des Erkenntnisfortschrittes herausstellt, daß sie nicht mehr akzeptable Schäden und Risiken heraufbeschwören. Ökologisch reversibel sind sie, wenn es technisch möglich wäre, den status quo ante herzustellen. Sozial reversibel sind sie, wenn die technische Möglichkeit auch mit einem ökonomisch und sozial vertretbaren Aufwand realisierbar wäre. Die Abhängigkeit mancher osteuropäischer Staaten von Atomkraftwerken, deren Sicherheitstechnik völlig ungenügend ist, ist zumindest ein abschreckendes Beispiel für fehlende ökonomische und soziale Reversibilität, vielleicht auch für fehlende technische Reversibilität, wenn man an die Entsorgungsprobleme des Atomabfalls in Betracht zieht.

► Ferner sind die Kriterien nachhaltigen Wirtschaftens fast ausnahmslos als Handlungsbeschränkungen formuliert. Die Idee, daß es vielleicht Technologien geben könnte, die die Produktivität der Natur für die Gesellschaft steigern können, ohne sie zu schädigen, ist scheinbar so nachhaltig desavouiert, daß sie in der gegenwärtigen Diskussion um das Konzept des sustainable development keine nennenswerte Rolle mehr spielt. Ob das angesichts des Innovationsschubs bei jenen Biotechnologien, die gleichsam der Natur abgeschaut sind, so bleiben muß, ist zumindest auch eine offene Frage.

Stefan Zundel, Berlin

Literatur

- Dosi, G., Freeman, R. u. a. (Hg.) 1988: Technical Change and Economic Theory. London.
- Enquete-Kommission »Schutz des Menschen und der Umwelt« des Deutschen Bundestages (Hg.) 1994: Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen. Bonn.
- Erdmann, G. 1993: Elemente einer evolutiven Innovationstheorie. Tübingen.
- Gleich, A. v. 1994: Sanfte Chemie – Eine Innovationsperspektive für die chemische Industrie. Universitas, 729-741, 49. Jg.
- Gleich, A. v., Lucas, R. 1994: Veränderte Standortanforderungen in einer zukünftigen Unternehmenslandschaft. IÖW-VÖW Informationsdienst 2/94
- Grupp, H., Schmoch, U. 1992: Wissenschaftsbindung der Technik – Panorama der internationalen Entwicklung und sektorales Tableau für Deutschland. Heidelberg
- Hanusch, H., Cantner, U. 1993: Neuere Ansätze in der Innovationstheorie und der Theorie des technischen Wandels – Konsequenzen für eine Industrie und Technologiepolitik. In: Meyer-Krahmer, F. (Hg.): Innovationstheorie und Technologiepolitik, Heidelberg.
- Hellenbrandt, S., Rubik, F. (Hg.) 1994: Produkt und Umwelt. Anforderungen, Instrumente und Ziele einer ökologischen Produktpolitik. Marburg.
- Helmstädter, E. 1993: Berichterstattung zum Abschnitt II: Erfolgsfaktoren im Innovationsprozeß. In: Meyer-Krahmer, F. (Hg.): s.o.
- Jänicke, M. 1986: Staatsversagen. Die Ohnmacht der Politik in der Industriegesellschaft. München
- Jänicke, M. 1993: Über ökologische und politische Modernisierungen. Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, 159-175.
- Legler, H., Grupp, H., Gehrke, B., Schasse, U. 1992: Innovationspotential und Hochtechnologie – Technologische Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb. Heidelberg
- Lucas, R. 1988: On the Mechanics of Economic Development. Journal of Monetary Economics, 3-44, Vol 22.
- Meyer-Krahmer, F. 1992: Strategische Industrien im internationalen Vergleich: Arbeitsteilung und politische Instrumente. In: Fricke, W. (Hg.): Jahrbuch Arbeit und Technik 116-126
- Nelson, R., Winter, S. G. 1982: An Evolutionary Theory of Economic Change. Boston, Mass.
- Robinet, K., Zundel, S. 1994: Förderinstrumente und wirtschaftliche Entwicklung. Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung (unveröffentlicht). Berlin.
- Romer, P. M. 1986: Increasing Returns and Long-run Growth. Journal of Political Economy, 1002-1037, Vol. 94.
- Witt, U. 1991: Reflections on the Present State of Evolutionary Economic Theory. In: Hodgson, G./Scrapanti, E. (Hg.): Rethinking Economics: Markets, Technology, and Economic Evolution, 83-102

Effizienz und Risiko

Vorausschauende Technikbewertung am Beispiel: Umwelteinflüsse Neuer Werkstoffe

Die Debatte um »sustainability« hat noch einmal die Notwendigkeit einer gewaltigen Reduzierung der Stoff- und Energieströme vor allem in den Industriestaaten deutlich gemacht. Nicht nur Verhaltensänderungen (Sparsamkeit) und Produktoptimierungen (Langlebigkeit), sondern auch technische Innovationen mit dem Ziel einer »Effizienzrevolution« (v. Weizsäcker) sollen zu diesem Ziel beitragen. Gerade bei diesen technischen Innovationen besteht allerdings die Gefahr, daß die höhere Effizienz durch Erhöhung der Eingriffstiefe in Naturzusammenhänge erzielt wird. Auf diesem Wege könnten geradezu proportional mit der Material- und Energieeffizienz auch die technischen und ökologischen Risiken steigen.

Die Kernenergie wird schon mit Blick auf die CO₂-Problematik neu diskutiert. Viele gentechnische Verfahren sind tatsächlich um Zehnerpotenzen material- und energieeffizienter als chemisch-synthetische oder klassisch biotechnologische, und auch die ökologische Wünschbarkeit des Einsatzes von Kunststoffen im Karosseriebau bzw. von Hochleistungskeramiken im

Motorenbau wird vor allem mit einer erwartbaren Verminderung des Treibstoffverbrauchs begründet.

Es mehren sich die Anzeichen dafür, daß wir in vielen technischen Bereichen vor neuen Konflikten über den einzuschlagenden Entwicklungspfad, über die konkrete stofflich-technische Ausprägung der notwendigen »ökologischen Modernisierung« stehen. Mögliche Konfliktlinien werden sich dabei um den »Grad der Zurichtung« natürlicher Strukturen und Materialien drehen (»Naturnähe« versus »Zurichtung«) und um die zugegebenermaßen grob vereinfachende Alternative zwischen einer Effizienzsteigerung, die entweder durch höhere Eingriffstiefe in Naturzusammenhänge erzielt wird, oder durch intelligentere Ausgeklügeltheit, durch ein kenntnisreiches, geschicktes, eingepaßt-mimetisches Bewegen zwischen den Naturkräften und Aufbauen auf natürlichen Strukturen (»Sophistication/Mitproduktivität«).

Im folgenden sollen als Beispiel für diese Konfliktlinien einige Ergebnisse des Gutachtens »Umwelteinflüsse Neuer Werkstoffe« vorge-

stellt werden, das das IÖW im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) durchgeführt hat.

Überbetonung von Effizienzvorteilen

Ein Teil dieses Gutachtens konzentriert sich auf die exemplarische Untersuchung eines Neuen Werkstoffs in einem spezifischen Anwendungsgebiet, auf Neue Keramiken in der Automobilbranche. Da über potentielle Umwelteinflüsse Neuer Werkstoffe bisher kaum publiziert wurde, führten wir persönliche Gespräche mit Fachleuten aus Forschung und Industrie. Wir erwarteten von dieser Befragung weniger vollständige Detailinformationen über qualitative und quantitative Umwelteinflüsse als vielmehr Eindrücke, mit deren Hilfe wir Umweltbelastungspotentiale von Neuen Keramiken und den Umgang der Befragten mit der Thematik zu erspüren hofften. Als Ergebnis dieser Befragung entwickelten wir Thesen, die in einer zweiten Befragungsrunde den Experten noch einmal vorgelegt wurden. Eine davon lautete: Kerami-

sche Bauteile im Motor sind energieeffizienter als traditionelle Werkstoffe.

Besonders auffällig war, daß die Anwendungs- bzw. Gebrauchsphase Neuer Keramiken als der einzige an sich umweltrelevante Bereich betrachtet wurde. Nur hierzu standen auch Hinweise in der Literatur zur Verfügung, in denen der Begriff »Umwelt« zumindest erwähnt wurde.

Insbesondere bei langlebigen Gütern hat die Gebrauchsphase eine große Bedeutung. Dennoch halten wir die Umweltentlastungen, die durch keramische Bauteile bewirkt werden können, für überbetont, vor allem wenn mögliche Umweltbelastungen vorangegangener und nachfolgender Lebenszyklusphasen sowie weitere Aspekte nahezu unerwähnt und unbedacht bleiben, so z.B. die in den folgenden Thesen vorgestellten:

- Die Rohstoffe für Neue Werkstoffe müssen oft in größerer Reinheit vorhanden sein als dies bei traditionellen Werkstoffen der Fall ist. Das erfordert meist energieintensive Reinigungsschritte, die zudem einen hohen Abraum, d.h. Abfall, hinterlassen.
- Den Rohstoffen werden in der Produktionsphase eine Reihe von umweltgefährdenden Zusatzstoffen zugesetzt, die dann beim Trocknungs- und Sinterprozeß umweltgefährdende Emissionen verursachen.
- Neue Werkstoffe sind in ihrer Struktur und Zusammensetzung äußerst spezifisch ausgerichtet, im Extremfall wird fast Atom um Atom komponiert. Es ist fraglich, ob in der Verwertungs- und Abfallphase diese Struktur erhalten werden kann.

So konnte in einem Interview ein Werkstoffwissenschaftler mit dem Brustton der Überzeugung von der ökologischen Verträglichkeit von Ventilen aus Hochleistungskeramik reden. Diese Ventile seien ohne Probleme als »Straßenschotter« entsorgbar. Er übersah völlig den damit verbundenen unverantwortlichen Umgang mit in diesem Fall technisch erzeugten Ordnungsniveaus. Eine weitere These lautete:

- Aufgrund der zumindest bisher geringen Materialflüsse auf der Basis Neuer Werkstoffe wird an Wiederverwendung, Recycling und Entsorgung bisher kaum gedacht.

Unserer Ansicht nach besteht hier ein Widerspruch zwischen den äußerst geringen Mengen, mit denen in der Forschung gearbeitet wird, und den erwarteten bzw. erhofften Marktchancen. Wir stellten im Rahmen unserer Gespräche fest, daß bei der Mehrzahl der Befragten die (wiederholt geäußerte) Meinung vorherrscht, daß die Umweltproblematik von Neuen Werkstoffen deswegen nicht von Bedeutung sei, weil die Mengen an heute eingesetzten Neuen Werkstoffen sehr gering ausfallen. Diese Argumentation greift natürlich dann zu kurz, wenn gleichzeitig als sehr bedeutendes Ziel der Werkstoffentwicklung die Erhöhung von Marktanteilen bzw. die Erschließung neuer Märkte durch Neue Werkstoffe propagiert wird. Auch die befragten Vertreter der Automobilbranche,

die spätestens durch die geplante Altautoverordnung bzw. das Kreislaufwirtschaftsgesetz hellhörig werden müßten, haben bisher Entscheidungs- und Recyclingfragen mit Blick auf Neue Werkstoffe kaum Aufmerksamkeit gewidmet. Ökologische Verbesserungs- und Entlastungsmaßnahmen werden auch auf diesem Gebiet wohl erst dann ergriffen, wenn Produkte in großen Mengen hergestellt und eingesetzt und die Probleme unübersehbar geworden sind. Die Chancen einer Gestaltbarkeit im Sinne eines integrierten und präventiv angelegten Umweltschutzes werden wieder vertan. Als klassische Reaktionsmuster dürfen wieder technische, in erster Linie kostspielige end-of-pipe-Maßnahmen erwartet werden.

Notwendigkeit einer vorsorgenden Technikbewertung

Als verallgemeinertes Ergebnis dieser Befragung kann gesagt werden, daß bei der Bewertung von Stoffen nach wie vor Emissionen im Vordergrund stehen und andere wesentliche ökologische Aspekte kaum Beachtung finden. Gefährdungen der Balance ökologischer Systeme (Bsp. Klima), Wirkungen auf die organismische Mitwelt (Lebensraum) und der Umgang mit natürlichen Ordnungsniveaus (Entropie) spielen bisher allenfalls eine untergeordnete Rolle.

Weit problematischer als diese Ausblendungen ist allerdings, daß die derzeit dominierenden Stoffbewertungsverfahren fast ausschließlich von nachsorgendem Charakter sind. Gehandelt

wird nur, wenn das Kind schon in den Brunnen gefallen ist. Die bundesrepublikanischen Bewertungsgremien für Stoffe (z.B. das Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe BUA) empfehlen stoffpolitische Maßnahmen nur auf der Basis streng wissenschaftlicher Kausalnachweise. Das Risiko des »Nicht-Wissens«, die Möglichkeit des Auftretens bisher noch unbekannter Risiken und Schäden geht damit vollständig zu Lasten der Natur und zukünftiger Generationen. Die berühmt-berüchtigten FCKWs haben schließlich alle von diesen Gremien vorgesehenen toxikologischen und ökotoxikologischen Prüfungen mit Bravour bestanden.

Zur Realisierung des überall propagierten Vorsorgeprinzips, d.h. für einen angemessenen Umgang mit dem Nichtwissen, mit noch unbekannten Risiken, sind deshalb vorsorgeorientierte Bewertungskriterien nötig, Kriterien, mit denen auch eine vorsorgeorientierte Herangehensweise an technische Lösungen, mit denen z.B. mehr Behutsamkeit im Naturumgang erfaßt werden kann. Dies wird in der Stoffbewertung nur mit einer Blickwende möglich sein, mit einer Blickwende von der Stoff- zur Technikbewertung, eine Erweiterung der Stoffbewertungsverfahren auf die Technologien der Stoffgenese (Gewinnung, Synthese, Bearbeitung) und auf den geplanten Stoffeinsatz.

Noch größer wird das Nichtwissen, wenn es sich, wie bei den »Neuen Werkstoffen«, zudem noch um eine erst im Entstehen begriffene Technologie handelt. Wir konzentrierten uns im 2. Teil der Studie deshalb auf grundlegende Strategien der Werkstoffgewinnung und Bearbei-

Abbildung 1: Traditionelle Werkstoffe

tung bzw. auf die diesen zugrunde liegenden Umgangsformen mit Natur.

Werkstoffe und Werkstoffstrategien im Fadenkreuz

Viele Schwierigkeiten der Stoff- und Technikbewertung relativieren sich, wenn nicht singuläre Bewertungen, sondern eine vergleichende Bewertung durchgeführt wird. Von der Fähigkeit zu absoluten Aussagen über den Grad der »Eingriffstiefe« von Technologien oder den Grad der »Zurichtung« von Stoffen und natürlichen Strukturen sind wir weit entfernt. Die Operationalisierung dieser Kriterien steht erst am Anfang. Aber relative Positionierungen als »Heuristik« und als Anstoß für eine Bewertungsdebatte, in die die vielfältigsten Aspekte einfließen können, sind möglich. Ein Ergebnis unserer Studie ist die folgende Positionierung von alten und »Neuen« Werkstoffstrategien in zwei Fadenkreuzen (s. Abb. 1 und 2).

Der Positionierung auf der Achse Eingriffstiefe vs. Sophistication/Mitproduktivität lagen insbesondere zugrunde: Reversibilität/Irreversibilität von Eingriffen, extreme Herstellungs- und Verarbeitungsbedingungen (Temperatur, Druck, aggressive Chemikalien), Zahl und Art der Nebenreaktionen (Nebenwirkungen und Kuppelprodukte, incl. Übertritt von ganzen Stoffgruppen in die Gasphase bei hohen Temperaturen), Naturstoff oder chemisch-synthetischer (xenobiotischer) Stoff, (Öko-)Toxizität, Regenerierbarkeit, Re-Integrierbarkeit der technisch induzierten in die natürlichen Stoffströme, Wieder-

verwendbarkeit, Einklinken in Naturprozesse, Aufbauen auf natürlich-vorfindbaren Strukturen, Achtung vor der »gewachsenen« Struktur, Nutzung von natürlichen Strukturen auf dem größtmöglichen Organisations- und Komplexitätsniveau, Lernen von der Natur (Bionik/Biomimetik).

Der Positionierung auf der Achse Naturnähe versus Zurichtung lagen zugrunde: Grad der Reinigung, Ausgrenzung und Eliminierung von Naturbestandteilen, Naturkräften und -prozessen, Anforderungen an den Reinheitsgrad von Stoffen im Vergleich zur natürlich vorfindbaren Konzentration in Lagerstätten (Aufwand an Energie und Material, Menge der Reststoffe), Anforderungen an definierte Strukturen wie z. B. Korngrößen (incl. Bruch- bzw. Störfallrisiko bei Nichteinhaltung), extreme Herstellungs- und Verarbeitungsbedingungen (Vakuum, Reinraum), Aufwand bei der Verarbeitung und beim Einsatz der Werkstoffe, Naturbelassenheit, Umgang mit natürlich vorfindbaren (und technisch erzeugten) Ordnungsniveaus.

Die Rolle von wissenschaftlicher Information in Bewertungsverfahren ist zu Recht beschränkt. Bewertungsverfahren sind öffentliche Diskurse, zu denen Wissenschaft beitragen und deren Voraussetzung sie verbessern kann. Wir hoffen, auf diesem extrem unsicheren Feld der Bewertung einer sich erst in Entwicklung befindlichen Technologie zumindest zur Erweiterung des Blicks und zur Strukturierung der Debatte beigetragen zu haben.

Arnim von Gleich, Hamburg
Simone Hellenbrandt, Heidelberg

Abbildung 2: Neue Werkstoffe

TAB-Projekt zum Thema Neue Werkstoffe

Durch den Ausschuß für Forschung, Technologie und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages wurde im November 1992 an das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag der Auftrag zur Durchführung einer TA-Studie zum Thema »Neue Werkstoffe« vergeben. Im TAB-Arbeitsbericht Nr. 15 (November 1992) »Neue Werkstoffe – politische Herausforderung und technologische Chancen« wurden die wesentlichen Schwerpunkte des TAB-Projektes vor dem Hintergrund der Bedeutung neuer Werkstoffe für den Wirtschaftsstandort Deutschland dargestellt. Im Beschluß des Forschungsausschusses zur Durchführung des TA-Projektes wurden diese Schwerpunkte folgendermaßen gebündelt:

- Für den Materialsektor (Bundesrepublik Deutschland und Europäische Union [EU]) sollen Entwicklungspotentiale, wirtschaftliche Bedeutung, ökologische Auswirkungen und soziale Relevanz in einem generellen Überblick behandelt werden.
- In einem branchen- und produktbezogenen Ansatz sollen exemplarisch die Chancen und Risiken neuer Entwicklungen auf dem Werkstoffsektor für die deutsche Industrie untersucht werden.
- Schließlich sollen daraus alternative Strategien entwickelt und Handlungsoptionen für ihre forschungs- und technologiepolitische Umsetzung dargestellt und analysiert werden.

Bereits die Diskussion im Vorfeld des eigentlichen TAB-Projektes zeigte, daß es eines neuen integrativen Ansatzes für die Werkstoffforschung bedarf, in dem Integration als ein dynamischer Prozeß verstanden wird, der zu einer größeren Anwendungswahrscheinlichkeit von Forschungsergebnissen führt. Ein solcher Ansatz muß der historisch gewachsenen Struktur der deutschen Forschungslandschaft gerecht werden und dazu beitragen, Innovationspotentiale der deutschen Wirtschaft zu aktivieren. In Auswertung dieser Diskussion wurden im TAB-Arbeitsbericht Nr. 22 »Wege zur integrierten Werkstoffforschung« skizziert. Unter Integration wird dabei ein dynamischer Prozeß der interdisziplinären und bereichsübergreifenden Behandlung von Problemen der Werkstoffforschung verstanden. Dabei sind neben den unmittelbar materialwissenschaftlichen Gebieten alle relevanten ökonomischen und ökologischen Aspekte sowie auch die gesellschaftlichen Auswirkungen von Werkstoffentwicklungen zu berücksichtigen.

Insbesondere die ökologische Bewertung neuer Werkstoffe wurde von den Berichterstattern der verschiedenen Ausschüsse des Deutschen Bundestages als eine vordringliche Aufgabe für das TAB-Projekt angesehen. Hierbei kam es vor allen Dingen darauf an, Gemeinsamkeiten und

(c) 2010 Authors; licensee IÖW and oekom verlag. This is an article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivates License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.