

r+Impuls – Ergebnisse aus den Forschungsvorhaben zu Geschäftsmodellen und rechtlichen Rahmenbedingungen

Christian Sartorius, Michael Pittroff, Klaus Opwis, Nils Schirmer, Christoph Fleischer-Trebes

Innovationen, die den Umbau der deutschen Wirtschaft in eine Green Economy vorantreiben, beginnen mit einer guten Idee. In den Laboren deutscher Unternehmen und Forschungsinstitute werden diese Ideen geboren und zunächst vom Grundprinzip bis zur technischen Funktionsfähigkeit im Labor oder im relevanten Umfeld entwickelt. Dieser Teil der Entwicklung umfasst die Technologiereifegrade (engl.: Technology Readiness Level) TRL 1 bis TRL 4 bzw. 5 [8]. Auf die Erreichung dieser Reifegrade zielten auch die drei Fördermaßnahmen ab, die im Rahmen der Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von 2009 bis heute unter der Überschrift „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz“ durchgeführt wurden. Inhaltlich orientierten sich diese an den jeweiligen aktuellen rohstoffwirtschaftlichen Herausforderungen: die „rohstoffintensiven Produktionsprozesse“ (Fördermaßnahme: r²) zu Zeiten der Rohstoffkrise und später, angesichts verschiedener Versorgungsengpässe „Strategische Metalle und Mineralien“ (r³) und schließlich die „Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe“ (r⁴) [1].

Damit die grundsätzlich funktionsfähigen Technikansätze den Weg auf den Markt finden, müssen sie weitere Entwicklungsstufen durchlaufen und zunächst im anwendungsnahen Systemkontext (TRL 6), dann als Prototypen (TRL 7) und schließlich als Demonstrationsanlage (TRL 8) im industrienahen Umfeld (TRL 9) ihre technische und wirtschaftliche Machbarkeit unter Beweis stellen. In der Realität scheitert diese Weiterentwicklung oft an den hohen Risiken, die aus der Höhe der erforderlichen Investitionen und der hohen, damit verbundenen Unsicherheit resultieren und die vor allem kleinere Unternehmen nicht eingehen können oder wollen. Die BMBF-Fördermaßnahme „r+Impuls“ setzt deshalb genau an dieser Stelle an: sie unterstützt Unternehmen in dieser herausfordernden Phase der Technologieentwicklung und setzt so „Impulse für industrielle Ressourceneffizienz“ [2]. Neben den technischen treten auf dem Weg in Richtung Markt noch eine Reihe weiterer Herausforderungen zutage. So findet die technische Entwicklung bspw. in einem institutionellen Umfeld statt, welches den Umgang mit bestimmten Stoffen oder den Bau und Betrieb bestimmter Anlagen mit gesetzlichen Vorgaben belegt. Außerdem ändert sich durch die technische Innovation oft das Verhältnis zwischen dem Entwickler bzw. Anbieter einer Technologie und seinen Kunden, was veränderte Geschäftsmodelle erforderlich macht. Auf Fragen, die sich in diesen Kontexten ergeben, müssen Antworten gefunden werden, damit die innovativen Verfahren oder Produkte auf den Markt treten und sich dort behaupten können. Das Begleit- und Transferprojekt von „r+Impuls“, „r+TeTra“, hat es sich zum Ziel gesetzt, die Forschungsvorhaben bei der Erarbeitung entsprechender Antworten zu unterstützen [7] und zu diesem Zweck unter anderem zwei maßnahmeninterne Workshops organisiert [11], deren Ergebnisse im vorliegenden Beitrag vorgestellt und diskutiert werden.

Sowohl gesetzliche Rahmenbedingungen als auch Geschäftsmodelle lassen sich anschaulich nur vor dem Hintergrund konkreter Technikanwendungen diskutieren. Zu diesem Zweck werden in Kapitel 1 zunächst vier Forschungsvorhaben aus „r+Impuls“ vorgestellt, deren Stellung innerhalb der Wertschöpfungskette sich durch die entwickelten innovativen Technikansätze deutlich verändert hat. Das betrifft in „r+Impuls“ vor allem Vorhaben mit einem bestimmten Innovationstyp. Die Veränderungen der Wertschöpfungsketten und die Stellung der Innovatoren innerhalb der Ketten sind es auch, die, wie in den Kapiteln 2 und 3

dargestellt, einerseits das Potenzial für neue Geschäftsmodelle eröffnen, andererseits aber auch die Anpassung an veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen nach sich ziehen. Kapitel 4 fasst die Ergebnisse und Schlussfolgerungen zusammen.

1. Forschungsvorhaben mit Anpassungsbedarf in „r+Impuls“

„r+Impuls“ hat technisch gesehen vier Stoßrichtungen. Es fördert

- die effiziente Nutzung von Rohstoffen bei der Herstellung von Produkten und dem Betrieb von Anlagen,
- das Recycling von Altmaterialien zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen,
- die Substitution von kritischen Rohstoffen und solchen mit großem ökologischem Fußabdruck durch weniger kritische und ressourcenleichtere sowie
- die Nutzung von Kohlendioxid als Inputmaterial.

Im Hinblick auf den Anwendungsbereich der Neu- und Weiterentwicklungen lassen sich zunächst Produkt- und Prozessinnovationen unterscheiden sowie bei den Prozessinnovationen solche, die innerhalb des eigenen Betriebs oder zwischenbetrieblich, bspw. beim Kunden, zur Anwendung kommen. Innerbetriebliche Prozessinnovationen dienen im r+Impuls-Kontext in der Regel dazu, Herstellungsverfahren für Produkte ressourcenschonender oder unter Einsatz weniger kritischer Einsatzstoffe zu gestalten, ohne dass die Qualität der Produkte dadurch beeinträchtigt wird. Gleiches gilt für Produktinnovationen, bei denen meist Materialien zum Einsatz kommen, die in der Versorgung weniger kritisch sind [10] oder bei der Beschaffung einen geringeren kumulierten Rohstoffaufwand erfordern und damit nachhaltiger sind [9]. Dadurch, dass sich die Produktfunktionalität und -qualität für den Kunden nicht grundlegend ändert, ergibt sich für den Hersteller bezüglich Geschäftsmodellen und gesetzlichen Rahmenbedingungen gegenüber dem Kunden in der Regel kein unmittelbarer Änderungsbedarf. Ganz anders stellt sich die Situation dar, wenn veränderte Verfahren außerbetrieblich beim (Geschäfts-)Kunden zur Anwendung kommen oder diesen mit einbeziehen. In diesem Fall können sowohl die Geschäftsmodelle als auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen betroffen sein. Um die möglichen Änderungen besser diskutieren zu können, werden vier Forschungsvorhaben aus „r+Impuls“, bei denen diese Konstellation vorliegt, im Folgenden vorgestellt.

Forschungsvorhaben „ecoFluor“ – umweltfreundliche, Fluor(F₂)-basierte Reinigungsprozesse in der Halbleiterindustrie [3]

Mikrochips für Handys, Laptops oder Taschenrechner werden in Maschinen der Halbleiterindustrie gefertigt. Die kleinen Elektronikteile entstehen mittels planarer Halbleitertechnologie, d.h. Schicht für Schicht werden abwechselnd leitfähige und isolierende Schichten auf eine Siliziumscheibe aufgebracht. Anschließend erhält der Chip seine Strukturierung. All diese Arbeitsvorgänge finden in speziellen Vakuumkammern, sogenannten PECVD-Kammern, statt. Bei dieser Feinstarbeit – die einzelnen Schichten und Strukturen sind nur wenige Nanometer groß – ist höchste Sauberkeit bei Prozessen, Maschinen und eingesetzten Materialien notwendig. Deshalb müssen nach jeder aufgetragenen Schicht die Prozesskammern mit Gas gereinigt werden. Bisher geschieht die Reinigung mit perfluorierten Kohlenwasserstoffen (PFCs) und Stickstofftrifluorid (NF₃). Diese Gase sind für das Klima bis zu 17.000-mal schädlicher als das bekannte Treibhausgas Kohlendioxid, da sie besonders stabil sind und daher lange in der Atmosphäre verbleiben. Das Projekt „ecoFluor“ setzt auf einen alternativen Gasmix aus Fluor, Stickstoff und Argon, wodurch nicht nur die Fluormenge verringert werden kann. Auch sein Treibhauspotenzial sinkt auf Null. Zudem ist die Nutzung dieser Fluorgasmischungen sehr zeit- und kosteneffizient.

Die Partner von „ecoFluor“ verfolgen den Einsatz ihres Gases arbeitsteilig in zwei Phasen. Solvay, der Initiator aus der Chemie, lieferte die Reinigungsgas-Mischung und schulte das Personal im sicheren Umgang damit. Die Fraunhofer Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien (EMFT) sorgte für die fortlaufende Optimierung der Gasmischung. Die Firma Muegge lieferte eine mikrowellenbasierte Technologie zur bestmöglichen Minimierung der Gasmenge. Texas Instruments schließlich setzte in der zweiten Phase die Mischung in seiner Halbleiterproduktion ein. Hierzu wurde am Produktionsstandort in Freising eine Gasversorgung aufgebaut, mit der die Gasmischung der Solvay Fluor GmbH an einzelnen Produktionsanlagen zur Verfügung gestellt und getestet wurde. Dabei wurde die Langzeitperformance und -stabilität in der Produktion über eine Dauer von neun Monaten und mit etwa 70.000 Wafern erfolgreich dargestellt. Durch den Austausch von NF_3 wurden mehr als 15 Prozent Fluor eingespart und die Reinigungszeit um 5 Prozent verkürzt. Der Ersatz von Hexafluorethan in einem „In situ-Plasma-Reinigungsverfahren“ hat sich als noch effizienter erwiesen: Hier wurde die Reinigungsdauer um etwa 40 Prozent verkürzt und die eingesetzte Fluormenge um 90 Prozent reduziert. Nach der Freigabe für die industrielle Produktion soll das Reinigungsgas „ecoFluor“ nicht nur an den internationalen Standorten von Texas Instruments eingesetzt werden. Stattdessen eröffnet die ökologisch nachhaltige Innovation auch einen Markt für andere Halbleiterproduzenten und Unternehmen verwandter Branchen.

Forschungsvorhaben „Edelmetalladsorber“ – Rückgewinnung von Edelmetallen aus Reststoffströmen der metallverarbeitenden Industrie mit Hilfe faserfixierter Adsorber [4]

Industrielle Prozessabwässer können bedeutende Quellen hochwertiger Edelmetalle wie Platin, Gold, Palladium und Silber sein, deren Nutzung außer Frage steht. Ebenso wie die strategischen Metalle Indium, Gallium, Niob, Tantal und Seltene Erden werden sie für den Hightech-Standort Deutschland benötigt. Bisher existieren für die Rückgewinnung und Aufarbeitung von Metallen aus Prozesswässern unterschiedliche Methoden wie Ionenaustauscher sowie Fällungs-, elektrolytische und pyrometallurgische Verfahren. Ihre Nachteile sind ein hoher Energiebedarf sowie der Einsatz von organischen Lösemitteln und weiteren Hilfschemikalien. Auch sind die meisten dieser Verfahren nicht ausreichend selektiv. Damit ist die Aufkonzentrierung nicht ausreichend und die Verfahren erweisen sich vor allem für gering konzentrierte Prozess- und Spülwässer als unwirtschaftlich.

Durch das am Deutschen Textilforschungszentrum Nord-West entwickelte neue Verfahren können Polyelektrolyte dauerhaft und in hoher Auflage an textilen Trägermaterialien fixiert werden. Letztere bestehen aus Polyester und Polyvinylamin – preiswerten Grundmaterialien, die sich effizient kombinieren lassen. Durch die Beschichtung entstehen sogenannte Adsorbertextilien, die je nach Ausfertigung unterschiedliche Edelmetalle binden und insbesondere auch aus niedrig konzentrierten Prozesswässern der metallverarbeitenden Industrie herausfiltern können. Ihre Praxistauglichkeit haben die innovativen Fasern bereits beim Probefiltern eines Industrieabwassers mit Palladiumgehalt bewiesen: Sie banden das Palladium vollständig, die nachfolgende Verhüttung lieferte das reine Edelmetall. Anknüpfend an diesen Probelauf erhöhte das Projekt den technologischen Reifegrad des Verfahrens: Das Adsorbertextil ging in die industrielle Produktion und wurde zum Filtern industriellen Abwassers bei einem Leiterplattenhersteller eingesetzt. Hier kam der starke Verbund der Projektpartner entlang der gesamten Wertschöpfungskette zum Tragen: Heimbach Filtration sorgte für die Textilherstellung, Textilausrüstung Roessing übernahm die Ausrüstung und Konfektionierung, die Cornelsen Umwelttechnologie verantwortete den Anlagenbau für die Filtereinheit. Der Leiterplattenhersteller Unimicron Germany setzte das Textil für seine industriellen Wässer ein und die Firma Wieland Edelmetalle übernahm das abschließende Recycling der Edelmetalle.

Zwischenzeitlich wurde zudem nachgewiesen, dass sich das entwickelte Adsorbertextil auch für andere Fälle der selektiven Edelmetallrückgewinnung sowie bei der Adsorption von umweltproblematischen Metallen wie Chrom, Arsen oder Cadmium aus niedrigkonzentrierten Wässern einsetzen lässt. Dabei wird auch die Möglichkeit betrachtet, die neu entwickelte Technik bei der Gewinnung von Primärrohstoffen – etwa aus Sickerwässern im Bergbau oder aus Oberflächengewässern – zu nutzen. Daraus ergeben sich für die Partner weitere vielversprechende Arbeitsfelder.

Forschungsvorhaben „EZiRec“ – Effizientes Zinn-Recycling aus Abfallprodukten der Leiterplattenfertigung [5]

Zinn ist ein traditioneller und zugleich moderner Rohstoff. Es ist ein wichtiges Metall zur Herstellung von Lötmaterial für die Elektronikbranche sowie von Weißblech und Chemikalien für die Galvano- und Katalysatorbranche. Seine Einsatzgebiete erweitern sich stetig. Das Wachstum der Zukunftsbranche Elektronikindustrie erhöht weltweit den Bedarf an Zinn – entsprechend steigen auch die Preise auf dem Weltmarkt. Im Projekt „EZiRec“ widmet sich das Unternehmen TIB Chemicals dem effizienten Recycling von Zinn und Kupfer aus sogenannten Zinn-Strippern und führt die enthaltenen Metallanteile einer Wiederverwertung zu. Zinn-Stripper werden im Produktionsprozess verwendet, um überflüssige Zinnschichten von den Leiterplatten zu entfernen, zu „stripfen“. Sie basieren auf konzentrierter Salpetersäure und enthalten mehrere Zusatzstoffe. Dieser chemische Mix ist notwendig, damit beim Entfernen des Zinns die Leiterbahnen aus Kupfer nicht beschädigt werden. Deutschlandweit werden bis zu 1.000 Tonnen Zinn-Stripper jährlich genutzt.

Zinn-Stripper werden verwendet bis ihre Kapazität erschöpft ist. Entsprechend hoch ist in der gesättigten Lösung der Gehalt an Zinn. Zudem enthält die Flüssigkeit geringe Anteile an Kupfer. Die verbrauchten Zinn-Stripper werden bisher in der Regel ungenutzt entsorgt, eine Verwertung der Metallgehalte findet nicht statt. TIB Chemicals hat nun eine Methode entwickelt, das Zinn effizient zu recyceln. Im Zentrum der Innovation steht eine hydrometallurgische Aufbereitung, die die saubere Trennung der Metalle Zinn und Kupfer von der verunreinigten, nitrathaltigen Stripperlauge erlaubt. Das aufbereitete zinnhaltige Material wird an Sekundärhütten verkauft, wo die Metalle Zinn und Kupfer durch ein pyrometallurgisches Verfahren in hoher Reinheit aus dem hydrometallurgisch vorbehandelten Zwischenprodukt gewonnen werden.

Auf dem Weg zum technischen Maßstab wurde zunächst auf Basis von Ergebnissen aus dem Labor und aus Betriebsversuchen der Aufbau der Anlagentechnik vorbereitet. Dafür wurden auch die Anlieferung der Rohstoffe, die Lagerung, der interne Transporte sowie die effiziente Verarbeitung und Trennung berücksichtigt. Für den Betrieb der Anlage wurde ein neuer Gebäudeteil auf dem Gelände der TIB Chemicals errichtet. Ziel des Projekts war ein stabiles Verfahren, das auch bei Zinnschlammern unterschiedlichster Qualität kontinuierlich hohe Produktqualität für die Sekundärhütten sicherstellt. Mit dem Erreichen dieses Ziels können nun Abfälle mit hohem Zinngehalt aus unterschiedlichsten Industrien verwertet werden, die zuvor nicht oder nur schlecht in pyrometallischen Recyclingverfahren verarbeitet werden konnten. So steht die Technologie auch anderen Nutzern offen. Im ersten Halbjahr 2018 wurden ausreichende Mengen verbrauchter Zinn-Stripper geliefert, um den Prozess mit guter Auslastung zu betreiben. Die angestrebten monatlichen Recyclingquoten wurden erreicht oder sogar leicht übertroffen. Die Kostenvorteile des Verfahrens führen dazu, dass die Menge an verfügbarem Recyclingrohstoff aktuell weiter zunimmt, da weitere Partner gewonnen werden konnten.

Forschungsvorhaben „ReeL“ – Ressourceneffiziente Herstellung von Lederchemikalien [6]

Bis eine Tierhaut in Leder für Schuhe, Taschen oder Jacken verwandelt wird, durchläuft sie einen vier-stufigen Produktionsprozess, in dessen Mittelpunkt das Gerben steht: Zunächst wird sie in einer Wasserwerkstatt auf den Gerbprozess vorbereitet. Dann erfolgt die Gerbung: Die Haut wird stabilisiert, indem ihre Kollagenfaser chemisch fixiert wird. Beim anschließenden Nachgerben erhält das Leder seinen artikelspezifischen Charakter, indem die fixierte Ledermatrix je nach Anwendung mit Nachgerbstoffen gefüllt, mit Farbstoffen gefärbt und mit Fettungsmitteln auf Weichheit und Funktionalität eingestellt wird. Im letzten Arbeitsgang erhält die Lederoberfläche einen dünnen Schutzfilm aus Lack. Erst nach diesen vier Schritten erfolgt die Verarbeitung zu den vielfältigen Lederprodukten.

Die Kerninnovation von „ReeL“ besteht darin, aus den bei der Lederherstellung angefallenen Lederresten erneut Gerbstoffe zu gewinnen. Die Zutaten des nachhaltigen Nachgerbstoffes bestehen aus den Schnittabfällen und Falzspänen des Leders sowie pflanzlicher Biomasse. Beim Falzen, der Einstellung einer über die gesamte Fläche einheitlichen Lederdicke, fallen allein in Deutschland jedes Jahr etwa 7.000 Tonnen Falzspäne an, weltweit wird die Menge auf 600.000 Tonnen jährlich geschätzt. Hinzu kommen in Deutschland Schnittreste im Umfang von schätzungsweise 1.500 bis 2.000 Tonnen jährlich – eine Ressource, die es zu nutzen gilt.

„ReeL“ ist aber auch eine Innovation in Sachen Logistik: Lederreste werden nicht zentral in industriellen Großanlagen aufbereitet, sondern dort, wo sie anfallen. Zu diesem Zweck wurde eine modulare Pilotanlage für den Betrieb in einer Gerberei errichtet. Zur Entwicklung dieser Anlage wie auch des gesamten Verfahrens haben sich das Forschungsinstitut Invite, das Chemieunternehmen Lanxess und die Gerberei Heller-Leder zusammengeschlossen. Schon Ende 2017 wurde eine Pilotanlage in Betrieb genommen, in der nachträglich verschiedene kleinere Veränderungen am Kessel vorgenommen wurden. Seitdem laufen alle chemischen Reaktionen problemlos und gut kontrolliert. Aktuell werden die Produktparameter des hergestellten Nachgerbstoffs noch besser an die jeweiligen Anwendungen angepasst und der gesamte Prozess hinsichtlich der Einsatzmengen optimiert, was für die Wirtschaftlichkeit wichtig ist.

In einer Weiterführung des Projekts ist geplant, den Einsatz von chromhaltigen Falzspänen – verbunden mit einer Abtrennung und Rückführung des Chroms als Gerbstoff – zu pilotieren. Dies wäre für eine Vermarktung der Technologie insbesondere in Asien sehr wichtig, da hier fast ausschließlich mit Chrom gegerbt wird. Ebenso soll der Einsatz von Proteinhydrolysaten als flammhemmendes Additiv in anderen Industrien untersucht werden. Damit könnten dann 100 Prozent der anfallenden Lederreste einer sinnvollen Weiterverwendung zugeführt werden.

Ein weiteres Forschungsvorhaben aus „r+Impuls“, „KOMPASS“, wäre geeignet, die vorangegangene Liste zu ergänzen. Dabei handelt es sich, wie der ausführliche Projektname darstellt, um die Entwicklung einer kontinuierlichen Öl- und Metallrückgewinnungs-Prozessanlage für Schlämme und Späne. Auch diese Anlage ist für den dezentralen Einsatz in Unternehmen mit entsprechendem Aufkommen an Metallspänen und -schlämmen bestimmt. Das Projekt wird von Rüdiger Deike in einem anderen Beitrag zu diesem Band beschrieben.

2. Geschäftsmodelle

Im vorangegangenen Kapitel wurden technische Innovationen dargestellt, die im Rahmen von Produktionsprozessen wertvolle Rohstoffe einsparen oder zurückgewinnen. Meist betreffen die Innovationen Betriebsmittel, die effizienter verwendet, substituiert oder recycelt werden.

Damit ändert sich die Rolle der Lieferanten der jeweiligen Betriebsmittel in der Wertschöpfungskette, was zugleich Auswirkungen auf die Geschäftsmodelle hat, die zweckmäßigerweise zum Einsatz kommen. Geschäftsmodelle charakterisieren die Wechselbeziehungen, in die die Glieder einer Wertschöpfungskette, zum Beispiel Lieferant und Kunde, treten, um ein für beide Seiten vorteilhaftes Geschäft zu machen. Im einfachsten Fall verkauft der Lieferant dem Kunden ein Betriebsmittel ohne zu wissen, wofür es verwendet wird. In diesem Fall beschränkt sich die Beziehung auf den reinen Verkauf. Dieser ist sowohl für den Lieferanten profitabel, weil sein Erlös höher ist als die Gestehungskosten, als auch für den Käufer, weil das Betriebsmittel die Herstellung von Gütern erlaubt, die gewinnbringend verkauft werden können.

Hat nun, wie im Fall von „ecoFluor“, der Lieferant Kenntnisse über den Produktionsprozess, in den die Betriebsmittel einfließen, so kann er aktiv nach Alternativen suchen, die den Produktionsprozess effizienter gestalten. Die Firma Solvay übernimmt diese Rolle, indem sie für die Reinigung der Vakuumbeschichtungskammern anstelle von perfluorierten Kohlenwasserstoffen (PFCs) oder Stickstofftrifluorid (NF_3) einen klimafreundlicheren Gasmix aus Fluor, Stickstoff und Argon vorschlägt, der darüber hinaus eine effizientere Reinigung ermöglicht. Da der innovative Gasmix aggressiver ist als das ursprüngliche Reinigungsgas müssen die Mikrochip-Fertigungsanlagen nachgerüstet werden, um selbst nicht Schaden zu nehmen und die Gesundheit der Arbeiter nicht zu gefährden. Die Firma Solvay kennt sich mit dem Handling von Fluor aus und kann hier wertvolle Hilfestellung leisten. Ist der Einsatz des Gasmixes auch wirtschaftlich vorteilhaft, können sich beide den Vorteil teilen, so dass eine Win-Win-Situation resultiert. Voraussetzung dafür ist im Vergleich zur reinen Lieferbeziehung, dass Informationen ausgetauscht werden: über den Produktionsprozess seitens des Leiterplattenherstellers Texas Instruments und über das Betriebsmittel und dessen Handling seitens des Fluorchemieherstellers Solvay. Wichtig ist in diesem Zusammenhang die Vertraulichkeit zwischen den Vertragspartnern, damit Informationen über die von ihnen angewendeten Technologien nicht in die Hände Dritter gelangen.

Die Firma TIB Chemicals im Projekt „EziRec“ ist Lieferant von sogenanntem Zinnstripper, einem Chemikaliengemisch, mit dem überschüssiges Zinn von Leiterplatten entfernt wird. Dieser Stripper verliert aber im Verlauf der Anwendung dadurch seine Funktionsfähigkeit, dass die enthaltene Säure verbraucht und durch die gestrippten Substanzen verunreinigt wird. Während der verbrauchte Zinnstripper bisher neutralisiert und entsorgt wurde, besteht der innovative Ansatz von EziRec darin, den gebrauchten Zinnstripper zurückzunehmen und sowohl die gestrippten Metalle Zinn und Kupfer als auch aus der Säure entstandenes Nitrat zurückzugewinnen. Auch in diesem Fall ist die Kenntnis des Stripp-Prozesses seitens des Stripper-Herstellers TIB Chemicals Anlass für die Innovation. Die Firma kennt die Anforderungen der Leiterplattenhersteller, die ihr Produkt verwenden, und die dem Prozess zugrundeliegende Chemie. In diesem Fall verwendet sie ihr Knowhow jedoch nicht dazu, die Strippereigenschaften zu verbessern, sondern den verbrauchten Stripper einer weiteren Verwendung zuzuführen. Maßgeblich ist hier ihre Kenntnis über die Zusammensetzung des verbrauchten Strippers und die weiteren Verwendungsmöglichkeiten seiner Bestandteile, insbesondere der Zinn- und Kupferbestandteile in der Hüttenindustrie. Kritisch für die Tragfähigkeit des Geschäftsmodells ist, dass das Recycling abzüglich der Erlöse für die Zurücknahme des gebrauchten Strippers und den Verkauf der zurückgewonnenen Metalle und des Nitrats kostengünstiger ist als die Neutralisierung und Deponierung des Altstrippers. Dazu muss der Metallgehalt des gebrauchten Strippers möglichst hoch und der Gehalt an sonstigen Verunreinigungen, die die Aufbereitung verteuern, möglichst niedrig sein. Um hier die richtigen Anreize zu setzen, wird der vom Verwender zu zahlende Rücknahmepreis für den

gebrauchten Stripper so gestaltet, dass er mit zunehmendem Metallgehalt sinkt und mit zunehmender Verunreinigung steigt.

Noch weiter geht die Integration der Stoff- und Knowhow-Ströme im Projekt „ReeL“. Die Federführung hat hier die Firma Lanxess, die unter anderem Chemikalien zur Herstellung und Behandlung von Leder herstellt und damit Lederhersteller und -veredler wie die Firma Heller-Leder beliefert. Im Zuge der Kooperation der beiden Unternehmen und auf Basis der genauen Kenntnis der Chemie der verschiedenen Verarbeitungsprozesse und dazugehörigen Stoffströme seitens Lanxess hat sich herausgestellt, dass ein wichtiger Abfallstrom, Falzspäne und Schnittreste aus der Lederbearbeitung, zu einem Nachgerbstoff aufgearbeitet und damit wiederverwertet werden können. Diese Zusammenarbeit geht noch einen Schritt weiter als bei „EziRec“, weil ein großer Teil der zurückgewonnenen Substanz im gleichen Unternehmen zum Einsatz kommt, wo zuvor der Abfall anfiel. Das war auch der Anlass, die Aufarbeitungsanlage so zu konzeptionieren, dass sie gleich bei Heller-Leder aufgestellt werden kann, weil dadurch aufwändige Transporte vermieden werden können. Verfahrenstechnisch ist die Anlage also in den Betrieb von Heller-Leder integriert, betrieben (d.h. gesteuert) wird sie aber weitgehend von Lanxess, die die entsprechende chemische Verfahrenstechnik beherrschen. Für das Geschäftsmodell bedeutet das, dass jenseits des Pilotbetriebs Unternehmen wie Heller-Leder die Anlage nicht kaufen, sondern für deren Nutzung ein Entgelt an den Betreiber zahlen würden.

Ist der Integrationsgrad weniger hoch, kommen auch andere Geschäftsmodelle in Frage. Im Projekt „Edelmetalladsorber“ wird ein Textilfilter dazu genutzt, Edelmetalle aus einem industriellen Abwasserstrom zu adsorbieren und damit herauszufiltern. Diese Technik erfordert keine hochqualifizierten verfahrenstechnischen Kenntnisse. Die Filteranlage könnte also vom Nutzer gekauft oder geleast und selbst betrieben werden. Die Herausforderung bzgl. des Geschäftsmodells besteht hier im Umgang mit den gebrauchten, mit Edelmetall beladenen Filtern. Aktuell ist vorgesehen, dass diese vom Hersteller zurückgenommen und der Wert des enthaltenen Edelmetalls nach Abzug der für die Rückgewinnung anfallenden Kosten dem Nutzer zurückerstattet werden.

3. Gesetzliche Grundlagen

In Kapitel 2 wurde dargestellt, dass es sinnvoll sein kann, Recyclinganlagen dezentral (d.h. On-Site) am Ort des Aufkommens von Produktionsrückständen zu installieren, um transportbedingte Nachteile und Umweltauswirkungen zu reduzieren. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auch die Errichtung und der Betrieb der dezentralen Anlagen selbst eine Genehmigung erfordert, die im Zuge der Erfüllung der Genehmigungsvoraussetzungen sicherstellt, dass z.B. Gefahren, erhebliche Belästigungen oder erhebliche Nachteile durch den Betrieb solcher Recyclinganlagen verhindert werden. Einige dieser Voraussetzungen, die auch für die Ausgestaltung von Geschäftsmodellen relevant sind, werden im Folgenden diskutiert.

Allgemein ergibt sich die Genehmigungspflicht für dezentrale Recyclinganlagen aus dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG, insbesondere §§ 4 und 5). Wie aufwändig das entsprechende Genehmigungsverfahren wird, hängt unter anderem davon ab, ob es förmlich (mit Öffentlichkeitsbeteiligung) oder in vereinfachter Form (ohne Öffentlichkeitsbeteiligung) durchzuführen ist. Ein Verfahren in vereinfachter Form ist möglich, wenn

- der Betrieb als Nebeneinrichtung zu der die Rückstände produzierenden Anlage (aufgrund Änderungsgenehmigung gemäß § 16 BImSchG) erfolgt und sie im Vergleich zu letzterer von geringer immissionschutzrechtlicher Relevanz ist oder
- bei einer selbständigen Anlage für ein förmliches Verfahren geltende Leistungsmerkmale nicht erreicht werden sowie (in beiden Fällen)

- keine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen ist.

Bei einer Anlage handelt es sich um eine Nebeneinrichtung, wenn sie für den Betrieb der Hauptanlage unerlässlich ist oder wenn sie diesem dient, d. h. ggf. wenn mit ihrer Hilfe ein Nebenprodukt in der Anlage wiederverwendet wird. Außerdem muss die Nebeneinrichtung denselben Betreiber (= derjenige, der Weisungen zum Betrieb erteilt) aufweisen wie die Hauptanlage. Bei „ReeL“ trifft letzteres nicht zu, deshalb müsste diese Anlage als selbständige Anlage genehmigt werden.

Die Frage der Selbständigkeit spielt auch im Hinblick auf die Genehmigungsfrist eine Rolle. Soll ein bei der Produktion entstehender, nicht als Produkt anfallender Stoff in *selbständigen* On-Site-Recyclinganlagen behandelt werden und handelt es sich um ein *Nebenprodukt* gemäß § 4 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), dann sind diese Anlagen erst 12 Monate nach Betriebsbeginn genehmigungspflichtig. Die 12-Monatsfrist kann dann bspw. dazu genutzt werden, die Anlage am Standort vor der Genehmigung zu testen. Handelt es sich dagegen um Abfall i. S. d. § 3 KrWG, dann ist die Genehmigung von Beginn an erforderlich. Allerdings können auch abfallverarbeitende Anlagen die ersten 12 Monate genehmigungsfrei sein, wenn die Behandlung des Abfalls am Entstehungsort stattfindet (Regelfall: Asphaltbrecher). Diese Bedingung kann im Fall von „ReeL“ wohl erfüllt werden.

Ob eine Genehmigung als selbständige Anlage letztlich aufwändiger ist als eine Genehmigung als Nebeneinrichtung hängt im Einzelfall von den spezifischen Bedingungen vor Ort ab, insbesondere also von

- der Empfindlichkeit der jeweils gefährdeten Schutzgüter und der daraus resultierenden spezifischen immissionsschutzrechtlichen Tatbestände,
- der unterschiedlichen Auslegung unbestimmter Rechtsbegriffe durch die Behörden und
- der bundeslandspezifischen Erlasslage.

Hervorzuheben ist dabei, dass nach der derzeitigen Gesetzeslage jede einzelne dezentrale Recyclinganlage, die nicht nur Forschungs- oder Demonstrationszwecken dient und länger als ein Jahr betrieben werden soll, einer Genehmigung für ihren spezifischen Standort bedarf. Das kann für die weitere Verbreitung solcher Anlagen ein Hemmnis sein. Von großem Vorteil wäre hier eine Bauartzulassung, d. h. eine einmalige Genehmigung bauartgleicher Anlagen, wie sie bspw. auf der Grundlage von § 60, Absatz 3 Wasserhaushaltsgesetzes und den entsprechenden Landeswassergesetzen in Verbindung mit der Abwasserverordnung bei der Abwasserbehandlung gängige Praxis ist. Von dieser Regelung kann vsl. auch der „Edelmetalladsorber“ Gebrauch machen, da die Rückgewinnung des Edelmetalls aus dem Abwasser eine Abwasserreinigung darstellt.

Grundsätzlich sieht auch das BImSchG in § 33 die Möglichkeit einer Bauartzulassung vor. Allerdings muss dazu erst eine entsprechende Verordnung in Kraft gesetzt werden, die zunächst das Verfahren der Bauartzulassung regelt und darüber hinaus festlegt, für welche Arten von Anlagen unter welchen Bedingungen und Auflagen eine solche Zulassung möglich ist. Von dieser Möglichkeit hat der Gesetzgeber bislang nicht Gebrauch gemacht. Sollte sich jedoch herausstellen, dass dezentrale On-Site Recyclinganlagen ein großes Potenzial zur Umwelt- und Ressourcenschonung aufweisen, wäre zu überlegen, wie eine entsprechende Verordnungsinitiative auf den Weg gebracht werden kann.

4. Zusammenfassung

Ziel der vorgestellten „r+Impuls“-Vorhaben ist es, innovative industrielle Verfahren zur Marktreife zu bringen, mit deren Hilfe der Rohstoffverbrauch im Produktionsprozess unmittelbar oder durch das Recycling gebrauchter Rohstoffe mittelbar reduziert werden kann.

Es zeigt sich, dass diese Steigerung von Effizienz und Recyclinggrad Veränderungen in der Verfahrenstechnik erfordert, die häufig nicht von einem Unternehmen alleine bewältigt werden können. In vielen Fällen leisten die Lieferanten von Anlagentechnik und Betriebsmitteln für die Weiterentwicklung entscheidende Beiträge. Und selbst wenn andere Glieder der Wertschöpfungskette nicht unmittelbar einbezogen sind, ist es oft wichtig, dass zumindest die Bedürfnisse von Abnehmern eigener (Zwischen-)Produkte berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass die Wechselwirkungen und der Informationsaustausch entlang der Wertschöpfungskette sich mit steigender Leistungsfähigkeit intensivieren. Das hat gleichzeitig bedeutende Auswirkungen auf die Geschäftsmodelle der beteiligten Unternehmen. Während früher das Geschäftsmodell im einfachsten Fall aus einer einfachen Lieferbeziehung zwischen Hersteller und Kunden bestand, werden die Anforderungen an Anlagen oder Betriebsmittel mit zunehmendem Innovationsgrad spezifischer. Entsprechendes Knowhow wird in größerem Umfang ausgetauscht, muss aber gleichzeitig auch als geistiges Eigentum geschützt werden. Außerdem müssen gerade beim Recycling geeignete Anreize gesetzt werden, damit aufbereites Altmaterial von den (vormaligen) Nutzern gesammelt und in geeigneter Qualität bereitgestellt wird.

Eine Steigerung der Recyclingquoten setzt nicht nur, wie dargestellt, eine intensivere Wechselwirkung zwischen Altmateriallieferanten und Aufbereitern voraus. Oftmals kann es sich auch als vorteilhaft erweisen, das Recycling dezentral dort durchzuführen, wo das Altmaterial anfällt und/oder der erzeugte Sekundärrohstoff gebraucht wird. Solche Anlagen brauchen in den meisten Fällen eine standortspezifische Betriebsgenehmigung, meist nach BImSchG. Der Aufwand für die Beantragung einer solchen Genehmigung hängt von einer Reihe von Umständen ab, die auch durch die jeweiligen Geschäftsmodelle bedingt und im Einzelfall abzuklären sind. Beispielsweise spielt es eine Rolle, wer Betreiber der Recyclinganlage ist, ob das Altmaterial als Abfall eingestuft wird und ob das recycelte Material im gleichen Betrieb oder auch extern zur Verwendung kommt. Dieser Beitrag gibt beispielhaft Hinweise zu den relevanten Faktoren, stellt aber keine umfassende Aufarbeitung dar. Insgesamt ist festzustellen, dass diese einzelfallbezogene Genehmigungspraxis hohe Transaktionskosten nach sich zieht, die für eine rasche Verbreitung der Technologie nicht förderlich sind, die aber durch die Einführung einer Bauartzulassung deutlich gemindert werden könnten.

5. Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung der im Beitrag dargestellten Forschungsvorhaben (FKZ 033R151, 033R153, 033R157, 033R158 und 033R160) und den TeilnehmerInnen des Workshops „Rechtliche Anforderungen und Geschäftsmodelle für den Betrieb dezentraler Anlagen“ (08.03.2018, Düsseldorf), insbesondere Andreas Franz (Bezirksregierung Arnsberg), für ihre wichtigen Beiträge.

6. Referenzen

- [1] Bundesministerium für Bildung und Forschung: r4 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz - Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe. <https://www.fona.de/de/r4-innovative-technologien-fuer-ressourceneffizienz-forschung-zur-bereitstellung-wirtschaftsstrategischer-rohstoffe-16664.html> (30.11.2018)
- [2] Bundesministerium für Bildung und Forschung: r+Impuls – Impulse für industrielle Ressourceneffizienz. <https://www.fona.de/de/r-impuls-18039.html> (30.11.2018)

- [3] Bundesministerium für Bildung und Forschung: ecoFluor – Innovative und umweltfreundliche, auf Fluor (F₂) basierte Reinigungsprozesse als Ersatz für NF₃ und PFCs in der Halbleiterindustrie. <http://www.r-plus-impuls.de/rplus-de/verbundprojekte/projekte/ecofluor.php> (30.11.2018)
- [4] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Edelmetalladsorber – Rückgewinnung von Edelmetallen aus Reststoffströmen der metallverarbeitenden Industrie mit Hilfe von faserfixierten Adsorbern. <http://www.r-plus-impuls.de/rplus-de/verbundprojekte/projekte/edelmetalladsorber.php> (30.11.2018)
- [5] Bundesministerium für Bildung und Forschung: EZiRec – Effizientes Zinn-Recycling aus Abfallprodukten der Leiterplattenfertigung. <http://www.r-plus-impuls.de/rplus-de/verbundprojekte/projekte/ezirec.php> (30.11.2018)
- [6] Bundesministerium für Bildung und Forschung: ReeL – Ressourceneffiziente Herstellung von Lederchemikalien. <http://www.r-plus-impuls.de/rplus-de/verbundprojekte/projekte/reel.php> (30.11.2018)
- [7] Bundesministerium für Bildung und Forschung: r+TeTra – Begleit- und Transferprojekt der Fördermaßnahme r+Impuls. <http://www.r-plus-impuls.de/rplus-de/begleit-transferprojekt/> (30.11.2018)
- [8] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Technology Readiness Level (TRL). <https://www.nks-kmu.de/teilnahme-trl.php> (30.11.2018)
- [9] Dittrich, M.; Kämper, C.; Ludmann, S.; Ewers, B.; Giegrich, J.; Sartorius, C.; Hummen, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Schoer, K.: Strukturelle und produktionstechnische Determinanten der Ressourceneffizienz: Untersuchung von Pfadabhängigkeiten, strukturellen Effekten und technischen Potenzialen auf die zukünftige Entwicklung der Rohstoffproduktivität (DeteRess). Umweltbundesamt Texte 29/2018, Dessau/Roßlau, 2018, S. 74–90
- [10] Marscheider-Weidemann, F.; Langkau, S.; Hummen, T.; Erdmann, L.; Tercero-Espinoza, L.A.; Angerer, G.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016. Studie im Auftrag der Deutschen Rohstoffagentur in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin, 2016
- [11] Sartorius, C.: r+Impuls-Workshop „Rechtliche Anforderungen und Geschäftsmodelle für den Betrieb dezentraler Anlagen“. <http://www.r-plus-impuls.de/rplus-de/veranstaltungen/2018/2018-03-08-workshop.php> (30.11.2018)

Kontaktdaten

- Vorname: Christian
- Name: Sartorius
- Titel: Dr. Dr.
- Organisation/Firma: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI
- Position: Projektkoordinator
- Abteilung: Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme
- Straße: Breslauer Straße 48
- PLZ Ort: 76139 Karlsruhe
- Tel.: 0721/6809-118

E-Mail: c.sartorius@isi.fraunhofer.de

- Vorname: Michael
Name: Pittroff
Titel:
Organisation/Firma: Solvay Fluor GmbH, Hannover
- Vorname: Klaus
Name: Opwis
Titel: Dr.
Organisation/Firma: Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH, Krefeld
- Vorname: Nils
Name: Schirmer
Titel: Dr.
Organisation/Firma: TIB Chemicals AG, Mannheim
- Vorname: Christoph
Name: Fleischer-Trebes
Titel: Dr.
Organisation/Firma: INVITE GmbH, Köln