonnen werden. Bei der Flachglasherstellung existiert keine konkurrenzfähige Technologie.

BEDEUTUNG DER SZENARIEN FÜR DIE DEMONSTRATOREN

In allen Szenarien wurde von einer weiteren Anspannung der Rohstoffsituation ausgegangen. Das ist sehr plausibel, denn stoffliche Ressourcen sind auf der Erde endlich und unsere Wirtschaftsweise sorgt für deren Dissipation. Der Unterschied zwischen den Szenarien liegt in der Reaktion Deutschlands/der EU/der Welt auf diese Entwicklung.

Im Szenario »Ideal« wird die Situation vorhergesehen und bewusst darauf reagiert, auch und gerade mit technischen Lösungen. Es ist ein grundsätzlich innovationsfreundliches Szenario. Im Szenario »Katastrophal« wird die Entwicklung bewusst ignoriert, es kommt früher oder später zur akuten Ressourcenkrise. Das Szenario ist in Bezug auf Recycling-technologien nicht besonders innovationsfreundlich, aber der Bedarf für die Technologien kommt. Er kommt allerdings zu einem nicht genau vorhersehbaren Zeitpunkt und wegen mangelndem Monitoring der Ressourcensituation überraschend. Es empfiehlt sich, die Technologien vorzuhalten, um sie bei Bedarf schnell marktreif zu haben.

Im Szenario »Neutral« wird, bildlich gesprochen, das Leiden verlängert. Es ist ein Fall von »die Wirkung behindert die Ursache«: Weil kleine, improvisierte Lösungen für akute Probleme gefunden werden, wird diesen Problemen die Dringlichkeit genommen und es werden keine großen Lösungen für übergreifende Probleme (wie die sich ankündigende Rohstoffkrise) gefordert. Bis zur Eskalation dauert es aber wesentlich länger als im Szenario »Katastrophal«.

Eine abschließende Einschätzung der Demonstrator-Technologien wurde im Nachgang des Workshops von einer »Mirrorgroup« aus Projektleitung und dem für den Szenarien-Prozess verantwortlichen Team vorgeschlagen und durch Diskussionen mit den Demonstratorverantwortlichen verifiziert.

Im Ergebnis zeigt diese Einschätzung, dass die Technologieentwicklungen der Demonstratoren robust gegenüber verschiedenen möglichen zukünftigen Entwicklungen sind (siehe Tabelle). Keine der Technologieentwicklungen ist ausschließlich bei einem Szenario marktgängig und einsetzbar, sondern mindestens bei zwei möglichen Zukünften erfolgreich. Dieses Ergebnis ist ein wichtiges Indiz für die Technologieauswahl und -fortentwicklung in den folgenden Schritten des Projektes.

Demonstrator	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
	IDEAL – Grüne neue Welt	NEUTRAL – weiter wie gehabt	KATASTROPHAL – nach uns die Sintflut
Altholzkaskade	++	–	+
Hochtransparentes Glas	++	+	±
Niedrig konzentrierte Metalllösungen	++	+	±
Heißgasfiltration	++	+	++
MVA-Schlacken	+	±	++
Hybridbauteile	++	+	–

++ Szenario begünstigt Demonstratoreinsatz stark ± Szenario wirkt neutral gegenüber Demonstratoreinsatz -- Szenario hemmt Demonstratoreinsatz stark
 + Szenario begünstigt Demonstratoreinsatz – Szenario hemmt Demonstratoreinsatz

NUTZEN DES SZENARIO-PROZESSES

Die Szenariomethodik spielt in dem Foresight-Methodenkanon des Fraunhofer ISI eine herausragende Rolle, da sie eine systematische Auseinandersetzung mit verschiedenen Zukunftspfaden ermöglicht. Szenario-Prozesse liefern relevante und plausible Zukunftsbilder, die uns auf verschiedene Entwicklungen in der Zukunft vorbereiten und es erlauben, unterschiedliche Strategiepfade auszuloten.

Die Entwicklung von Szenarien dient nicht nur der Ausweitung und der Sensibilisierung für Unsicherheiten, die bezüglich zukünftiger Entwicklungen bestehen, sondern insbesondere dazu, Ideen, Produkte oder Technologien mit besonderem Potenzial zu entdecken.

Neben den primären Zielen von Szenario-Prozessen gibt es eine Reihe an positiven Effekten, die sich bei der Entwicklung von Szenarien zeigen, wie u.a.:

- Bildung eines intensiven problemorientierten Kommunikationsprozesses,
- Förderung der Interdisziplinarität durch die Integration des jeweiligen Fachwissens in die Gesamtbetrachtung sowie Vernetzung von unterschiedlichen Denkweisen und Erfahrungshorizonten,
- Veränderung bzw. Erweiterung des Blickwinkels der Beteiligten durch die ganzheitliche Sicht auf das zu untersuchende System,
- Vermittlung der Erkenntnis der prinzipiellen Unsicherheit aller in die Zukunft gerichteten Entscheidungen und Handlungen und Notwendigkeit zum Umgang mit den Unsicherheiten,
- Steigerung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsgrundlagen sowie der zu ergreifenden Maßnahmen,
- Konfrontation mit den bisher nicht betrachteten Bereichen, wie beispielsweise der Gesellschaft mit ihren sozialen und kulturellen Einflüssen.

Auch die gemeinsame Entwicklung der Molecular Sorting-Szenarien mit den Projektpartnern hat zahlreiche Nutzeffekte erzeugt. Das primäre Ziel war die Überprüfung der Robustheit der Technologien gegenüber unterschiedlichen Zukünften durch die Untersuchung ihrer möglichen zukünftigen Potenziale. Der gemeinsame Entwicklungsprozess bot dem Projektkonsortium, bestehend aus sieben Fraunhofer-Instituten, zudem Raum, damit ein gemeinsames Projektverständnis entwickeln und danach im Detail ihre Entwicklungstätigkeiten abstimmen zu können.

Zudem konnten die unterschiedlichsten Zukunftsvorstellungen ausgetauscht und diskutiert werden. Dieser Prozess war für alle Beteiligten sehr fruchtbar. Durch die intensive und strukturierte Auseinandersetzung mit den Ausprägungen der verschiedenen Zukunftseinflussfaktoren entstand ein Orientierungswissen bei den Teilnehmern, welches für zukünftige Entwicklungsprozesse sensibilisiert. Der Szenario-Prozess diente dazu, interne institutsübergreifende Diskussionen über die zukünftigen technologischen Entwicklungen sowie die Schnittstellen zwischen den Technologien und Prozessen anzuregen und diese auch im Nachgang des Szenario-Prozesses fortzusetzen.

Auf Grundlage und vor dem Hintergrund der entwickelten Szenarien konnten verschiedenen Optimierungsmöglichkeiten für die Demonstratoren ausgetauscht und umgesetzt werden. Zudem wurde offen über Potenziale und eventuelle Schwächen der Demonstratoren gesprochen. Die Szenarien dienten als Bewertungshintergrund zur objektiven Potenzialeinschätzung auf technologischer Ebene. Diese wird im weiteren Verlauf des Projektes Molecular Sorting noch um die Einschätzung der ökologischen Bewertung (LCA) ergänzt. Für die LCA-Einschätzung dienen die Szenarien als »Rahmen«. Es sollen zudem verschiedene Input-Annahmen bei der Berechnung der LCA je Szenario in die LCA einfließen.

ANSPRECHPARTNER

GESAMTPROJEKTLEITUNG

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal (Berghausen)

Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky
Telefon +49 721 4640-367
joerg.woidasky@ict.fraunhofer.de

www.molecular-sorting.fraunhofer.de

DEMONSTRATOR ALTHOLZKASKADE

Peter Meinlschmidt
Fraunhofer-Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Bienroder Weg 54 E
38108 Braunschweig
Telefon +49 531 2155-449
peter.meinlschmidt@wki.fraunhofer.de

DEMONSTRATOR HOCHTRANSPARENTE GLÄSER

Dr. Jürgen Meinhardt
Fraunhofer-Institut für Silicatiforschung ISC
Neunerplatz 2
97082 Würzburg
Telefon +49 931 4100-202
juergen.meinhardt@isc.fraunhofer.de

DEMONSTRATOR NIEDRIG KONZENTRIERTE METALLSALZLÖSUNGEN

Dr. Thomas Schiestel
Fraunhofer-Institut für Grenzflächen-
und Bioverfahrenstechnik IGB
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-4164
thomas.schiestel@igb.fraunhofer.de



DEMONSTRATOR HEISSGASFILTRATION

Dr.-Ing. Burkhardt Faßauer
Fraunhofer-Institut für Keramische
Technologien und Systeme IKTS
Winterbergstr. 28
01277 Dresden
Telefon +49 351 2553-7667
burkhardt.fassauer@ikts.fraunhofer.de

ÖKOBILANZIERUNG

Jan Paul Lindner
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Hauptstrasse 113
70771 Leinfelden-Echterdingen
Telefon +49 711 489999-25
jan-paul.lindner@ibp.fraunhofer.de

DEMONSTRATOR MVA-SCHLACKE

Dr. Volker Thome
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstr. 10
83626 Valley
Telefon +49 8024 643-623
volker.thome@ibp.fraunhofer.de

ZUKUNFTSSZENARIEN

Dr.-Ing. Ralph Seitz
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
Telefon +49 721 6809-323
ralph.seitz@isi.fraunhofer.de

DEMONSTRATOR HYBRIDBAUTEILE

Alexander Stark
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 7
76327 Pfinztal
Telefon +49 721 4640-644
alexander.stark@ict.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Autoren

Dr.-Ing. Ralph Seitz
Dipl.-Ing. Björn P. Moller
Dr. Ewa Dönitz
Dr. Simon Berner
Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky

Layout

Alexandra Wolf

Illustrationen und Titelbild

Heyko Stöber

www.molecular-sorting.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft, München 2012

WIR FORSCHEN VORAUSS – »ÜBERMORGEN-PROJEKTE«

Das Forschungsprogramm »Märkte von übermorgen« liefert Antworten auf aktuelle Herausforderungen

Die Fraunhofer-Gesellschaft hat in der Strategieentwicklung in den vergangenen Jahren einen Perspektivenwechsel vom Angebot zur Nachfrage vollzogen: Standen früher die Technologien im Fokus, sind es nun künftige Herausforderungen. Deshalb orientiert sich Fraunhofer an den großen Bedarfsweldern der Gesellschaft: Menschen brauchen Gesundheit, Energie, Kommunikation, Umwelt, Mobilität und Sicherheit.

Ausgehend von globalen gesellschaftlichen Herausforderungen hat die Fraunhofer-Gesellschaft in einem institutsübergreifenden Portfolio-Prozess fünf Zukunftsthemen identifiziert, die forschungsintensive Wachstumsmärkte erwarten lassen:

- Verlustarme Erzeugung, Verteilung und Nutzung elektrischer Energie,
- Bezahlbare Gesundheit,
- Produzieren in Kreisläufen,
- Emissionsarme, zuverlässige Mobilität in urbanen Räumen,
- Erkennen und Beherrschen von Katastrophen.

Für diese »Märkte von Übermorgen« will Fraunhofer integrierte Lösungsansätze anbieten und Technologieführer innerhalb der deutschen und europäischen Forschungslandschaft werden. In sieben »Übermorgen-Projekten« werden in den kommenden drei Jahren marktfähige Ergebnisse erarbeitet. Die Fraunhofer-Gesellschaft fördert die Projekte mit insgesamt 33 Millionen Euro. Molecular Sorting ist eines davon.

