

Dr. Henning FRIEGE

Scholtenbusch 11  
46562 Voerde  
02855 / 3037311

**Landtag Nordrhein-Westfalen**  
**Postfach 10 11 43**  
**40002 Düsseldorf**



05.09.2013

Betr.: Anhörung „Rohstoffsituation...“ der Enquête-Kommission zur Zukunft der chemischen Industrie

Sehr geehrte Damen und Herren!

Vielen Dank für die Gelegenheit, zu Ihren Fragen Stellung zu nehmen. Sie erhalten anbei Antworten auf mehrere Fragenkomplexe.

Zu Rückfragen stehe ich im Rahmen der Anhörung gerne zur Verfügung.

Mit freundlichem Gruß,  
gez. Dr. Henning Friege



# Stellungnahme zu den Fragen der Enquête-Kommission zur Zukunft der chemischen Industrie in NRW am 20.9.2013

Dr. rer. nat. habil. Henning Friege

## Ist-Situation

Bei diesem Fragenkomplex wird ausschließlich zu mineralischen Rohstoffen Stellung genommen. Diese zählen zu den nicht erneuerbaren Ressourcen, für die die zweite Grundregel nachhaltigen Stoffstrommanagements gilt<sup>1 2</sup>: „Nicht erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.“ Zweifelsohne konzentrieren wir uns heute auf die Effizienzstrategie, während die Substitution von mineralischen Rohstoffen, vor allem Metallen, durch erneuerbare Materialien vielfach noch am Anfang steht (hierzu ein Beispiel bei der Stellungnahme zu Frage 8).

Zu Frage 1:

### *Mengensituation, Verfügbarkeit, Reichweite und Preisentwicklung der jeweiligen Rohstoffe*

Die Frage der „Endlichkeit“ der Vorkommen von Mineralien spielt in der öffentlichen Diskussion heute wieder eine Rolle. Ständige Exploration, Fortschritte in der Rohstoff-Förderung und immer effizientere Aufbereitungstechniken führten ab 1800 über etwa 200 Jahre zu einem inflationsbereinigt sinkenden Preis für Industrie-Rohstoffe<sup>3</sup> und zur Fortschreibung der Ressourcen bzw. Reserven in Folge weiterer Exploration und verbesserter Aufbereitung. Die Abnahme der Konzentration von Buntmetallen in den verfügbaren Lagerstätten stand im vergangenen Jahrhundert einem noch viel stärker sinkenden spezifischen Energiebedarf für Gewinnung und Verhüttung gegenüber<sup>4</sup>. Zwischen 2002 und 2010 haben sich die Preise für Mineralien inflationsbereinigt dagegen erhöht, unter den gängigen Metallen gilt das vor allem für Nickel und Zinn, wie man an der Entwicklung der Rohstoffbörsen sehen kann. Dabei spiegelt der Preis nicht die langfristige Verfügbarkeit der Ressourcen wider, sondern das augenblickliche und für die nähere Zukunft erwartete Verhältnis von Angebot (Minen- und Verhüttungskapazität) und Nachfrage. Hinzu kommen Störungen durch Spekulationsblasen. Wegen der immer schwerer zugänglichen Lagerstätten und der prognostizierten Verdoppelung des Bedarfs an Mineralien bis 2035 wird eine physische Verknappung bestimmter Ressourcen für realistisch gehalten. Angesichts steigender Preise und zusätzlicher Handelsbeschränkungen

---

<sup>1</sup> Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des Deutschen Bundestages: (1994): Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen, ISBN 3-87081-364-4 sowie dies. (1998): Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung, ISBN 3-930341-42-5

<sup>2</sup> Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 2002

<sup>3</sup> E.U. v. Weizsäcker et al.: Factor Five. Transformation of the Global Economy Through 80% Improvements in Resource Productivity, ISBN 978-1-84407-591-1 (2009), 316 ff.

<sup>4</sup> Van Vuuren et al. (2002): Long-term world metal use: application of industrial ecology in a system dynamics model, in “A Handbook on Industrial Ecology” (Eds.: R. U. Ayres, L.W. Ayres), 365-389, ISBN 1 84064 5067

käme es zu einem strategischen Problem für die Rohstoffwirtschaft<sup>5</sup>. Demgegenüber steht eine Betrachtungsweise, die auf den Erfahrungen des 20. Jahrhunderts aufbaut: Demnach gibt es wegen zyklisch schwankender Nachfragen nach Metallen einen „Schweinezyklus“, bei dem bei anziehender Nachfrage zunächst die Preise steigen und dann die zuvor bei nachlassender Nachfrage und damit nicht ausreichender Auslastung geschlossenen Minen wieder in Betrieb genommen und neue Lager erschlossen werden, um die Nachfrage zu befriedigen. Die verfügbaren Ressourcen an Metallen könnten sich daher etwa konstant entwickeln, zum einen durch weitere Exploration, zum anderen durch bessere Abbautechniken, zum dritten durch steigende Recyclingquoten. „Nach den derzeit bekannten Rohstoffreserven und -ressourcen für Metallrohstoffe und Industriemineralien limitieren diese nicht die Angebotsentwicklung. Was häufig außer Acht gelassen wird ist die Tatsache, dass nur ein Bruchteil der bestehenden geologischen Rohstoffpotenziale überhaupt bekannt ist. Durch fortschreitende technologische Entwicklungen in der Exploration werden laufend neue Rohstoffvorkommen entdeckt. Die Wahrscheinlichkeit, auch heute wirtschaftlich abbaubare neue Rohstoffvorkommen zu finden oder bekannte Vorkommen wirtschaftlich zu nutzen, ist hoch und maßgeblich eine Frage der Zugänglichkeit, der Höhe der Explorationsausgaben, der Investitionen in den Bergbau und des Rohstoffpreises.“<sup>6</sup>

Die beiden Ansätze repräsentieren grundsätzlich unterschiedliche Denkweisen. Wenn man die Gewinnung von Primärrohstoffen bei tendenziell sinkender Konzentration des Zielelements im Mineral mit der dafür benötigten Energie verbindet, wird erkennbar, dass ein Engpass bzw. eine deutliche Kostensteigerung bei der Rohstoffversorgung auch durch die schwierigere Gewinnung der Ressourcen verursacht werden kann. So hat der Energiebedarf für die Gewinnung einer Tonne (Mg) Nickel in Folge der abnehmenden Konzentration in den Mineralien massiv zugenommen<sup>7</sup> (Abb. S. 2). Also wird die Gewinnung solcher Rohstoffe infolge des rasch steigenden Energiebedarfs zumindest deutlich kostenintensiver.

Die Diskussion in der Wirtschaftspresse fokussiert z. Zt. auf bestimmte anorganische Rohstoffe, nämlich seltene Metalle. Der Hintergrund dafür ist

- zum einen die Verschiebung unserer Basis für neue Technologien (Beispiel: Gallium und Tellur für PV-Dünnschichtmodule, Neodym als Legierungsmetall für leistungsstarke Permanentmagnete z.B. in Generatoren) und Elektronikgeräte (Beispiel: Indium in Displays)
- zum anderen die Verengung der Fördersituation auf wenige Standorte (Beispiel: Platin-Metalle nur aus Russland und Südafrika, Seltene Erden im Wesentlichen aus China)
- zum dritten erhebliche Probleme bei der Wiedergewinnung dieser Metalle (siehe Stellungnahme zu den Fragen 3-5)

---

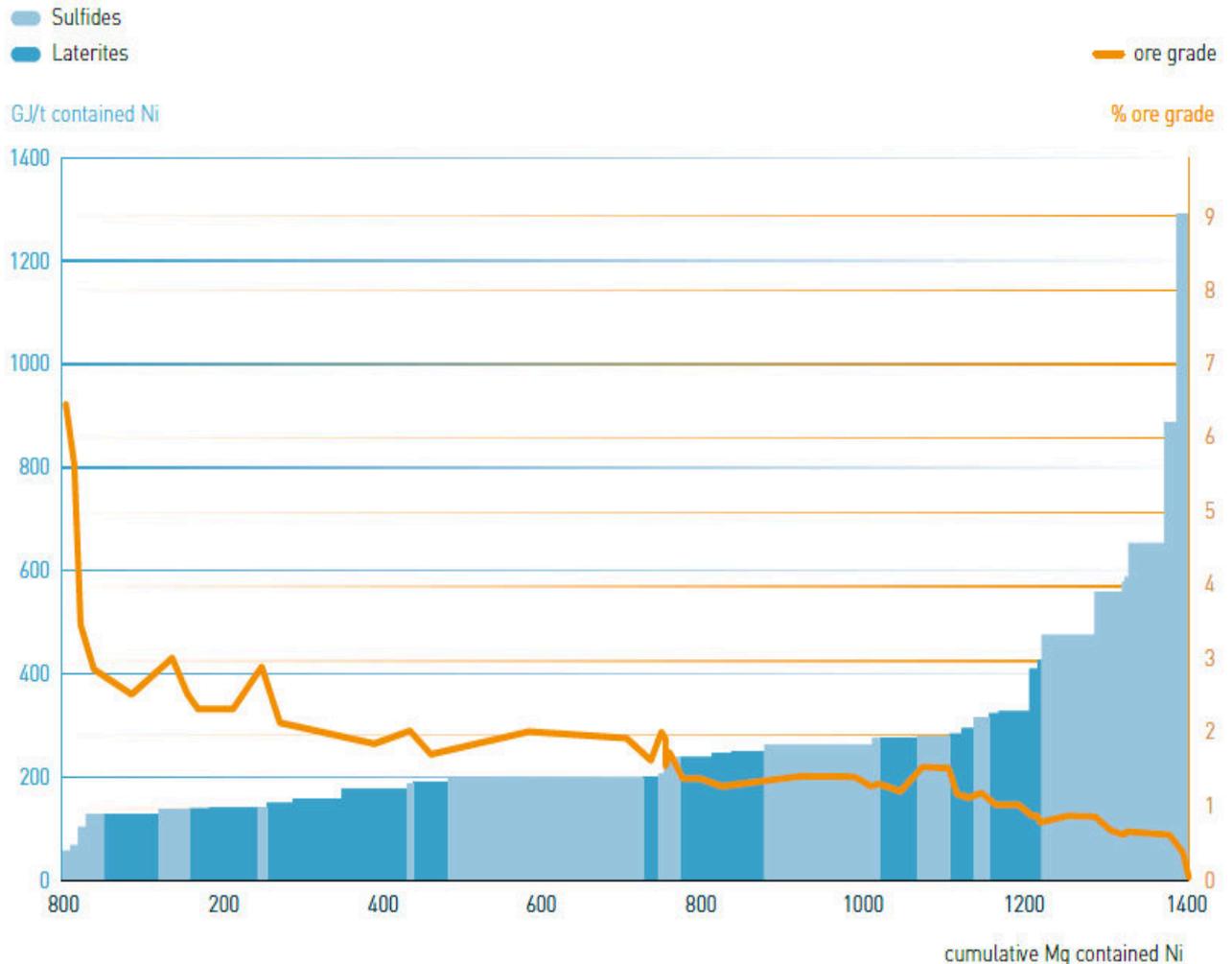
<sup>5</sup> The Hague Institute for Strategic Studies (2010): Scarcity of minerals. A strategic security issue, No. 02/01/10, The Hague.

<sup>6</sup> BGR (2010): Bundesrepublik Deutschland: Rohstoffsituation 2009, ISBN 978-3-510-95986-0,

<sup>7</sup> UNEP (2013):

[http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metal\\_Recycling\\_Full\\_Report.pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Metal_Recycling_Full_Report.pdf)

Die EU hat diese Situation analysiert und daraus ihre Rohstoff-Strategie entwickelt <sup>8</sup>, die grundsätzlich richtige Wege aufzeigt, in ihren Folgen aber noch vage ist. Die entsprechende Strategie der Bundesregierung verweist auf viele vorhandene Elemente; umsetzbare Ideen für neue Instrumente sind nur ansatzweise erkennbar.



## Kreisläufe

Verkürzt kann man sagen, dass die Erwartungen an die Abfallwirtschaft, heute meist „Kreislaufwirtschaft“ genannt, höher sind als das, was diese leisten kann. Abfallwirtschaft setzt am Ende der anthropogenen Stoffumwandlungskette an, Stoffwirtschaft an deren Anfang. Während Abfallwirtschaftspolitik auf die Wirkungen des Stoffeintrags in die Umwelt gerichtet ist, orientiert das Stoffstrommanagement auf die Stoffumsätze von der Geosphäre in die Technosphäre und innerhalb der Technosphäre. Daher sollte man Abfallwirtschaft als einen Teilbereich des Managements von Stoffströmen auffassen, der sich mit den Stoffen bzw. Produkten beschäftigt, deren sich ihr Besitzer entledigen will. Stoffstromerhebungen von der Gewinnung von Mineralien bis zur Abfallbeseitigung entsprechender Produkte liefern daher wichtige

<sup>8</sup> EG (2011): Grundstoffmärkte und Rohstoffe: Herausforderungen und Lösungsansätze, Mitteilung der Kommission, KOM (2011) 25 endgültig

Informationen für eine Steuerung im Sinne nachhaltigen Stoffstrommanagements (Literatur hierzu siehe <sup>9</sup>). Im Rahmen der Abfallwirtschaft lassen sich durch entsprechende Weichenstellungen

- noch teilweise nutzbare Produkte durch Aussortieren und Reparatur o.dgl. wieder in Gebrauch nehmen (Wiederverwendung),
- nicht mehr nutzbare Produkte durch getrennte Sammlung oder Sortierung und Aufbereitung einer stofflichen Wiederverwertung zuführen,
- brennbare, stofflich nicht verwertbare Abfälle einer energetischen Verwertung zuführen,
- nicht verwertbare Abfälle sowie die Reste aus den vorgenannten Aufbereitungsverfahren beseitigen.

Das Produktdesign, die Dissipation der Produkte in der Technosphäre, ihre Nutzungsdauer sowie Lebens- und Konsumstile bestimmen somit neben der Aufbereitungstechnik die Möglichkeiten der Abfallwirtschaft. Der Versuch, Kreisläufe zu schließen, ist dann problematisch und wird zumindest teilweise misslingen, wenn z.B.

- zu viele Verbraucher betroffen sind,
- das gesuchte Element im Produkt nur in Spuren vorhanden ist
- oder auch Wertstoffe und Schadstoffe in einem Produkt kaum trennbar miteinander verbunden sind.

Ein gern zitiertes Beispiel ist die Sammlung und Aufbereitung von Mobiltelefonen, bei denen das darin vorhandene Gold nur zu etwa 10% wieder gewonnen wird <sup>10</sup>. Die Herausforderungen, denen man hier gegenüber steht, lassen sich als „Die sieben Dilemmata der Abfallwirtschaft“ <sup>11</sup> beschreiben (Anhang 1).

Zu Frage 3:

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

Die EU gibt in Art. 4(1) der Waste Framework Directive eine fünfstufige Hierarchie der Abfallbehandlung vor (Abb. S. 5), von der allerdings gem. Art. 4(2) nach Analyse des Produkt-Lebenszyklus sinnvollerweise auch abgewichen werden kann. Die Deponierung als Form der Abfallbeseitigung steht somit am Schluss der Alternativen, während die energetische Verwertung die vierte Stufe und die stoffliche Verwertung die dritte Stufe bildet. Der Staat versucht über Vorgaben, diese Hierarchie durchzusetzen.

---

<sup>9</sup> H. Frieger: Nachhaltiger Umgang mit nicht erneuerbaren Ressourcen – Stoffstrommanagement als Verbindung zwischen Abfallwirtschaft und Chemiepoltik, Dresden 2013, ISBN 978-3-934253-83-4

<sup>10</sup> Chancelerel, P. et al. (2009): Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment, J. Ind. Ecol. 13 (5), 791-810

<sup>11</sup> H. Frieger: Resource recovery from used electric and electronic equipment: Alternative options for resource conservation, Waste Management & Research 30 (9), S3-S16 (2012) sowie ausführlich in (9)



Leider muss man sagen, dass die bisher zur Förderung der Kreislaufwirtschaft gesetzten Rahmenbedingungen oft nur teilweise erfolgreich waren. Das gilt in Deutschland vor allem für die VerpackVO. Hier werden mit hohen Kosten Kunststoffe aus Verpackungen zu einem erheblichen Teil nur für eine energetische Verwertung bereit gestellt. Sammlung, Transport, Sortierung und Aufbereitung dieser Materialien verschlingen ca. 600 €/Mg, während Sammlung und energetische Verwertung zusammen mit Hausmüll nur bei 200 bis 300 €/Mg liegen. Die hohen Kosten bei geringer stofflicher Verwertung sind – neben einem Missbrauch des Systems durch sog. Trittbrettfahrer – mit der hohen Heterogenität der im Verpackungsbereich verwendeten Kunststoffe, mit der Verschmutzung der Verpackungen bzw. der Nutzung der „gelben Tonne“ als billiger Alternative zur Restmülltonne zu erklären. Sehr gut dagegen sieht die Situation bei Altpapier aus (mit Ausnahme von Verpackungen keine gesetzliche Regelung), das in verschiedene Sorten getrennt werden kann, aber auch als Mischpapier noch einen positiven Erlös nach Abzug der Transportkosten erbringt. Instrumente zur Förderung der Wiederverwendung bzw. Wiederverwertung müssen – das zeigen solche Beispiele – Marktmechanismen berücksichtigen und das Zusammenspiel der Akteure befördern.

Die **Wiederverwendung** von Produkten spielt außerhalb bilateraler privater Geschäfte (Internetbörsen etc.) nur eine geringe Rolle – wie kann sie gefördert werden? Quoten für Vermeidung oder Wiederverwendung von Abfällen aus Haushalten sind unsinnig, da sie einen Eingriff in die Kaufentscheidung des Konsumenten darstellen, der sich erfahrungsgemäß dies nicht vorschreiben lässt. Gerade im Bereich von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EEAG) könnten eine längere Nutzungsdauer sowie die Wiederverwendung durch gute Zerlegbarkeit, Verfügbarkeit von Ersatzteilen und eine Garantie des „Zweit-Herstellers“ bei erneutem Inverkehrbringen eine Wiederverwendung fördern. Hier wäre eine Erweiterung der EcoDesign-Vorgaben mit Blick auf Reparatur- bzw.

Zerlegemöglichkeiten hilfreich. Die entsprechende EU-Richtlinie ist bisher auf den Energieverbrauch fixiert. Auf die Arbeit an der einschlägigen VDI-Norm<sup>12</sup> wird verwiesen.

**(Stoffliche) Verwertung** von Materialien aus Produkten setzt eine gute Trennung von anderen Abfällen voraus. Das Getrennthaltungsgebot ist im Abfallrecht (wichtig GewAbfV) verankert, dessen Vollzug nur im Gewerbe mit vertretbarem Aufwand zu kontrollieren ist. Sehr gute Ergebnisse können dann für weitgehend homogene bzw. sortierfähige Stoffströme erzielt werden (Altpapier, Altglas, Massenkunststoffe, Bauabfälle, Altholz). Allerdings ist die Verwendung der daraus gewonnenen Sekundärrohstoffe ggf. aus technischen Gründen (z.B. Verringerung der Faserlänge bei Altpapier) oder wegen einer möglichen Umweltgefährdung (z.B. Auslaugung von Sulfat aus gipshaltigem Bauschutt) eingeschränkt. Das Schließen von Kreisläufen kann zum Einschleusen von Schadstoffen in Wertstoffströme führen, etwa wenn solche Sekundärrohstoffe außerhalb Europas aus Abfällen erzeugt werden, die in Europa nicht zugelassene Additive enthalten, oder empfindliche Anwendungen (z.B. Lebensmittelverpackungen) betroffen sind.

Im Rahmen der Produzentenverantwortung wurden Rücknahmepflichten für bestimmte Produkte geschaffen. Die erreichten Ergebnisse bei Batterien oder EEAG sind hier noch nicht befriedigend, u.a. weil die Verbraucher als Abfallerzeuger die Pflicht zur Getrennthaltung nicht ernst genug nehmen. Hier bedarf es zusätzlicher Motivierung und der Erleichterung der Rückgabewege. Der Wert von Rohstoffrückgewinnung und der Nutzung von Sekundärrohstoffen muss in der Bevölkerung vermittelt werden – das wird dadurch nicht einfacher, dass in Verlautbarungen der Eindruck erweckt wird, Deutschland sei bereits Recycling-Weltmeister.

Ein nächstes Hindernis bei der Verwertung von Produkten stellen Komplexität und schnelle Innovationszyklen dar. Homogene Produkte (Beispiele Altpapier, Weißblechdosen) lassen sich wesentlich einfacher stofflich verwerten als komplexe Produkte wie EEAG. Daher sind bei nicht homogenen, hoch differenzierten Produkten neue Überlegungen erforderlich – Beispiel: Elektronikgeräte wie Handys. Fast alle elektrisch betriebenen Geräte unterliegen der EcoDesign-Richtlinie und sind damit am Ziel höherer Energieeffizienz ausgerichtet. Dies führt in der Praxis u.a. zur Miniaturisierung von Bauteilen und zur Verbesserung der Funktionsfähigkeit von Modulen. Ferner werden vorhandene Funktionalitäten verbessert oder zusätzliche angeboten. Dabei werden häufig neue Werkstoffe eingesetzt, so dass die Möglichkeiten für eine Wiederverwertung erheblich erschwert werden. Eines der wichtigen natürlichen Kupferminerale ist Chalkopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ), das ca. 15 Nebenbestandteile, also weitere Metalle, enthält. Bei der Kupfergewinnung wird nur ein Teil dieser Spurenmetalle isoliert. Ein modernes Smartphone enthält dagegen etwa 40 Elemente. Für zahlreiche Spurenmetalle in Elektronikgeräten ist eine Rückgewinnung technisch nicht oder nur mit erheblichen Verlusten möglich. Dies ist in der Chemie dieser Stoffe begründet: Man muss sich in der Metallurgie für einen Aufbereitungsprozess entscheiden, was dazu führen kann, dass unterschiedliche Zielmetalle nicht gleichzeitig wieder gewonnen werden können, sondern je nach Prozess verloren gehen, z.B. als Verunreinigung im Hauptprodukt.

---

<sup>12</sup> R. Brüning et al.: Blatt 5 der Richtlinie VDI 2343, ReSource 2/2013, 38-43

Folgende Maßnahmen werden als sinnvoll erachtet:

- Sammellogistik und Aufbereitungsprozesse der Abfallwirtschaft sind an der Qualität der erzeugten Sekundärprodukte auszurichten. Qualitätsziele müssen von den Produzenten vorgegeben oder (End of Waste Kriterium) über REACH definiert werden. Das Jagen nach Quoten führt vielfach zu Qualitätsverlusten. Hierzu ein einfaches Beispiel: Komposte bedürfen zu ihrer Nutzung eines Gütezeichens; eine Erhöhung der Bioabfall-Sammelmenge führt häufig zur Erhöhung der Störstoffanteile im Input mit entsprechenden Folgen für das Produkt.
- Es bedarf einer genauen Definition des Begriffs „stoffliche Verwertung“ und eines Maßstabs für den Erfolg des gewählten Recyclingverfahrens mit Einführung eines Kriteriums für stoffliche Verwertung (Input/Output-Kriterien,...), um Scheinverwertung in der EU einen Riegel vorzuschieben. (Bei der energetischen Verwertung wurde mit dem „R1-Kriterium“ in der EU ein Maßstab für die Energieeffizienz von Müll(heiz)Kraftwerken erfolgreich eingeführt).
- Es sind technische Mindestanforderungen (Emissionen, Definition des Stands der Technik) an Anlagen zur Wiederverwertung von Abfällen auf europäischer Ebene einzuführen
- Die Getrennthaltungsregeln für Abfälle nach deutschem Recht sind unbedingt beizubehalten und u.U. besser zu vollziehen. Daher bleibt die Gewerbeabfall-Verordnung (GewAbfV) auch unter dem neuen KrWG notwendig.
- Die EcoDesign-Richtlinie der EU sollte überprüft werden. Zum einen sollte ein „Design for ReUse“ (=Reparaturfreundlichkeit) zusätzlich als Abwägungstatbestand neben dem „Design for Energy Efficiency“ eingeführt werden; dies kann zu Zielkonflikten führen, wird aber dann transparent. Ferner kann über einen Ausschluss der Verwendung strategischer Werkstoffe für dissipative Anwendungen nachgedacht werden.
- Ferner sollte eine Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung komplexer Produkte geprüft werden; dies kann bereits auf regionaler Ebene beginnen.
- Der Bestand an Rohstoffindustrie in NRW bzw. Deutschland und Europa ist auch im Hinblick auf die Sekundärrohstoffgewinnung eine industriepolitische Notwendigkeit: Nur mit einer technologisch hervorragenden Primärrohstoff-Verarbeitung (Eisen, Kupfer, Zink, Zinn,... bis hin zu seltenen Metallen), ist es möglich, Sekundärrohstoffe, vor allem seltene Metalle, aufzubereiten! Dazu zählen selbstverständlich auch entsprechende vor- und nachgelagerte Prozesse (Demontageanlagen, Shredder, Gießereien,...). Der Bestand der deutschen Rohstoffwirtschaft ist wegen deren Energieintensität und der hohen Energiekosten in Deutschland gefährdet.

Zu Frage 4:

*Wie beeinflusst ein schneller Technologiewechsel die Recyclingraten von Wirtschaftsgütern?*

Unter Technologiewechsel wird hier vermutlich die Veränderung der Rohstoff- und Technikbasis von Gebrauchsgütern verstanden. Bei breit genutzten Rohstoffen wirft ein Technologiewechsel keine Probleme auf. Anders kann dies bei seltenen Rohstoffen aussehen, die bei Substitution plötzlich nicht mehr nachgefragt werden.

In solchen Fällen werden die Primär- und Sekundär-Verhüttungswege geändert und auf andere Rohstoffe ausgerichtet. Allerdings kann dies zur Zunahme solcher aktuell nicht nachgefragter Elemente in Schlacken oder Massenmetallen führen. Beispiel: Tellur bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts. Eine wachsende Wirtschaft mit steigendem Rohstoffverbrauch hat zunächst keine Probleme, auch „ausgefallene“ Sekundärrohstoffe wieder einzusetzen. Zudem kann die Situation in verschiedenen Wirtschaftsräumen durchaus unterschiedlich sein – der weltweite Rohstoffhandel findet entsprechende Wege.

Ein interessantes Beispiel bietet in dieser Hinsicht Cadmium (Cd): Wir haben es hier mit einem „ausgemusterten“ Metall zu tun – wo bleibt es? Es gibt nach wie vor außerhalb Europas einen Markt für Ni/Cd-Akkumulatoren, der aber schrumpft, weil im globalen Handel eine Produktvorgabe aus Europa eine große Bedeutung hat. Ferner gibt es mit CdTe als Material für PV-Dünnschichtzellen eine neue, allerdings nicht unumstrittene, Nischenanwendung. Leider fehlen auch in diesem Fall eines Schadstoffs zuverlässige weltweite Bilanzen für den Verbleib. Aus solchen Beispielen kann man lernen, welche Wege Rohstoffe nach einem Technologiewechsel gehen können.

Zu Frage 5:

*Wie hoch schätzen Sie das Potential zur Gewinnung von Rohstoffen für die chemische Industrie durch „Urban Mining“ einschließlich der Aufarbeitung von alten Abraumhalden ein?*

Der Begriff „urban mining“ wird gerne undifferenziert gebraucht. Dabei bezieht er sich auf gänzlich unterschiedliche Quellen für Sekundärrohstoffe (z.B. mining of tailings, landfill mining)<sup>13</sup>. Zu unterscheiden ist zunächst zwischen den verschiedenen Quellen für Sekundärrohstoffe. Um die vorhandenen und mobilisierbaren Mengen zu ermitteln, ist eine systematische Prospektion in der Technosphäre erforderlich. Dies kann heute nur retrospektiv geschehen, zum einen durch die Auswertung von Literatur und Statistiken aus früheren Jahrzehnten, zum anderen durch Probebohrungen in höffigen Lagern:

- In Gebrauch befindliche Produkte: Aktuelle Produktstatistiken bei kurzlebigen Gütern (z.B. Handys); Modelle ggf. kombiniert mit Beprobung bei langlebigen Gütern (z.B. Gebäude)
- Nicht mehr gebrauchte, aber beim früheren Nutzer gelagerte Produkte: Abschätzung, Umfragen
- Halden des Erzbergbaus: Unterlagen aus der Betriebszeit, Beprobung
- Schlacken aus der Verhüttung: Unterlagen aus der Betriebszeit, Beprobung, bei aktuellen Schlacken Rücksprache mit Erzeugern, potenziellen Verwertern
- Deponien: Differenzierung nach Art der abgelagerten Abfälle, Beprobung

Um genauere Aussagen zu einzelnen Stoffen machen zu können, benötigt man aktuelle und historische Stoffbilanzen, die dann integriert werden, um ein Bild der vorhandenen Lager zu erhalten. Derartige Stoffbilanzen sind aufwendig und nur in Ausnahmefällen, dann aber begrenzt auf bestimmte Räume, vorhanden. Wichtige Pionierarbeiten:

- Quecksilber-Bilanz für Deutschland (Rauhut 1973, seinerzeit LGA Bayern)

---

<sup>13</sup> N. Johansson et al. (2013): An integrated review of concepts and initiatives for mining the technosphere: towards a new taxonomy, J. Cleaner Prod. 55, 35-44

- Globale Metall-Bilanzen (Graedl et al., Yale Univ.)
- Material flow accounting (Bringezu et al., Wuppertal-Institut)
- MFA/SFA, u.a. regionale Nährstoffströme (Brunner, TU Wien; Baccini, ETH)

Eher zugänglich sind Produktstatistiken, die allerdings in der Retrospektive mit Unsicherheiten behaftet sind. So gibt es für den deutschen Gebäudebestand mittlerweile Modelle, die das jeweilige Erstellungsdatum und eine grobe Übersicht über die Menge und Art der verbauten Stoffe enthalten; aber bereits durch größere Instandhaltungsmaßnahmen kann sich der Bestand im Einzelfall verändert haben. Deutlich bessere Produktstatistiken, aber ebenfalls ohne Detailinformationen zu den darin enthaltenen Stoffen, liegen für Verpackungen, Batterien, Elektrogeräte etc. vor, mithin Produkte, für die Regelungen im Rahmen der Produzentenverantwortung geschaffen worden sind (Packaging Directive, Battery Directive, WEEE Directive). Da in diesen Regelungen das Verhältnis zwischen in Verkehr gebrachten und zurückgenommenen Produkten eine Rolle spielt, sind entsprechende Input-Output-Statistiken verfügbar, die allerdings mangels Kenntnis über die jeweilige Nutzungsdauer des Produkts und z.T. erheblichen Lücken bei der Rücknahme auch nur begrenzt aussagefähig sind. Die systematische Entwicklung und Pflege von Stoffbilanzen wird unumgänglich, wenn man die Rohstoffversorgung aus der Technosphäre ernsthaft angehen will.

Aus den relativ wenigen vorliegenden Bilanzen lässt sich erkennen, dass bei Metallen das Lager in Infrastruktur, Haushalten und Betrieben meist noch anwächst, also mehr Stoffe gebraucht werden als im Abfall überhaupt vorhanden sind. Es kommt allerdings zu Sättigungseffekten, die u.a. mit dem Entwicklungsstand der Infrastruktur zusammen hängen. So ist der Stahlverbrauch pro Kopf in der Türkei heute deutlich höher als in Deutschland. Angesichts der zunehmenden Mengen an Material, die in Gebäuden, Infrastruktur, Produkten etc. „gelagert“ sind, lassen sich aus der Technosphäre nicht die Mengen an Stoffen gewinnen, die für die Versorgung der Volkswirtschaft unter heutigen Bedingungen ausreichend wären. Dennoch ist es dringend erforderlich, die Lager in der Technosphäre zu identifizieren, zu quantifizieren und die Sekundärrohstoffgewinnung zu organisieren. Dabei ist immer eine mögliche Verschleppung ungewünschter Bestandteile, also von Schadstoffen, zu beachten und auszuschließen. Die Entwicklung einer neuen Schnittstelle zwischen Abfall und Rohstoff über die Regelungen gem. Art. 2 Abs. 7 REACH<sup>14</sup> weist in die richtige Richtung: Damit wird das Sekundärprodukt über Mindestanforderungen an Herkunft und Schadstoffbegrenzung definiert.

Dabei sind von den historischen Lagern die Abraumhalden des Erzbergbaus besonders interessant. Bei den Industrie- und Siedlungsabfällen sind i.W.

- Monodeponien
- Bauschutt- und Bauabfalldeponien
- Hausmülldeponien

zu unterscheiden. Bei der Suche nach Sekundärrohstoffen könnte der Rückbau bestimmter Monodeponien sowie von geeigneten Bauabfalldeponien in Zukunft eine Rolle spielen. Bei Hausmülldeponien dürfte der Anteil an zu entsorgendem organischen Material stören. Erste Erfahrungen mit Deponierückbauten liegen vor; Probebohrungen an einer Reihe von Deponien haben weitere Potenziale

---

<sup>14</sup> Siehe z.B. Bimboes, D., Braedt, M. (2008): REACH und Recycling – Nahtstelle zwischen Entsorgung und Stoffstrommanagement, in Müll Handbuch, Kz. 0144, Lfg. 6/08

aufgezeigt<sup>15</sup>. Die gewinnbaren Mengen kann man im Vergleich zum heutigen Verbrauch von Rohstoffen grob in der Größenordnung von einigen Jahresbedarfen abschätzen. Im Regelfall liegen die Kosten für einen Rückbau heute noch über den Erlösen für die gewonnenen Wertstoffe. Im Fall von „höffigen“ Deponien mit geringen Auswirkungen auf die Umwelt (z.B. Baumischabfälle auf geologisch sicherem Untergrund) ist zu fragen, ob die von der DepV geforderte aufwendige Abdeckung in solchen Fällen realisiert werden sollte bzw. wie eine derartige Deponie in Zukunft zugänglich bleiben kann.

In den Rost- und Flugaschen der MVA'en finden sich Metalle, die z.T. (Fe-Schrott, NE-Schrott) heute bereits zurück gewonnen werden. Diese Prozesse können, wie Pilotanlagen im europäischen Ausland zeigen, im Hinblick auf Art und Menge der gewonnenen Metalle deutlich optimiert werden.

Folgende Maßnahmen werden als sinnvoll erachtet:

- Erarbeitung von Bilanzen solcher Stoffe, die für die technische Entwicklung als besonders wichtig angesehen werden (mindestens auf nationaler Ebene).
- Klärung einer verbesserten Dokumentation von Stoffströmen mit dem Ziel einer zukünftig genaueren Bilanzierung, z.B. für Gebäude
- Abschätzung von „Lagern“ in Abraumhalden und Schlackenhalden von Erzbergbau bzw. -Verarbeitung (NRW); dabei sollte eine evtl. Prospektion solcher Halden auf technisch höchstem Niveau und unter Einbeziehung von Anwohnern angegangen werden.
- Abschätzung der „Lager“ potentieller Sekundärrohstoffe in Deponien in NRW unter Berücksichtigung der aktuellen und zukünftigen Zugänglichkeit.
- Verbesserung der getrennten Erfassung von nicht mehr benötigten Produkten und Förderung der Rückgewinnung von Metallen aus Reststoffen der Abfallverbrennung.

## **Substitution**

Zu den Fragen 8 und 10:

*Welche Bedeutung kommt nachwachsenden Rohstoffen in der chemischen Industrie heute und zukünftig zu? Wie groß ist das weitere Potential der stofflichen Verwendung von Holz? Welche Auswirkungen sind bei Substitution im sozialen, ökonomischen und ökologischen Bereich (Nachhaltigkeit) zu erwarten?*

Nachwachsende Rohstoffe gewinnen in der Chemischen Industrie immer mehr an Bedeutung. Neben der klassischen Nutzung von Pflanzen- und Tierfetten bzw. Ölen werden zunehmend Substanzen aus Pflanzen, Schlachtabfällen usw. isoliert, deren Strukturen mit geringem Aufwand eine Weiterverarbeitung zu den gewünschten Stoffen ermöglichen.

So beschäftigt sich die Zellstoff- und Papierindustrie einerseits mit der Weiterentwicklung von Naturfasern mit der Vision, damit klassische Baustoffen wie Stahl und Beton teilweise ablösen zu können, andererseits mit der Nutzung von

---

<sup>15</sup> z.B. M. Mocker et al.: Urban Mining – Rohstoffe der Zukunft. Müll u. Abfall 2010 (9), 492-501

Reststoffen aus der Herstellung und Verarbeitung von Papier bzw. Altpapier, um daraus neue Stoffe zu gewinnen (z.B. Lävulinsäure aus Faserabfällen, die als Feinrejekt anfallen). Dies ist nur ein Beispiel für die zunehmende Bedeutung von Pflanzenfasern für die zukünftige Rohstoffversorgung.

Dabei entstehen Nutzungs- und Zielkonflikte, die sich am Beispiel Holz heute schon abzeichnen:

- Der Wald dient zur Versorgung mit Rohstoffen für die Holz-, Möbel- und Zellstoffindustrie.
- Der Wald hat vielfältige ökologische und soziale Funktionen, wobei seine Bedeutung als Kohlenstoff-Senke im Rahmen der Klimapolitik u.U. noch erheblich zunimmt.
- Der Wald wird zunehmend zur Gewinnung von Feuerholz gebraucht, z.T. getrieben durch das EEG, z.T. durch den Trend, sich „unabhängig“ von leitungsgebundener Energie zu machen.

Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung muss den Ausgleich zwischen diesen Zielen herbeiführen. Die energetische Holznutzung betrug 2011 ca. 646 TWh, wobei der Schwerpunkt der Nutzung vor allem bei privaten Haushalten lag. Die stofflich und energetisch verwerteten Mengen von Holz aus deutschen Wäldern liegen bereits etwa gleichauf. Die Nutzungskonkurrenz im Bereich Industrieholz bzw. Restholz verschärft sich, es werden dem Wald heute deutlich mehr Erntereste entzogen als in früheren Jahren, so dass weniger Totholz gebildet wird. Damit kommt es langfristig zu einem erheblichen Nährstoffaustrag aus den Wäldern. Die Bundesregierung sieht in der „Waldstrategie 2020“ eine Steigerung des Holzeinschlags auf 80 Mio cbm (Efm) vor, das entspricht mit Kronenholz, Rinden, Ästen etwa 100 Mio cbm (Vfm). Der derzeitige Einschlag liegt bei ca. 71 Mio cbm (Vfm). Daraus lässt sich ein Defizit von etwa 30 bis 40 Mio cbm ab 2020 ableiten. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen merkt dazu an: „Die ... Aussage „der Wald soll als CO<sub>2</sub>-Senke erhalten bleiben“ wird mit der Waldstrategie 2020 ad absurdum geführt. Zur Abmilderung des Klimawandels in den kommenden Jahrzehnten sollte dagegen eher der Aufbau weiterer Kohlenstoffvorräte im Wald durch ein höheres Bestandsalter angestrebt werden.“<sup>16</sup> Die steigende Nachfrage nach Holz für die energetische Nutzung treibt die Industrieholzpreise nach oben, wie aus der folgenden Graphik (Erzeugerpreis-Index für Holz aus Staatsforsten lt. DESTATIS, 2005=100) ersichtlich ist. Eine vergleichbare Entwicklung wurde auch beim Altholz durch die Nutzung von Subventionen aus dem EEG angestoßen. Während die energetische Verwertung von Altholz (AIV bis AI) in den letzten zehn Jahren drastisch zugenommen hat, geht die stoffliche Verwertung von geeigneten Altholzqualitäten (AI, AII) für die Spanplattenindustrie zurück. Die politisch befürwortete „Verwertungskaskade“ von Holz (hochwertig stofflich, niederwertig stofflich, energetisch) führt sich selbst ad absurdum.

Die Lösung dieses Konflikts bedarf einer langfristigen Strategie, in der verschiedene Ziele miteinander abgewogen werden müssen. Nachhaltige Waldbewirtschaftung steht dabei sicher an erster Stelle. Wenn das Potenzial für die stoffliche Verwertung von Holz erhöht werden soll, dann muss neben einer nur langfristig wirkenden Aufforstung

- der Import von Holz z.B. aus Osteuropa gesichert
- und die energetische Nutzung von Frischholz begrenzt werden.

---

<sup>16</sup> Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 2012, Tz. 377

Diese Strategie kann nicht global die gleiche sein, da unterschiedliche natürliche Voraussetzungen vorliegen, und sie muss mit neuen Erkenntnissen und sich ändernden Bedarfen dynamisch weiter entwickelt werden.



## Seven dilemmas in waste management



Booming economies activate primary resources world wide mostly accompanied by enormous waste piles.



Valuables are mixed up in products with other materials increasing the entropy in the system boundaries.



Products are dissipated world wide increasing the entropy factor depending on the degree of dispersion.



The opportunity costs for recycling of waste depend on the socioeconomic situation of the societies and of the individuals.



Valuable resources in products may be combined with hazardous substances due to technical needs making resource recovery difficult.



The dualism of waste and resources leads to incorrect classifications sometimes caused by unawareness, sometimes intending to defraud.



Resources cannot be substituted by secondary raw materials as long as they are in use. This is of special evidence in the case of high amount of scarce materials stored in the technosphere.