

Antworten zu ausgewählten Fragen der  
**Enquetekommission "Zukunft der chemischen Industrie" des Landtages NRW**  
zur Anhörung am 20. Sept. 2013  
"Rohstoffsituation - Schwerpunkt Rohstoffeffizienz und Rohstoffsubstitution"

vom Wuppertal Institut, Forschungsgruppe Stoffströme und Ressourcenmanagement  
(Leitung: Prof. Dr. Stefan Bringezu)

Stand: 13. September 2013



Kreisläufe

*(3) Welche Rahmenbedingungen müssten geschaffen werden, um Kreislaufwirtschaft in Konkurrenz zu Verbrennung und Deponierung zu begünstigen?*

Rezyklierbare Produkte der chemischen Industrie sind insbesondere solche aus Kunststoffen. Wenngleich ein erheblicher Teil der Kunststoffe bereits getrennt gesammelt wird und davon ein Teil dem werkstofflichen Recycling zugeführt wird, landeten im Jahr 2011 immer noch 55% in Verbrennungsanlagen (Consultic 2012).

Durch Überkapazitäten in der thermischen Verwertung von Abfällen in NRW ergeben sich extrem niedrige Spotpreise für die Verbrennung von Gewerbeabfällen, mit denen die stoffliche Verwertung nicht konkurrieren kann - dies gilt insbesondere für den Bereich der Kunststoffabfälle. Hier liegt offensichtliches Marktversagen vor, da die extrem niedrigen Preise für die Gewerbeabfallverbrennung durch höhere Gebühren für die Hausmüllverbrennung quersubventioniert werden. Notwendig wären daher neben einer kurzfristigen Reduktion der Gesamtkapazität eine integrierte Gesamtkapazitätsplanung, die unter anderem eine Wiedereinführung der Bedarfsprüfung bei der Anlagengenehmigung beinhaltet. NRW sollte sich zudem gegen die Gleichstellung der thermischen und stofflichen Verwertung ab Heizwerten von 11.000 kJ einsetzen. Würden Anlagen zur thermischen Verwertung mit CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien ausgestattet und das aufgefangene CO<sub>2</sub> als Rohstoff eingesetzt (s.u.), könnten diese Stoffflüsse dann der stofflichen Verwertung zugerechnet werden; dies wäre bei Mischfraktionen von Kunststoff-, Holz-, Papier-, Haushaltsabfällen sinnvoll, deren Getrenntsammlung bzw. weitere Separation ökonomisch und ökologisch nur mit unvermeidbar hohem Aufwand möglich wäre.

Zur Stärkung seiner Vorreiterrolle im Bereich Ressourceneffizienz sollte NRW gewichtsbasierte Vorgaben des KrWG durch sektorale Vereinbarungen ergänzen, die die Materialintensität zurückgewonnener Rohstoffe berücksichtigen. Damit würden Anreize gesetzt, die in einzelnen Abfallströmen enthaltenen Rohstoffe einer möglichst hochwertigen Verwertung zuzuführen. Insbesondere bei Produktabfällen, die der erweiterten Herstellerverantwortung unterliegen, sollten Hersteller diese Vorgaben auch durch produktspezifische Veränderungen erreichen können, indem sie den ökologischen Rucksack von Produkten - konkret: den kumulierten Primärmaterialaufwand - verringern, die Demontage- oder Reparaturfähigkeit von Produkten verbessern oder die Sammelmengen erhöhen.

Bei der Beauftragung abfallwirtschaftlicher Unternehmen durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sollten Vertragsmodelle entwickelt werden, die die Entlohnung nicht nur auf Basis entsorgter, sondern auch verwerteter oder vermiedener Abfallmengen definieren (vgl. z.B. das Modell in Manchester). Zudem sollten Teile der kommunalen Müllgebühren auch zur Förderung von Initiativen zur Abfallverwertung und -vermeidung eingesetzt werden können. Hierzu müssten vor allem die Vorgaben für kommunale Abfallwirtschaftskonzepte auf die veränderten Anforderungen an die Abfallwirtschaft (Ressourceneffizienz, Recyclinggesellschaft, Abfallvermeidung) angepasst werden.

#### *(4) Wie beeinflusst ein schneller Technologiewechsel die Recyclingraten von Wirtschaftsgütern?*

Technologische Innovationen sind einerseits notwendig, nicht zuletzt, um die Ressourceneffizienz über den gesamten Lebenszyklus von Produkten steigern zu können. Andererseits stellen sie häufig eine Herausforderung für das Recycling dar: (a) wenn die (neue) stoffliche Zusammensetzung und die Bauart der Produkte ein Recycling behindert, und (b) dadurch dass neue Produktchargen erst nach dem Ende der Nutzungsdauer für ein Recycling zur Verfügung stehen.

Immer kürzere Innovationszyklen bei Produkten stellen das Recycling vor zwei zentrale Herausforderungen:

- zum einen verändert sich damit häufig die stoffliche Zusammensetzung von Abfallströmen, was Investitionen in hoch spezialisierte Aufbereitungstechniken deutlich riskanter macht. Ein aktuelles Beispiel ist die in den letzten Jahren stark angestiegene Verbreitung von SSD (Solid State Drive) Speichermedien in Laptops, die z.B. zuvor getätigte Investitionen in die Rückgewinnung von Seltenen Erden-Magneten in Festplatten in Frage stellt. Ohne genaue Kenntnis der Inhaltsstoffe ist auch eine gezielte Sammlung oder Demontage einzelner Komponenten zusätzlich erschwert (vgl. von Gries und Wilts 2013).
- zum anderen können Technologiewechsel den Absatz von recycelten Sekundärrohstoffen erschweren. Das Beispiel der Sekundärkunststoffe von PE-HD, PP oder ABS zeigt, dass Aufbereitungstechnologien speziell für bestimmte Einsatzgebiete abgestimmt werden müssen. Verändern sich eingesetzte Kunststoffarten oder Zuschlagstoffe, so werden damit häufig kostenintensive Anpassungen der Anlagen notwendig. Damit wird u.a. die thermische Verwertung begünstigt, die weit aus weniger Informationen über die exakte stoffliche Zusammensetzung erfordert. Längerfristig würde die Verbrennung mit nachgeschalteter CO<sub>2</sub>-Nutzung (s.u.) wie auch das rohstoffliche Recycling erlauben, mit wechselnden Zusammensetzungen von Polymeren besser zurecht zu kommen.

Der technische Fortschritt soll nicht durch abfallwirtschaftliche Vorgaben verlangsamt werden, notwendig wären aber z.B.

- eine stärkere Transparenz eingesetzter Stoffe, hierzu müssten die in der Realität weitgehend wirkungslosen Vorgaben des ElektroG und der AltAutoV dahingehend präzisiert werden, dass sie eine Quantifizierung der eingesetzten Materialien und die Lokalisierung der Herkunft der eingesetzten Rohstoffe ermöglichen;

- eine stärkere Berücksichtigung der Demontage- und Recyclingfähigkeit beim Produktdesign; hier bedarf es einer Konkretisierung des §4 KrWG, indem produktengruppenspezifisch klare Kriterien entwickelt werden, was im Sinne einer hochwertigen Verwertungsmöglichkeit zu berücksichtigen ist und wie Hersteller im Falle klarer Verstöße an den dadurch entstehenden Kosten beteiligt werden können.

*(5) Wie hoch schätzen Sie das Potenzial zur Gewinnung von Rohstoffen für die chemische Industrie durch "Urban Mining" einschließlich der Aufarbeitung von alten Abraumhalden in Deutschland, Europa, global ein?*

Die Nutzung von Abraumhalden könnte allenfalls zur Gewinnung von Restgehalten an metallischen Rohstoffen früherer Erzminen in Betracht kommen. Die potenziell extrahierbaren Mengen spielen im Hinblick auf die jährlichen gesamtwirtschaftlichen Verbräuche von Metallen aber generell eine vernachlässigbar geringe Rolle.

Eine deutlich relevante Rolle spielt dagegen die Nutzbarmachung von Materialien, die in Form langlebiger Güter in Gebäuden, Infrastrukturen und Produkten gebunden sind. Während es für einzelne Gütergruppen bereits Vorgaben für die Verwertung der Abfälle gibt (Altautos, EAG), ist die Verwertung z.B. von Kunststoffen aus dem Rückbau von Gebäuden oder (Ab-)Wasserleitungen und Stromkabeln weitgehend unregelt. Es besteht auf lokaler, regionaler, Landes- und Bundesebene ein Defizit im Hinblick auf Informationen zu erwartbaren Mengen und Qualitäten von verwertbaren Abfällen aus dem Güterbestand. Erforderlich wäre der Aufbau eines **Informationssystems Urban Mining**. Erste Schritte hierzu sind z.B. über ein UBA Projekt zur Kartierung der Lagerbestände im Gange, an dem das Wuppertal Institut mitarbeitet. Das Land NRW könnte hier pilothafte Projekte auf regionaler Ebene anschieben bzw. unterstützen. Die dadurch vermehrt nutzbaren Sekundärrohstoffe kämen der Mineralstoff-/Bauindustrie, dem Metallrecycling und dem Kunststoffrecycling zu Gute. Altholz und Textilien aus dem Rückbau sowie nicht separierbare Mischfraktionen von Kunststoffen werden der thermischen Verwertung zugeführt und könnten künftig über ein Carbon Recycling (s.u.) auch der Grundstoffversorgung der chemischen Industrie dienen.

### Substitution

*(7 a) Ist damit zu rechnen, dass die landwirtschaftlich genutzte Fläche wesentlich ansteigen wird?*

Ein Report des International Resource Panel (UNEP 2013), der im November 2013 erscheinen wird, betrachtet die hierfür wesentlichen Faktoren und fasst den wissenschaftlichen Kenntnisstand zusammen. Danach ist unter Business-as-Usual (BAU) Bedingungen davon auszugehen, dass

- die globale Anbaufläche (Ackerland und permanenten Kulturen) expandieren wird, da die realistisch zu erwartenden Ertragssteigerungen die steigende Nachfrage insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern nicht kompensieren kann;

- die zusätzliche Nachfrage nach Non-Food-Biomasse den Druck auf die Landnutzungsänderungen und die Folgen (erhöhte Treibhausgasemissionen und Biodiversitätsverluste, vorwiegend in den tropischen Regionen) erhöht; dies gilt für Bioenergiepflanzen ebenso wie für nachwachsende Rohstoffe vom Acker (auch wenn diese in Europa angebaut werden);
- die Zertifizierung von Biokraftstoffen und nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) kann indirekte Landnutzungsänderungen letztlich nicht vermeiden sondern nur räumlich verlagern.

Der Bericht kommt zu dem Ergebnis, dass ausgehend von 1 540 Mha globaler Anbaufläche im Jahr 2005 eine BAU-Entwicklung bis 2050 zu einer *Netto-Expansion* von 123 bis 495 Mha führt (zur Deckung der Nachfrage nach Nahrungsmitteln, Biokraftstoffen und Biomaterialien, die nicht durch Ertragssteigerungen kompensiert werden kann). Dazu kommt, dass Flächenverluste durch Überbauung und Degradation fruchtbarer Böden zur Verschiebung der Anbauflächen führen. Die *Brutto-Expansion* dürfte sich in einer Größenordnung von 320 bis 849 Mha bewegen.

Damit überschreitet die BAU-Entwicklung deutlich den in dem Bericht vorgeschlagenen Referenzwert von 1640 Mha globaler Anbaufläche ab 2020, der nicht überschritten werden sollte, wenn die weltweiten Verluste an Biodiversität nicht weiter zunehmen sollen. Dieser Referenzwert kann als operationaler Wert für einen **"Safe-Operating-Space"** angesehen werden. Pro Person würde er für das Jahr 2030 weltweit bei 0,20 ha liegen.

Im Vergleich dazu liegt die aktuelle Flächennutzung für den inländischen Verbrauch agrarischer Güter in der EU, in Deutschland und NRW deutlich über diesem Wert (Tab. 1). Aktuell kann Deutschland seinen Verbrauch nur zur Hälfte, NRW nur zu einem Viertel auf der eigenen Produktionsfläche decken. Eine Annäherung an ein zukunftsfähigeres Niveau würde eine Minderung der landrelevanten Verbräuche um ca. ein Drittel erfordern.

Tab. 1. Produktions- und Verbrauchsflächen für den Anbau agrarischer Güter.

Anbaufläche [ha/Person]	Produktions- fläche	Verbrauchs- fläche	Jahr
Welt	0,23	0,23	2007
EU-27	0,24	0,31	2007
Deutschland	0,15	(0,31)	2011
NRW	0,07	(0,31)	2011

Da die EU langfristig eher zur Versorgung anderer Länder mit Nahrungsmitteln beitragen sollte, besteht auch für NaWaRo vom Acker nur begrenzter Raum zur Verfügung.

*(7 b) Wie hoch ist das Potenzial der Steigerung der Flächenerträge in NRW, Deutschland, EU, sonstiges Europa/GUS und im Rest der Welt?*

Die Potenziale fallen regional unterschiedlich aus. Insbesondere in Afrika südlich der Sahara liegt das Ertragsniveau noch deutlich unter dem Niveau weiter entwickelter Regionen. Andererseits scheint sich in industrialisierten Ländern mit hohem technologischen Standard in der Landwirtschaft eine Sättigung des Ertragsniveaus im freien Feld anzudeuten. Die FAO geht davon aus, dass die Ertragszuwächse insbesondere bei Getreide weltweit im Durchschnitt in den kommenden Jahrzehnten abnehmen werden.

Bis 2030 erscheint es realistisch, für die Getreideproduktion weltweit eine Steigerung von 1% p.a. anzunehmen. Dies entspricht in etwa der Wachstumsrate der Weltbevölkerung, so dass sich beide Entwicklungen kompensieren. Allerdings wächst die Nachfrage nach mehr tierbasierter, proteinreicherer Nahrung in den Entwicklungs- und Schwellenländern signifikant und dies hat unter BAU- Bedingungen (s.o.) eine Ausweitung der Anbauflächen und verstärkte Nutzungskonkurrenzen zur Folge.

*(8 a) Welche Bedeutung kommt nachwachsenden Rohstoffen in der chemischen Industrie heute und zukünftig zu?*

Die aktuellen Zahlen zum Status quo werden sicher von der chemischen Industrie vorgelegt werden.

Die künftige Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen dürfte nicht unwesentlich von den politischen Zielvorgaben abhängen. Momentan gehen verschiedene Programme davon aus, dass ein vermehrter Einsatz von NaWaRo ökologisch sinnvoll und wegen der nötigen Innovationen auch wettbewerbsspolitisch günstig einzuschätzen wäre. Allerdings sollte die pauschale Bewertung, NaWaRo seien generell ökologisch sinnvoll, einer differenzierteren Betrachtung unterzogen werden. Insbesondere NaWaRo von landwirtschaftlichen Anbauflächen können aufgrund der geschilderten Flächenkonkurrenzen absolut nur in begrenztem Umfang produziert werden. Relativ gesehen kann ihr Anteil immer noch steigen, wenn der Einsatz fossiler Rohstoffe vermindert wird. Dies setzt aber wirksame Strategien für eine deutliche Ressourceneffizienzsteigerung und die Etablierung nachhaltiger Stoffkreisläufe voraus.

*(8 b) Welche Rolle spielen gentechnisch veränderte Feldfrüchte, heute und zukünftig?*

Während sie in Europa praktisch keine Rolle spielen, wird ein erheblicher Teil der landwirtschaftlichen Produktion von Mais in Nordamerika und Soja in Südamerika bereits mit gentechnisch veränderten Sorten produziert. Der Einsatz dieser Sorten ist häufig gekoppelt mit dem Einsatz von Pestiziden (z.B. "Round-up"). Die Verwendung dieser gentechnisch veränderten Sorten hat bislang nicht zu einer Verringerung der wesentlichen durch intensive Landwirtschaft verursachten Umweltbelastungen (z.B. durch Eutrophierung) geführt. Es erscheint unwahrscheinlich, dass durch Gentechnik die Erträge von Feldfrüchten unter Realbedingungen um ein Vielfaches gesteigert werden könnten, denn selbst bei einer theoretisch maximierten Nährstoffeffizienz des Düngereinsatzes hätte eine absolute Steigerung der Erntemenge pro Fläche eine absolute Steigerung der Nährstoffverluste (z.B. durch Auswaschung von Nitrat ins

Grundwasser) zur Folge. Die Hauptanbauggebiete haben aber bereits heute flächendeckend mit dem Problem der Gewässereutrophierung zu kämpfen. Dies bedeutet zum einen, dass der Einsatz von Düngern und die Nährstoffeffizienz weiter gesteigert werden sollte, zum anderen, dass es umweltbedingte Grenzen für die Erträge von Feldfrüchten gibt.

*(8 c) Welche Zielkonflikte (Nahrung - Energie - Chemie-Rohstoffe) existieren bei Agrarprodukten und wie lassen sich diese vermeiden?*

Zu den bestehenden und bei BAU auch künftig zu erwartenden Zielkonflikten siehe obige Ausführungen zu 7a.

Der in Kürze erscheinenden Report (UNEP 2013) zeigt eine Reihe von Handlungsoptionen auf, wie die Zielkonflikte um Anbauland verringert werden können. Im Kern geht es darum, zum einen Biomasse deutlich effizienter einzusetzen und die Nachfrage nach landbasierten Produkten signifikant zu vermindern und zum anderen die Verluste fruchtbaren Ackerlandes durch bessere Raumplanung zu vermeiden und degradierte Böden über massive Investitionen wieder zu regenerieren.

Eine Übersicht der Strategien gibt Tab. 2. Bei erfolgreicher Umsetzung aller Maßnahmen könnte die BAU-Ausdehnung der Anbaufläche bis 2050 um 160 bis 320 Mha vermindert werden. Es käme immer noch zu einer Ausdehnung, aber der *Safe Operating Space* könnte erreicht werden. D.h. dann wäre es möglich, die Nachfrage nachhaltig zu produzieren.

Tab. 2: Übersicht der Strategien zur Verminderung der Ausdehnung von weltweitem Anbauland bis 2050 (UNEP in Vorb.).

Strategien	Einsparpotential
❖ Gesundere Ernährung (nicht zuviel Fleisch/ Milchprod.) und verminderte Nahrungsmittelabfälle	96 - 135 Mha
❖ Halbierung der Biokraftstoffquoten	24 - 40 Mha
❖ Dämpfung der NaWaRo Nachfrage	bis zu 57 Mha
❖ Verbesserte Raumplanung (10% Vermeiden der Überbauung von Anbauland)	11 - 13 Mha
❖ Investitionen zur Regenerierung von 1/3 stark degradierter Böden	30 - 74 Mha

*(8 d) Wie groß ist das Potenzial zur stofflichen Verwendung von Holz?*

Als wichtigster nachwachsender Rohstoff wird Holz weiter genutzt werden. Dies sollte möglichst primär stofflich geschehen, nach einer mehrfachen Verwendung (Kaskaden) kann die Energie dann aus den nicht-rezyklierbaren Bestandteilen gezogen werden.

In Deutschland hat die energetische Verwendung von Holz in den letzten Jahren das gleiche Niveau wie die stoffliche Verwendung erreicht (Mantau 2012). Es ist mit zunehmender Konkurrenz zwischen den Einsatzbereichen zu rechnen.

Zwar ist die Außenhandelsbilanz von Holz und holzbasierten Rohstoffen in etwa ausgeglichen, doch wächst bei Einschlagsholz die Abhängigkeit von Importen. Seit 2009 wird mehr Nadelholz importiert als exportiert. Das Gesamtholzaufkommen in Deutschland von ca. 236 Millionen m<sup>3</sup> wird durch 52% über Importe gedeckt. Beim Inlandsaufkommen liegen Altpapier mit 45 Mio m<sup>3</sup> und Altholz mit ca. 10 Mio m<sup>3</sup> zusammen bereits über dem Einschlag von 54 Mio m<sup>3</sup>. Der Inlandsverbrauch beträgt ca. 108 Mio m<sup>3</sup>. Diese Zahlen beziehen sich auf 2010 (Seintsch 2011).

Vergleicht man für Deutschland das potenzielle Aufkommen von Holzrohstoffen mit den aktuellen Werten für 2010, so liegt die Nutzung von Derbholz (Stammholz für massive Holzbauteile und Furniere) mit 74 Mio Fm bereits in der Spanne der Potenzialszenarien (70 bis 78 Mio Fm, mittleres Szenario 76 Mio Fm) (Mantau 2020). Relevante ungenutzte Potenziale ergeben sich nur in den Bereichen Waldrestholz und Rinde. Der aktuellen Nutzung von Waldrestholz mit 8 Mio Fm steht ein mittleres Potenzial von 20 Mio Fm (Spanne von 12 bis 43 Mio Fm) gegenüber. Bei Rinde liegt die aktuelle Nutzung von 4,7 Mio Fm unter dem mittleren Potenzial von 7,5 Mio Fm (Spanne 7,0 bis 7,7). Kurzumtriebsplantagen sind aktuell vernachlässigbar und ihnen wird nur ein Potenzial von 0,1 Mio Fm zugemessen.

#### *(9) Wie groß ist das Potenzial zur stofflichen Verwendung von CO<sub>2</sub>?*

Mittel- und langfristig bestehen erhebliche Potenziale, CO<sub>2</sub> als Rohstoff zu verwenden und insbesondere die Kunststoffproduktion auf eine stofflich-energetisch erneuerbare Basis zu stellen (Bringezu 2013).

2011 wurden in Deutschland 20,7 Mt Kunststoffe produziert, 11,9 Mt wurden exportiert und 8,4 Mt wurden importiert (Consultic 2012). Von dem Gesamtinput von 17,2 Mt, der in die Verarbeitung ging, bestanden 10,6 Mt aus den gängigen Polymeren (wie PE, PP, PS, PVC, PA). Schätzungsweise wurden 7 Mt Polymere im Inland verbraucht. Bei einem angenommenen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 75% würde man ca. 5 Mt Kohlenstoff für die Produktion benötigen. Da 1,4 Mt Kunststoffabfälle recycelt wurden, wurden ca. 4 Mt Kohlenstoff vorwiegend aus fossilen Quellen (meist Erdöl) für die Produktion des inländischen Verbrauchs eingesetzt. Diese Ströme liegen zwar deutlich unter den Kohlenstoffflüssen für die Energieerzeugung, aber langfristig sollte auch diese nicht-erneuerbare Rohstoffbasis durch eine regenerative ersetzt werden.

Das gegenwärtige System eher linearer Stoffflüsse kann weiterentwickelt werden, indem schrittweise mehr geschlossene Kreisläufe etabliert werden:

1. materialspezifisches werkstoffliches Recycling, wie dies bislang bereits praktiziert wird; hier wäre die Sammlung weiter zu verbessern (s.o. Antwort zu Frage 3);
2. Verarbeitung von Mischfraktionen zu Grundstoffen für die chemische Synthese; dies kann durch Vergasung von organischem trockenem Abfall zu Synthesegas und Fermentation von nassem Abfall zu Biogas geschehen; sowohl Synthesegas als auch Biogas lassen sich nicht nur energetisch sondern auch stofflich nutzen;

### 3. Abscheidung von CO<sub>2</sub> nach der Verbrennung oder bei der Reinigung von Biogas und weitere Nutzung als Rohstoff für die chemische Synthese.

Die Option 3 befindet sich in einer frühen Phase von Forschung und Entwicklung. Der BMBF führt ein 100 Mio € Forschungsprogramm zur Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff durch und in verschiedenen Ländern wie den USA und UK wird sehr intensiv an solchen Möglichkeiten geforscht. Deutschland kann hier eine führende Rolle übernehmen. Aktuelle Projekte zur Power-to-Gas-Technologie können nicht nur eine Schlüsselrolle bei der Speicherung erneuerbaren Stroms spielen, sondern auch für die stofflich-energetisch erneuerbare Ressourcenbasis der chemischen Industrie.

Ein fortgeschrittenes Projekt wird von einem Konsortium der Fa. Bayer und der RWTH Aachen verfolgt. Dabei wird CO<sub>2</sub> im RWE-Kraftwerk Niederaußem aufgefangen und für die Polyurethanherstellung genutzt. Die daraus produzierten Matratzen sollen künftig ein Viertel regenerierten Kohlenstoffanteil beinhalten.

Langfristig sollte die Abscheidung von CO<sub>2</sub> eher von dauerhaft verfügbaren Stoffströmen erfolgen. Prozesse der Braunkohleverstromung zu nutzen, kann allenfalls ein Zwischenschritt sein. Dagegen ist damit zu rechnen, dass die Abfallverbrennung mit einer gewissen Kapazität auch langfristig durchgeführt werden wird. Sie bietet die Möglichkeit, werkstofflich schlecht separierbare Mischfraktionen zu bündeln. Außerdem werden organische Schadstoffe durch die thermische Behandlung zerstört, so dass diese Anlagen - bei ordnungsgemäßem Betrieb - eher Schadstoffsinken darstellen.

Wenn es gelingt, die CO<sub>2</sub> Emissionen von Müllverbrennungsanlagen (MVA) oder auch von Anlagen zur thermischen Behandlung von Ersatzbrennstoffen (z.B. Zementwerke) aufzufangen, dann könnten diese eine wichtige Kohlenstoffquelle für die chemische Industrie darstellen. Das CO<sub>2</sub> ließe sich mit Hilfe von Wasserstoff (H<sub>2</sub>), der regenerativ z.B. durch Elektrolyse mittels Strom aus Windkraft oder PV erzeugt wird, zu Methan (CH<sub>4</sub>) umwandeln. Dieses synthetische Methan entspricht praktisch dem Hauptbestandteil von natürlichem Erdgas. Auch alternative Prozessrouten sind möglich, bei denen z.B. Ameisensäure, eine andere wichtige Plattformchemikalie, erzeugt wird.

Die Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff zur Herstellung von Plattformchemikalien insbesondere zur Kunststoffherstellung ist ein zukunftssträchtiges Feld. Gleichwohl wird hierfür Energie benötigt, um die endoxidierte Form des Kohlenstoffs in Form des sehr stabilen CO<sub>2</sub> Moleküls zu energiereicheren Kohlenwasserstoffen umzuwandeln. Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten hat eine solche Umwandlung nur Sinn, wenn sie mit Hilfe erneuerbaren Energien erfolgt, die in ressourceneffizienter Weise erzeugt werden.

Künftig ist mit einer verstärkten Konkurrenz um den Einsatz erneuerbarer Energien zu rechnen. Erste vorläufige Hochrechnungen ergeben, dass, wollte man die Produktion der in Deutschland verbrauchten Kunststoffe auf der Basis von Elektrolyse und Methanisierung von CO<sub>2</sub> durchführen, die gesamte für Nord- und Ostsee projektierte Windkraftkapazität (20 - 25 GW bis 2030) benötigt würde, wenn es nicht zu weiteren Effizienzsteigerungen kommt (wovon gleichwohl auszugehen ist). Dazu kommt, dass die Preisrelationen zu fossilen Rohstoffen die Verfolgung solcher Prozesstechnologien kommerziell noch nicht attraktiv erscheinen lassen. Hierzu bedarf es weiterer Anreize.

In NRW gibt es eine vergleichsweise hohe Dichte von MVA und chemischen Anlagen. Hier könnte das Land die technologische Entwicklung fördern, indem die **pilothafte Entwicklung von Carbon Recycling** Technologien vorangetrieben wird. Besonderes Augenmerk sollten die Optionen zur Verknüpfung von Abfallmanagement und chemischer Industrie erfahren. Eine Herausforderung hierbei besteht offenbar darin, dass MVA Betreiber keinen Anreiz sehen, die CO<sub>2</sub> Emissionen ihrer Anlagen zur vermindern oder sogar als Produkt an benachbarte Betriebe zu verkaufen.

Bei der Entwicklung von Technologien zur Nutzung von CO<sub>2</sub> als Rohstoff sollte berücksichtigt werden, dass mit der Etablierung von eher geschlossenen Stoffkreisläufen für Gebrauchs- und Verbrauchsgüter (aus Kunststoff) das Klimaproblem nicht gelöst werden kann. Hierfür bedarf es deutlicher Effizienzsteigerungen bei der Energieverwendung und des Umstiegs auf regenerative Energien, die nachhaltig bereitgestellt werden können. Parallel zur Energiewende sollte jedoch auch eine Ressourcenwende eingeleitet werden, die Ressourceneffizienz mit der Schaffung langfristig durchhaltbarer Kreisläufe verbindet. Der chemischen Industrie kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu.

*(10) Welche Auswirkungen sind bei Substitution im sozialen, ökonomischen und ökologischen Bereich zu erwarten?*

Wenn der Einsatz von agrarischen Rohstoffen (einschließlich von Palmöl aus Plantagen) den aktuellen Trends folgend weiter wächst, ist mit zunehmenden sozialen Verwerfungen insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern zu rechnen, da die Nahrungsmittelpreise für arme Bevölkerungsteile sehr spürbar ansteigen dürften. Die ökologischen Problemverlagerungen wurden oben bereits ausgeführt.

Wenn eine stofflich-energetisch erneuerbare Ressourcenbasis für Wirtschaft und Gesellschaft entwickelt werden soll, dann geht dies nur über (a) Effizienzsteigerungen aller Prozessketten und (b) die Etablierung auf Dauer tragfähiger Stoffkreisläufe. Wenn die oben skizzierten Optionen zum *Carbon Recycling* weiter verfolgt werden, bietet das die Chance, NRW als Innovationsstandort zu stärken, und die beteiligten Akteure dürften als Pioniere spätestens mittelfristig die kommerziellen Früchte ihrer Entwicklungsarbeit ernten.

#### *Literatur:*

Bringezu, S. (2013): Carbon Recycling for Renewable Materials and Energy Supply: Recent trends, long-term options and challenges for R&D. Journal of Industrial Ecology, accepted for publication, forthcoming.

Consultic. (2011). *Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland 2011*. Alzenau.

v. Gries, N.; Wilts, H. (2013): Resource-efficient conception of WEEE collection groups. Accepted for Publication in Waste Management & Resources, forthcoming.

UNEP (2013): Assessing Global Land Use: Balancing Consumption with Sustainable Supply. Forthcoming