

SCHWERPUNKT

Foresight für die Umwelt- technik von morgen

Einführung in den Schwerpunkt

von Jens Schippl und Juliane Jörissen, ITAS

Das komplexe Problem, Technologien zur Bewältigung von Umweltproblemen zu entwickeln, sie an die Anforderungen von Schwellen- und Entwicklungsländern anzupassen, damit neue Märkte zu erschließen und gleichzeitig die Position Deutschlands im internationalen Wettbewerb zu verbessern, markiert die Herausforderung, vor der eine langfristig angelegte und strategisch orientierte Förderpolitik im Bereich „Umweltechnologien“ steht. Vor diesem Hintergrund wurden in den letzten Jahren eine ganze Reihe von Forschungsvorhaben mit Foresight-Charakter gefördert, die dazu dienen sollen, Chancen und Perspektiven von unterschiedlichen Umwelttechnologien auszuloten und Handlungsoptionen aufzuzeigen. Der vorliegende TATuP-Schwerpunkt stellt einige dieser Projekte vor. Im Fokus des Schwerpunkts stehen in erster Linie die Umwelthandlungsfelder „Wassermanagement“ und „Erhöhung der Rohstoffeffizienz“. Mit dieser Auswahl wurden zwei Zielfelder des „Masterplan Umwelttechnologien“ erfasst, deren vordringliche Relevanz auch von anderen Studien bestätigt wird. Das dritte Zielfeld des Masterplans, der Klimaschutz, wurde bereits in vielen Vorhaben umfassend behandelt und steht daher nicht im Vordergrund.

1 Umwelt und Technik

Bevölkerungswachstum, Industrialisierung, Urbanisierung und steigender Wohlstand als gesellschaftliche Treiber des globalen Wandels haben zu globalen Umweltveränderungen wie Klimawandel, Bodendegradation, Abnahme der biologischen Vielfalt, Verknappung des Süßwasserdargebots, Übernutzung und Verschmutzung der Weltmeere sowie einem steigenden Verbrauch nicht erneuerbarer Rohstoffe geführt. Nun sind Umweltkri-

sen an sich kein neues Phänomen. Menschliches Wirtschaften führt seit Jahrhunderten zu Veränderungen der natürlichen Umwelt, die sich teilweise katastrophal auf die Lebensbedingungen der betroffenen Bevölkerung ausgewirkt haben. In der Vergangenheit handelte es sich jedoch meist um regional begrenzte Krisen, die der Mensch durch ein entsprechend angepasstes Verhalten meistern konnte. Das Neuartige im Verhältnis Mensch-Natur liegt darin, dass sich menschliches Handeln erstmals auf die Erde als Gesamtsystem auswirkt (WBGU 1999). In letzter Zeit ist vor allem die Bedrohung durch den Klimawandel ins öffentliche Bewusstsein vorgedrungen. Es ist davon auszugehen, dass der Klimawandel die Problemlagen in anderen Bereichen verstärken und über Dürren, Trinkwassermangel, Hochwasser oder Stürme die Lebensbedingungen vor allem in den armen Ländern des Südens erheblich verschlechtern wird. Daher steht Umweltschutz mittlerweile vielfach im Zeichen des Klimawandels (SRU 2008).

Technik spielt bei allen diesen Veränderungen eine große, allerdings auch ambivalente Rolle. Obwohl ein Großteil der heutigen Umweltprobleme direkt oder indirekt durch den technischen Fortschritt verursacht wird, beinhalten moderne Technologien gleichzeitig ein bedeutendes Potenzial zu ihrer Bewältigung. Vor allem in den Industrieländern sind in den vergangenen Jahrzehnten bereits große Fortschritte erzielt worden – etwa auf dem Gebiet der Luftreinhaltung, der Abwasserbehandlung und der Abfallbeseitigung. Die klassische Umwelttechnik gerät jedoch angesichts des Industrialisierungsschubs in den Schwellenländern, der rasant steigenden Nachfrage nach Energie und Rohstoffen sowie wachsender Konsumbedürfnisse an ihre Grenzen. Es geht nicht mehr nur um die Vermeidung unmittelbarer Belastungen (Luftverunreinigung, Bodenversauerung, Eutrophierung etc.), sondern um einen grundsätzlichen Wandel der Perspektive. Erforderlich ist eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltverbrauch mit Hilfe produktbezogener, verfahrensbezogener und organisatorischer Innovationen. Ziel ist es, durch eine Erhöhung der Ressourcen- und Energieproduktivität und die Kreislaufführung von Materialien den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu verringern, durch Einsatz erneuerbarer Ressour-

den Bestand an nicht erneuerbaren Ressourcen zu schonen und die Rückstände des industriellen Metabolismus zu reduzieren oder ganz zu vermeiden. Um dieses Ziel zu erreichen, spielen technologische Innovationen eine entscheidende Rolle. Wie die Bundesregierung in ihrer Hightech-Strategie für Deutschland betont, lassen sich weder die Millenniumsziele der Vereinten Nationen noch die Ziele der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie ohne den Einsatz effizienter „sauberer“ Technik realisieren (BMBF 2006).

2 Hoffnung auf „Leapfrogging“

Die Notwendigkeit eines Trendwechsels ist inzwischen allgemein akzeptiert. Auch viele Schwellenländer haben erkannt, dass eine weitere „Subventionierung“ ihres raschen Wirtschaftswachstums über die Umwelt nicht länger möglich ist (Töpfer 2007). Der massive Energie- und Stoffdurchsatz der heutigen Industrieländer kann kein Leitmodell für eine nachhaltige Weltwirtschaft sein, es geht vielmehr darum, eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Umweltverbrauch zu erreichen. Besonderes Gewicht sollte dabei auf die Möglichkeiten des „ökologischen Leapfrogging“ gelegt werden, bei dem z. B. ein Entwicklungsland die Zwischenstufen einer nicht nachhaltigen, Ressourcen verschwendenden Wirtschaftsweise überspringt, um so aus Fehlern des Entwicklungsmodells der Industrieländern zu lernen und neue technologische Ansätze direkt auszunutzen (WBGU 2004, S. 97). Als Beispiele für solch einen „Sprung“ zu zumindest weitgehend nachhaltigen Technologien nennt der WBGU den Einsatz solarbetriebener Meerwasserentsalzungsanlagen an Stelle fossil betriebener oder auch den Aufbau kabelfreier Kommunikationssysteme über Auslastung der Kupferkabeltechnologien.

Weltweit lässt sich daher ein wachsender Bedarf an ressourceneffizienten, umweltfreundlichen Technologien konstatieren. Um die globalen Problemlösungskapazitäten und Marktpotenziale von Umwelttechnologien zu erschließen, ist es wichtig, dass diese nicht nur in den Industrieländern sondern auch in den Schwellen- und Entwicklungsländern eingesetzt werden. Dort herrschen aber oft andere Anforderungsprofile für die Einführung und den Betrieb von Umwelttechno-

logien vor. Neben der Entwicklung neuer technologischer Ansätze ist es somit erforderlich, Technologien an die spezifischen Bedingungen von Schwellen- und Entwicklungsländern anzupassen. Speziell in den beiden Beiträgen in diesem Heft, die sich dem Einsatz innovativer Wassertechnologien widmen, wird dieser Punkt eingehend thematisiert (Beck et al.; Störmer et al.). Technologische Entwicklungen und Innovationen allein reichen dabei oft nicht aus, um den drängenden Umweltproblemen entgegen zu wirken und sich auf den entsprechenden Märkten durchzusetzen. Vielfach gilt es, organisatorisches Wissen und Know-how ebenfalls zu vermitteln. Wachsende Bedeutung kommt daher hochwertigen, wissensbasierten Dienstleistungen zu. Dazu gehören beispielsweise Wissenstransfer und Capacity-Building, die Durchführung von Umweltverträglichkeits- und Nachhaltigkeitsprüfungen, die Durchführung von betrieblichen Umweltprüfungen (Öko-Audit), Produktlinien- und Stoffstromanalysen oder auch die Entwicklung kommunaler Energie-, Abfall- und Flächenmanagementkonzepte.

3 Umweltschutz als „Leitmarkt“

Lange wurde Umweltschutz vornehmlich als ein Problem diskutiert, das wegen der damit verbundenen Kosten wirtschaftlichem Wachstum entgegensteht. In den letzten 20 Jahren hat sich jedoch zunehmend die Erkenntnis durchgesetzt, dass Umweltschutz auch ein Motor für wirtschaftliche Entwicklung sein kann. Besonders deutlich wird das beim „Leitmarkt-konzept“, das in Deutschland in vielen wissenschaftlichen und politischen Veröffentlichungen aufgegriffen wird (vgl. BMBF 2006; BMU, BMBF 2008; acatech 2010; BMU, UBA 2007). Ein Leitmarkt entsteht, wenn sich in einem Land eine Innovation zuerst etabliert und sich von dort aus in ausländischen Märkten oder sogar weltweit durchsetzt (vgl. Beise, Rennings 2005; Porter, van der Linde 1995). Forschungsstrategien, Umweltregelungen bzw. -anreize oder technische Standards können demnach in einem Land technische Entwicklungen vorantreiben, die den Unternehmen auch auf dem Weltmarkt Vorteile verschaffen – besonders, wenn andere Länder ähnliche Regel- und Anreizsysteme einführen. Im Zusammenhang mit dem

Leitmarktkonzept betonen Porter und van der Linde, dass Unternehmen eine Stärkung des Umweltschutzes als ökonomische Chance, im Hinblick auf mögliche Wettbewerbsvorteile begreifen sollten (Porter, van der Linde 1995, S. 134).

Verschiedene Studien belegen die wirtschaftliche Bedeutung der deutschen Umweltschutzindustrie (BMU 2009; UBA, BMU 2007; BMU, UBA 2007; NIW, ZEW, ISI 2007). Wie alle Untersuchungen zeigen, ist der Markt für Umwelttechnologien einer der global am stärksten wachsenden Märkte überhaupt. Deutschland hat in vielen Segmenten dieses Marktes bereits heute eine hervorragende Stellung und nimmt auf einigen Gebieten sogar weltweit eine Führungsrolle ein. Nach einer vom BMU (2009) herausgegebenen Studie erwirtschafteten Umwelttechnologien in Deutschland im Jahr 2007 rund acht Prozent des deutschen Bruttoinlandsproduktes; nach Schätzungen soll sich dieser Anteil bis 2020 auf 14 Prozent erhöhen. Eine andere Studie kommt zu dem Ergebnis, dass Deutschland im Jahre 2004 mit einem Welthandelsanteil von 16,4 Prozent größter Exporteur von potenziellen Umweltschutzgütern vor den USA (16,1 Prozent) und Japan (10,8 Prozent) war (NIW, ZEW, ISI 2007, S. 109). Gleichzeitig gehört Umwelttechnik zu den innovativsten Branchen in Deutschland (BMU 2009). Jänicke (2008) spricht von einem „Megatrend Umweltinnovationen“ und sieht die aktive Umweltpolitik in Deutschland und Europa als mit verantwortlich für den Boom an umweltbezogenen Erfindungen.

Abgesehen von der Erschließung neuer Märkte können Unternehmen wie auch Verbraucher direkt von Umwelttechnologien profitieren. Schließlich gibt es eine Reihe von Umwelttechnologien die – oft nach höheren Anfangsinvestitionen – zu Kostenvorteilen durch eine Reduktion des Ressourcenverbrauchs führen. Steigende Preise für Energie und Rohstoffe können hier durchaus als Treiber wirken, der Innovationen auslöst bzw. deren Marktdurchdringung fördert. Letzteres kommt wieder der Umwelt zu Gute, da die Reduktion der Stoff- bzw. Energieströme zu Umweltentlastungen führt.

In Ergänzung zu dieser positiven Rahmung des Zusammenhangs zwischen ökonomischen Perspektiven und Umwelttechnologien darf nicht unerwähnt bleiben, dass bei weitem nicht

alle Umweltprobleme durch Technologien lösbar sind. Dies gilt besonders für technikferne Bereiche, wie Biodiversität oder für Fragen des Bodenschutzes, wo sich vornehmlich über Regelungen und kaum vermarktbar bewirtschaftungskonzepte effektive Ansätze ergeben. Jänicke weist darauf hin, dass diese technikfernen Bereiche in der aktuellen „Innovationseuphorie der Umweltpolitik“ nicht vernachlässigt werden dürfen (Jänicke 2008, S. 51).

4 Foresight: Orientierungswissen für Innovationen

Um einerseits der globalen Verantwortung für eine nachhaltige Entwicklung gerecht zu werden und andererseits die Position deutscher Firmen im Wettbewerb zu stärken, ist eine gezielte Ausgestaltung innovationsorientierter Forschungs- und Umweltpolitik erforderlich. Wie der SRU betont, zählen nicht umwelttechnische Erneuerungen an sich, sondern ihre Fähigkeit, globale Klima- und Umweltschutzziele zu verwirklichen (SRU 2008, S. 47). Auch die radikalste umwelttechnische Verbesserung trägt kaum zur Umweltentlastung bei, wenn sie nicht eine hohe Verbreitung findet (ders. 2008, S. 81). Daraus ergibt sich, dass technische Innovationen eine notwendige aber keine hinreichende Voraussetzung zur Lösungen von Umweltproblemen darstellen. Der Erfolg von Innovationen hängt von zahlreichen nicht-technischen Erfolgsfaktoren und Hemmnissen ab, die es bei der Entwicklung von Fördermaßnahmen und politischen Strategien im Umweltbereich zu beachten gilt. Das Potenzial von Innovationen kann nur im Kontext mit ihrem Umfeld bzw. den Faktoren, mit denen sie in Wechselwirkung stehen, sinnvoll bewertet werden. Es kommt darauf an, kritische Phasen zukünftiger Entwicklungen zu identifizieren, Möglichkeiten von Durchbrüchen in der Umwelttechnik auf der Basis neuen Wissens oder von „enabling technologies“ zu eruieren, Erfolgsfaktoren und Hemmnisse der Umsetzung in die Praxis frühzeitig zu erkennen und so Prioritäten für Fördermaßnahmen und politische Handlungsoptionen zu formulieren. Um den effizienten Einsatz knapper Forschungsmittel zu gewährleisten, muss eine Förderstrategie zudem dafür Sorge tragen, dass das Portfolio der

Forschungsfelder auf die industriellen Innovationschwerpunkte abgestimmt ist. Es ist eine Aufgabe wissenschaftlicher Politikberatung, solch ein prospektives Orientierungswissen mittels methodischer Ansätze wie beispielsweise Szenarien, Delphistudien oder Roadmapping über Workshops, Befragungen oder Interviews wissenschaftsbasiert und systematisch zu generieren (vgl. dazu Grunwald 2008 und Schippl et al. 2009).

Generell wird Zukunftsforschung, und insbesondere **Technology-Foresight als wichtiger Ansatz** zur strategischen Orientierung für Forschung und Innovation angesehen. Hier ist nicht der Ort um auf unterschiedliche Interpretationen des Foresight-Konzepts einzugehen (hierzu ausführlich z. B. Cuhls 2003 sowie Rader, Porter 2008).

Foresight-Prozessen ist aber in der Regel gemeinsam, dass sie zukünftige Technologieentwicklungen im Zusammenhang mit allgemeingesellschaftlichen Entwicklungen analysieren (Grunwald 2002, S. 92) und sich dabei auf kommunikative Prozesse stützen, um die relevanten Akteure in einem Innovationssystem zu integrieren (Cuhls 2003, S. 96). Dabei können auch gesellschaftlich wünschenswerte Entwicklungen, also normative geprägte Perspektiven berücksichtigt werden. Oft verwendet wird bei Foresight-Aktivitäten die Kombination einer problemorientierten mit einer technikinduzierten Perspektive. Der problemorientierte Ansatz, auch Demand-Pull genannt, untersucht, wo vor dem Hintergrund der großen Umweltprobleme dringender Handlungsbedarf besteht und welche Technologien dafür nachgefragt werden. Der technikinduzierte Ansatz untersucht, welche Angebote und Möglichkeiten sich aus dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt ergeben. Technology-Push und Demand-Pull müssen also zur Einschätzung zukünftiger Innovationspotenziale und Handlungsoptionen integrativ betrachtet werden, wie das die in diesem Heft dargestellten Studien explizit oder zumindest implizit tun. Auch der Foresight-Prozess des BMBF nimmt, neben zahlreichen anderen Themen, den Bereich Umwelttechnologien auf und wird, wenn seine Auswertung vollständig abgeschlossen ist, sicherlich eine interessante Erweiterung der in diesem Schwerpunkt enthaltenen Beiträge darstellen (vgl. BMBF 2008).

5 Methodische Schwierigkeiten für Foresight im Bereich Umwelttechnologien

Foresight-Aktivitäten im Bereich Umwelttechnologien stehen aufgrund der Vielschichtigkeit und Komplexität des Untersuchungsgegenstandes vor zahlreichen Herausforderungen. Umwelttechnologien lassen sich weder einem technologischen Kernbereich noch bestimmten Branchen (wie etwa Energiewandlung, Transport, Landwirtschaft) zuordnen. Sie betreffen vielmehr das gesamte Spektrum von Produktion und Konsumtion. Jedes Produkt steht in Wechselwirkungen mit der Umwelt, von der Bereitstellung der zu seiner Herstellung benötigten Rohstoffe und Energie über den eigentlichen Herstellungsprozess und die Nutzung bis hin zu seiner Entsorgung als Abfall. Auf jeder Stufe des Produktlebenszyklus kann Umwelttechnik zur Anwendung kommen. Angesichts dieses Querschnittscharakters ist es kaum verwunderlich, dass in der Literatur sehr unterschiedliche Abgrenzungen und Taxonomien für Umwelttechnologien verwendet werden; es finden sich sowohl sehr unspezifische als auch sehr ausdifferenzierte Definitionen (vgl. z. B. Coenen et al. 1996, Kuehr 2007 und Schippl et al. 2009).

Vor diesem Hintergrund stellt sich bei allen Untersuchungen das Problem, eine angemessene Fokussierung und Granularität des Ansatzes zu finden. D. h., es ist zum einen zu klären, welche Technologiebereiche überhaupt berücksichtigt werden, zum anderen stellt sich die Frage, in welchem Detaillierungsgrad diese Technologien zu behandeln sind. Einige Untersuchungsgegenstände aus den Umwelttechnologien lassen sich vergleichsweise einfach abgrenzen, wie z. B. die in diesem Heft dargestellten dezentralen Wassertechnologien. Dagegen lässt sich ein Thema wie die Erhöhung der Rohstoffproduktivität wegen der großen Bandbreite relevanter Technologien und Verfahren deutlich schwerer eingrenzen. Praktische Gründe verlangen aber eine Festlegung auf eine handhabbare und gleichzeitig Erkenntnis bringende Detailschärfe. Ein „Heraus-schneiden“ der als relevant angesehenen Bereiche bleibt damit unverzichtbar. Diese methodisch notwendige Fokussierung führt insofern zu einem Dilemma, da, dem Querschnittscharakter entsprechend, eigentlich eine möglichst integrierte, umfassende Betrachtung erforderlich wäre. So

betont das neue BMBF-Programm „Forschung für eine nachhaltige Entwicklungen“ (FONA) die Bedeutung integrierter konzeptioneller Forschungsansätze, die wirtschaftliche, ökologische und soziale Aspekte einbeziehen (siehe Beitrag von Kraus in diesem Schwerpunkt).

Wie die Beiträge in diesem Schwerpunkt zeigen, lassen sich für den benötigten Auswahl- bzw. Fokussierungsprozess verschiedene Methoden, teilweise in Kombination, einsetzen, die in der Lage sind, heterogene Informationsbestände mit vertretbarem Aufwand zu erschließen. Da es in diesem Bereich oft keine stabile Datenlage gibt, die für eine Prioritätensetzung heran gezogen werden könnte, sind solche Prozesse auf Einschätzungen von Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik angewiesen, die über verschiedene Methoden wie schriftliche Befragungen, Interviews oder Workshops eingebunden werden. Das war besonders im Sommer 2008 zu spüren, als gleich mehrere Befragungen mit Bezug zu Umwelttechnologien in Deutschland durchgeführt wurden.¹ Aus praktischen Gründen werden jedoch meist lediglich Experten am Standort Deutschland befragt, auch wenn es um Marktpotenziale oder Hemmnisse in Schwellen- und Entwicklungsländern geht. Die Entwicklung und Anwendung weitergehender methodischer Ansätze, die verstärkt Expertise aus den Zielländern einbezieht, wäre wünschenswert, wird aber wegen des damit verbundenen Aufwands selten durchgeführt.

Eine weitere Anforderung, der Foresight-Studien im Bereich von Umwelttechnologien genügen müssen, ist der adressatengerechte Zuschnitt von Untersuchungsdesign und Ergebnissen. Solche Studien werden in Deutschland durch verschiedene Ministerien mit Mitteln aus dem Bundeshaushalt gefördert. Unterschiedliche Ministerien haben aber ihre, den jeweiligen Geschäftsbereichen entsprechenden eigenen Intentionen, Schwerpunkte und Prioritätensetzungen, was sich am Thema Rohstoffe, das in diesem Schwerpunkt mit drei Beiträgen vertreten ist, beispielhaft erläutern lässt. So geht es beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) um die Einsparung von Rohstoffen und Energie durch die Erforschung und Entwicklung effizienterer Technologien (Beitrag *Woidasky*), während beim Bundesministerium für Wirt-

schaft und Technologie (BMWi) die Sicherung der Rohstoffversorgung der deutschen Wirtschaft im Mittelpunkt steht (Beitrag *Angerer*) und beim Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) der Fokus auf der Schonung der nicht erneuerbaren Ressourcen und der Vermeidung der mit dem Rohstoffabbau und -verbrauch verbundenen Umweltbelastungen liegt (Beitrag *Kristof*). Wie dieses Beispiel zeigt, liegen Umwelttechnologien häufig im Überlappungsbereich dieser drei Zielfelder, so dass sich die Fragestellungen oft nicht trennscharf bearbeiten lassen. Wünschenswert wäre vor diesem Hintergrund die Entwicklung einer ressortübergreifenden Perspektive in der Förderpolitik. Einen wichtigen Schritt in diese Richtung stellt der im Herbst 2008 verabschiedete „Masterplan Umwelttechnologien“ dar, der darauf abzielt, die förderpolitischen Ansätze aus den unterschiedlichen Ressorts zu verbinden bzw. zu koordinieren.

6 Zu den Beiträgen in diesem Heft

Im ersten Beitrag dieses Schwerpunkts stellt *Wilfried Kraus* vom BMBF das neue Programm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ (FONA) vor. Einleitend wird davon ausgegangen, dass bisherige Technologien und Konzepte nicht ausreichen, um einen nachhaltigen Wachstumspfad zu sichern. Dabei werden explizit auch die Schwellen- und Entwicklungsländer in den Blick genommen. FONA zielt auf eine Internationalisierung von Forschung und Entwicklung ab, um global tragfähige Lösungen zu entwickeln. Dem komplexen Gegenstand entsprechend, fordert das Programm systemorientierte Vorgehensweisen, die vernetztes Denken über Disziplinen hinweg ermöglichen. Es soll Entscheidungsgrundlagen für zukunftsorientiertes Handeln liefern und dazu den gesamten Forschungsprozess betrachten. Dazu gehört sowohl Grundlagenforschung für ein besseres Verständnis des Erdsystems, wie auch die Entwicklung innovativer Anwendungen und die Untersuchung nachhaltiger Handlungsoptionen für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Um Umweltproblemen Lösungen zuzuführen und dabei Marktpotenziale zu erschließen, ist es entscheidend, dass Ergebnisse der System- und Grundlagenforschung möglichst rasch in Wirtschaft

und Gesellschaft übertragen werden. Um dies zu gewährleisten sollen in den Forschungsprojekten alle notwendigen Partner des Innovationsprozesses und relevante gesellschaftliche Gruppen eingebunden werden. Über Agenda-Setting-Prozesse werden zudem strategische Fragen zu prioritären Forschungs- und Anwendungsbereichen formuliert, die kontinuierlich in die Förderbekanntmachungen einfließen. FONA versteht sich damit als selbstlernendes Programm, das die Hightech-Strategie mit der Nachhaltigkeitsstrategie verbindet.

Der Beitrag von *Kora Kristof* stellt Ansatz und ausgewählte Ergebnisse aus dem vom BMU und Umweltbundesamt geförderten Projekt „Materialeffizienz und Ressourcenschonung (MaRes)“ vor. Das Projekt ermittelt Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz und entwickelt Handlungsoptionen zur Erschließung dieser Potenziale. Teilweise modellgestützt sollen Erkenntnisse zur Effektivität dieser Optionen gewonnen werden. Das umsetzungsorientierte Projekt will zudem die Implementierung von Maßnahmen wissenschaftlich begleiten. Ein erstes Arbeitspaket identifiziert Leitprodukte und Leittechnologien mit hohem Ressourceneffizienzpotenzial in Deutschland. Zentrale methodische Herausforderung war es, aus einer Vielzahl von Technologien, Produkten und Strategien 20 besonders relevante auszuwählen. Für diese Top 20 soll das Ressourceneffizienzpotenzial quantifiziert werden. Der Auswahlprozess startete auf einer Basis von ca. 1.000 Themenvorschlägen, die dann über Befragungen, Workshops und Abstimmung mit dem Auftraggeber sukzessive auf die TOP 20 verengt wurden. Qualitative Expertenbewertungen in Befragungen und Workshops spielen bei diesem Verfahren eine wichtige Rolle, auch weil quantitative Abschätzungen zu Ressourceneinsätzen und zur Steigerung der Ressourceneffizienz oft nicht vorhanden sind. Weiter werden in dem Vorhaben Strategien und Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz für die Zielgruppen Politik, Unternehmen und Verbraucher konkret ausformuliert. Der Beitrag schießt mit dem Plädoyer, das Thema Ressourceneffizienz und die entsprechenden Handlungsoptionen häufiger und prominenter in gesellschaftlichen Debatten zu platzieren.

Der Beitrag von *Jörg Woidasky und Thomas Hirth* stellt die Ergebnisse des vom BMBF

geförderten Vorhabens „Nachhaltig Wirtschaften in rohstoffnahen Produktionsbereichen“ vor, das der inhaltlichen Vorbereitung der Fördermaßnahme „Innovative Technologien für Ressourceneffizienz“ des BMBF diente. In Anbetracht der großen Bedeutung, die einem effizienten Umgang mit knappen Ressourcen in einem rohstoffarmen Land wie Deutschland zukommt, war es Anliegen des Projekts, Einsparpotenziale in rohstoffintensiven Branchen auszuloten und entsprechenden F&E-Bedarf aufzuzeigen. Unter rohstoffnahen Produktionsbereichen wurde die Herstellung von Werkstoffen und Halbzeugen verstanden, also der Abschnitt zwischen der Rohstoffgewinnung und der Weiterverarbeitung der Grundstoffe oder Halbzeuge in nachgelagerten Wertschöpfungsketten. Ausgehend von ihrem hohen Rohstoff- und Energieverbrauch wurden sieben Branchen des produzierenden Gewerbes in die Untersuchung einbezogen und anschließend aus technischer, sozioökonomischer und ökologischer Sicht bewertet. Methodisch basierte die Untersuchung auf Fachgutachten der beteiligten Institute, der Auswertung abgeschlossener öffentlich geförderter Vorhaben, Experteninterviews und Workshops. Aus der Vielzahl der im Rahmen des Projekts identifizierten branchenspezifischen F&E-Bedarfe wurden branchenübergreifende Forschungsthemen extrahiert, die als Entwicklungstrends und somit als geeignete Basis für die Ausgestaltung künftiger Förderinstrumente angesehen wurden. Dazu gehören u. a. der Einsatz maßgeschneiderter und alternativer Rohstoffe, die verstärkte Kooperation zwischen Abfallentsorgung und Sekundärrohstoffherzeugung sowie Maßnahmen zur Optimierung des Energieeinsatzes. Im Bereich Prozessführung ließen sich durch Prozesskettenverkürzung oder kontinuierliche Prozessführung Rohstoffverbrauch und Wärmeverluste verringern. Kennzeichnend für das Themenfeld Ressourceneffizienz ist nach Einschätzung der Autoren sein ausgeprägter Querschnittscharakter, der die klassischen Grenzen der Ressortförderung zunehmend überschreitet. Sie empfehlen daher, künftig Fragen der Rohstoffsicherheit, der Technologieentwicklung, der Energieforschung und der Umweltentlastung gemeinsam zu behandeln.

Auch in dem Beitrag von *Gerhard Angerer* geht es um die Bedeutung der Materialkosten im produzierenden Gewerbe und die daraus resultierende Abhängigkeit der deutschen Wirtschaft von internationalen Rohstoffmärkten. Im Mittelpunkt steht hier jedoch nicht die Frage, wie die Rohstoffproduktivität gesteigert, sondern wie die Rohstoffversorgung deutscher Unternehmen gesichert werden kann. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderte Vorhaben untersucht, welche Impulse von der späteren Nutzung der heute noch in einem frühen Stadium befindlichen Zukunftstechnologien auf die Rohstoffnachfrage ausgehen und auf welche Rohstoffe diese Innovation besonders angewiesen sind. Zukunftstechnologien zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass sie langfristig tiefgreifend die Wirtschaftsstrukturen, das Sozialleben und die Umwelt verändern. Zunächst galt es auch hier, den Untersuchungsgegenstand auf eine bearbeitbare Größe zu reduzieren. Das Projekt beschränkte sich auf anorganische, nicht energetische genutzte Rohstoffe von hoher „Vulnerabilität“. Technologiseitig wurden 32 Zukunftstechnologien auf Basis einer technisch-wirtschaftlichen Innovationsanalyse ausgewählt. Für diese wurden Projektionen der künftigen Technologienutzung und des daraus resultierenden Rohstoffbedarfs mit dem Zieljahr 2030 hergeleitet. Die Analysen zeigen, dass der Bedarf an Massenrohstoffen stark von der Entwicklung der Weltwirtschaft abhängt, während der Bedarf an spezifischen Rohstoffen, die für Hightech-Anwendungen benötigt werden, v. a. durch technologische Entwicklungen angetrieben wird. Die durchgeführten Projektionen lassen die Entwicklung von Engpässen erkennen und sind ein Indikator für den Ausbaubedarf in der Mineralproduktion. Die Sicherung der Rohstoffzugänge und der sparsame Umgang mit Ressourcen werden sowohl unter Nachhaltigkeits- als auch unter Kosten- und Wettbewerbsgesichtspunkten als wichtige Zukunftsaufgaben charakterisiert, gerade weil die Beherrschung und Vermarktung von Zukunftstechnologien als essentiell für die deutsche Wirtschaft angesehen werden. Dabei kommt einer leistungsfähigen Recyclingtechnik aus Sicht des Autors ebenso große Bedeutung zu wie der verstärkten Verfolgung politischer Strategien zur Sicherung der Rohstoffversorgung.

Das von *Störmer et al.* dargestellte OST-Vorhaben zielt auf eine Einschätzung von Exportchancen und Vertriebswegen für deutsche Anbieter dezentraler Wassertechnologien. Der Umweltnutzen liegt in einer erheblichen Reduktion des Wasserverbrauchs. Entscheidend ist die Möglichkeit der kleinräumigen Kreislaufführung von Abwässern. Ein periodisch schwankendes oder permanent geringes Wasserangebot kann von dezentralen Anlagen effektiv ausgenutzt werden, während zentrale Schwemmkanalisationssysteme eine kontinuierliche Mindestmenge an Wasserdurchfluss benötigen, um nicht zu verschmutzen. Das beschriebene Projekt geht von der These aus, dass dezentrale Wassertechnologien zukünftig eine dominante Stellung im Weltmarkt einnehmen könnten und sich aus der bisherigen Kleinserienproduktion eine Massenfertigung entwickelt. Die Autoren zeigen, dass gerade die für dezentrale Technologien besonders interessanten Regionen bzw. Zielmärkte oft in Schwellen- und Entwicklungsländern liegen. Die Anwendung dezentraler Technologien in diesen „Hotspots“ **würde der Idee eines ökologischen Leapfrogging entsprechen**, da hier eine technologische Entwicklungsstufe, nämlich die zentrale Kanalisation, übersprungen würde. Über die Entwicklung eines Kriterienrasters werden solche Hotspots lokalisiert. Methodisch stützt sich die Analyse, ausgehend von Literatur- und Internetrecherchen, auf Interviews sowie auf einen **Roadmapping-Workshop, der, szenarienähnlich**, verschiedene dezentrale technische Optionen zur Erschließung von Marktpotenzialen in Entwicklungsländern aufzeigt. Die Ergebnisse belegen, dass wissenschaftliche Projekte zu dezentralen Technologien existieren, aber wegen fehlender Demonstrationsprojekte und unsicherer wirtschaftlicher Perspektiven bisher kaum von der Herstellerseite aufgenommen werden, die durch kleine und mittlere Unternehmen geprägt ist. In Zukunft könnte die bisher schwache Nachfrage aus den „Hotspots“ anziehen und sich auf die Weiterentwicklung des Wassertechnologiesektors auswirken.

Auch das im Beitrag von *Silke Beck et al.* beschriebene, vom BMBF geförderte Verbundvorhaben „Wasser2050“ eruiert künftige Chancen für die deutsche Wasserwirtschaft im Zusammenhang

mit nachhaltigen Systeminnovationen. Das Projekt zielt zunächst darauf ab, durch die Identifizierung wahrscheinlicher zukünftiger Problemlagen (Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung, Urbanisierung, Industrialisierung) und die vergleichende Bewertung verschiedener grundlegender technischer Ansätze, die technischen Potenziale abzustecken, mit deren Hilfe den globalen Herausforderungen im Jahr 2050 nachhaltig begegnet werden kann. Wie im Beitrag von Störmer et al. wird davon ausgegangen, dass aufgrund eines weltweiten Investitionsbedarfs mit einem rasant wachsenden Markt für Wasser- und Abwassertechnologien zu rechnen ist. Große Chancen werden in integrierten Systemlösungen gesehen, die beispielsweise in der Lage sind, Trinkwasser-, Abwasser-, Abfall- und Energietechnologien optimal zu kombinieren. Solche Systemlösungen können aufgrund von Synergiepotenzialen mittel- und langfristig volkswirtschaftlich überlegen sein. Um Marktpotenziale in Schwellen- und Entwicklungsländern zu erschließen, bedarf es einer umfassenden Betrachtung der Verhältnisse vor Ort. So betonen die Autoren die große Bedeutung eines Governance basierten Ansatzes, der nicht nur das technische System sondern auch die Ausgestaltung von institutionellen, politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt und damit die Nachfrageseite und deren Entwicklungsoptionen umfassend einbezieht. Anhand verschiedener Szenarien für ausgewählte Regionen wird gezeigt, wie derartige Konzepte umgesetzt werden könnte und welche Schlussfolgerung für Politik und Wirtschaft daraus zu ziehen wären. Wichtige Märkte liegen in Schwellen- und Entwicklungsländern aber auch in Industrieländern könnten demographische Veränderungen im Zusammenspiel mit dem Klimawandel zu einer stärkeren Nachfrage nach flexiblen, dezentralen Lösungen führen.

Im Beitrag von *Juliane Jörissen et al.* wird das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Forschungsvorhaben „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ vorgestellt. Ziel des Projekts war es, strategische Handlungsoptionen für die Prioritätensetzung in der künftigen Forschungsförderung aufzuzeigen. Um zu untersuchen, welchen Beitrag Forschung und Innovation zur Lösung von Umweltproble-

men leisten können, galt es auf der einen Seite zu ermitteln, wo in Anbetracht der heutigen und zukünftigen Umweltsituation dringender Handlungsbedarf besteht. Auf der anderen Seite galt es abzuschätzen, welche Angebote und Perspektiven sich aus dem wissenschaftlich-technischen Fortschritt ergeben. In Anstimmung mit dem Auftraggeber wurden sieben Umwelthandlungsfelder ausgewählt: Klimaschutz, Luftreinhaltung, Wassermanagement, Bodenschutz, Schonung endlicher Ressourcen, Abfallwirtschaft, Erhalt von Natur und Biodiversität. Zentraler Bestandteil der Untersuchung war eine umfassende schriftliche Expertenbefragung zu Problemlösungspotenzialen, Marktchancen, Forschungsbedarf und Implementationshemmnissen im Bereich der Umwelttechnologien. Die Resultate der Befragung wurden anschließend in themenspezifischen Workshops mit Experten diskutiert und validiert. Wie die Projektergebnisse zeigen, steht die Einschätzung der Marktpotenziale der ausgewählten Technologien in engem Zusammenhang mit den jeweiligen ökologischen Problemlagen und ihrer gesellschaftlichen Wahrnehmung. Die Ergebnisse weisen außerdem darauf hin, dass Forschungsaktivitäten in Deutschland bisher vornehmlich auf Technologien ausgerichtet sind, die sich an den Bedürfnissen der Industrieländer orientieren. Um Marktpotenziale in Schwellen- und Entwicklungsländern besser zu erschließen, empfiehlt die Studie, bei der künftigen Prioritätensetzung in der Förderpolitik verstärkt Technologiefelder zu berücksichtigen, die vorrangig auf die Lösung der Umweltprobleme von Schwellen- und Entwicklungsländern zugeschnitten sind.

Anmerkung

- 1) Zu diesen Befragungen gehören der **Foresight-Prozess** des BMBF, die Befragung im Rahmen des Projekts „Roadmap Umwelttechnologien 2020“ sowie die Befragung im Rahmen des Projekts „MaRes“.

Literatur

Acatech, 2010: Wie Deutschland zum Leitanbieter für Elektromobilität werden kann. Status Quo – Herausforderungen – Offene Fragen. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; acatech bezieht Position – Nr. 6
Beise, M.; Rennings, R., 2005: Lead Markets and Regulations: A Framework for Analysing the Inter-

national Diffusion of Environmental Innovations. In: *Environmental Economics* 52 (2005), S. 5–17

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.), 2006: Die Hightech-Strategie für Deutschland. Bonn

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2008: Der Foresight-Prozess des BMBF. Projektflyer; http://www.bmbf.de/pub/foresight_prozess.pdf (download 25.2.10)

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.), 2009: GreenTech made in Germany 2.0. Umweltechnologie-Atlas für Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. München

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; UBA – Umweltbundesamt, 2007: Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen, Roland Berger Strategy Consultants im Auftrag des Umweltbundesamtes (Hg.). Dessau; <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3337.pdf> (download 14.3.08)

BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hg.), 2008: Masterplan Umweltechnologien. http://www.bmbf.de/pub/masterplan_umweltechnologien.pdf (download 4.9.09)

Coenen, R.; Klein-Vielhauer, S.; Meyer, R., 1996: Integrierte Umwelttechnik – Chancen erkennen und nutzen. Berlin

Cuhls, K., 2003: From Forecasting to Foresight Processes – New Participative Foresight Activities in Germany. In: *Journal of Forecasting* 22 (2003), S. 93–111

Grunwald, A., 2002: Technikfolgenabschätzung – Eine Einführung. Berlin

Grunwald, A., 2008: Technik und Politikberatung. Philosophische Perspektiven. Frankfurt a. M.

Jänicke, M., 2008: Megatrend Umweltinnovation. Zur ökologischen Modernisierung von Wirtschaft und Staat. München

Kuehr, R., 2007: Environmental Technologies – from Misleading Interpretations to an Operational Categorisation & Definition. In: *Journal of Cleaner Production* 15 (2007), S. 1316–1320

NIW – Niedersächsisches Institut für Wirtschaftsforschung; ZEW – Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH; ISI – Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2007: Zur technologischen Leistungsfähigkeit der deutschen Umweltschutzwirtschaft im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 20-2007. BMBF (Hg.). Berlin

Porter, M.; van der Linde, C., 1995: Green and Competitive. Ending the Stalemate. *Harvard Business Review*, September–October 1995, S. 120–134

Rader, M.; Porter, A.L., 2008: Fitting Future-Oriented Technology Analyses Methods to Study Types. In: Cagnin et al. (Hg.): *Future-Oriented Technology Analyses. Strategic Intelligence for an Innovative Economy*. Berlin, S. 25–40

Schippl, J.; Grunwald, A.; Hartlieb, N. et al., 2009: Roadmap Umweltechnologien 2020 – Endbericht. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte, FZKA 7519

SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2008: Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels: Umweltgutachten 2008. Sachverständigenrats für Umweltfragen. Berlin

Töpfer, K., 2007: Interview in *GAIA* 16/1 (2007), S. 8–9

UBA – Umweltbundesamt; BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.), 2007: Wirtschaftsfaktor Umweltschutz – Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation, Forschungsprojekt durchgeführt von: Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (Berlin), Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Karlsruhe), Roland Berger Strategy Consultants. Dessau

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 2004: Welt im Wandel. Armutsbekämpfung durch Umweltpolitik. Berlin

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 1999: Welt im Wandel: Strategien zur Bekämpfung globaler Umwelttrisiken. Jahresgutachten 1998. Berlin

Kontakt

Dipl.-Geograph Jens Schippl
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
 Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe
 Tel.: +49 (0) 72 47 / 82 – 39 94
 Fax: +49 (0) 72 47 / 82 – 48 06
 E-Mail: jens.schippl@kit.edu

« »