

Nachhaltigkeit und Technikentwicklung: Anmerkungen zu Wechselwirkungen und Hemmnissen

Mahshid Sotoudeh

Umweltfreundliche Produktionstechnologien wurden im Jahre 1992 im Aktionsplan für das 21. Jahrhundert als „Motor“ für eine nachhaltige Entwicklung angeführt. Dieser Erwartung konnten sie jedoch bisher nicht gerecht werden. Zahlreiche Konzepte für umweltfreundliche Produktionstechnologien sind in der Umsetzung mit massiven Hemmnissen konfrontiert. Dabei ist der Vergleich mit dem „Motor“ nicht sinnvoll, da dieser „Motor“ nicht fertig entwickelt und geeignet ausgerüstet wurde. In diesem Beitrag gehe ich von einer dynamischen und rekursiven Wechselwirkung zwischen Technikentwicklung und Nachhaltigkeit aus. Anschließend versuche ich auf Basis dieser Annahme eine Erklärung für die langsame Entwicklung mancher Produktionstechnologien mit Umweltschutzpotential wie etwa der Nutzung nachwachsender Rohstoffe oder auch der Brennstoffzelle zu finden.

I Einleitung

Nachhaltigkeit ist ein Grundsatz, der die Erhaltung der Funktionsfähigkeit eines Systems beschreibt. Eine globale nachhaltige Entwicklung hat daher im weiteren Sinn das Ziel, die Funktionsfähigkeit der Erde zu erhalten. Im engeren Sinn wird mit diesem Begriff nach dem Brundtland-Report (1987)¹ ein Leitgedanke für eine Entwicklung bezeichnet, die auch die Chancen der zukünftigen Generationen bewahrt. Nachhaltigkeit verlangt den Schutz der Entwicklungsmöglichkeiten der Zukunft und langfristige Planungen unter Berücksichtigung der Verteilungsgerechtigkeit und soziokultureller Möglichkeiten. Das technische Handeln soll dabei durch Werte wie Zukunftsvorsorge, gesteigerte Sicherheit der Menschen, verbesserte Umweltqualität, verantwortungsbewusster Schutz der Rechte und Mitspra-

¹ http://www.runiceurope.org/german/umwelt/entwicklung/rio5/brundtland/A_42_427.pdf.

chemöglichkeiten der Betroffenen sowie Schutz der Gesundheit geleitet werden. Die Erfüllung dieser Bedingungen ist eine Herausforderung für die Technikentwicklung und wurde nur ansatzweise erfüllt. Dabei stellt sich die Frage, wie Nachhaltigkeit durch sie weitergetrieben werden kann, wenn Technikentwicklung die Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung nicht erfüllt und umweltfreundliche Technologien selbst in der Entwicklungsphase mit Hemmnissen konfrontiert sind. Es ist anzunehmen, dass gerade deshalb 1992 Technikfolgenabschätzung ins Spiel gebracht wurde, um diese rekursive Beziehung transparent darstellen zu können.

Als 1992 Vertreter von mehr als 170 Staaten im Rahmen der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro das Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert verabschiedeten, bezeichneten sie die umweltfreundliche Produktion als Motor für eine nachhaltige Entwicklung. Dabei wurde in Kapitel 34 Absatz 26 der Agenda die Forderung nach Technikfolgenabschätzung zur Schaffung notwendiger Voraussetzungen für den Umgang mit umweltverträglichen Technologien – speziell im Zusammenhang mit dem Technologietransfer – aufgestellt.

Für die Entwicklung umweltfreundlicher Produktionsverfahren mangelt es dabei keineswegs an Zielen. Sie sollen Ressourcenverbrauch reduzieren und natürliche Ressourcen schonen, Schadstoffemissionen verhindern und Unfallrisiken mit negativen Umweltauswirkungen reduzieren. Die Ziele wie Ökoeffizienz, „Faktor 10“, „Faktor 4“ usw. warten noch immer darauf, erreicht zu werden. Doch es gibt noch keine gut ausgebauten Wege für ein zügiges Vorankommen in ihre Richtung. Verfolgt man die nationalen und internationalen Debatten der letzten Jahre zur Bewältigung der globalen Umweltprobleme, werden viele Defizite deutlich. Produktionsverfahren, die über die ökonomische Dimension hinaus den Schutz des natürlichen Lebensraums und die Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft berücksichtigen, sind bisher nicht befriedigend vorangekommen und konnten die wirtschaftliche Entwicklung nicht vorantreiben. Zahlreiche allgemeine und technologiespezifische Hemmnisse für die Entwicklung umweltfreundlicher Produktionsverfahren werden in der Literatur diskutiert (Frauenhofer-ISI 1998; Sotoudeh 1999; Sotoudeh et al. 2000; Calleja et al. 2002; Kemp 2002; Sotoudeh 2003; O’Doherty/Arnold 2003; Rähse 2004). In diesem Beitrag werden einige dieser Hindernisse, die aus technologischen, ökonomischen, regulativen und organisatorischen Komponenten bestehen, vorgestellt und analysiert.

Diese Faktoren beschreiben sowohl generelle Innovationshemmnisse wie Externalitäten (externer Nutzen von Forschung und Entwicklung (F&E), externer Nutzen von Produkten und Prozessen), als auch spezielle Spannungen für umweltfreundliche Produktion wie die Steuerungskonflikte zwischen Nachhaltigkeit und Technikentwicklung sowie starke industrielle Ausrichtung der technischen Lehr- und Forschungsstätten.

2 Dynamische und rekursive Beziehung zwischen Technikentwicklung und Nachhaltigkeit

Um die Verknüpfung von Technikentwicklung und Nachhaltigkeit zu beschreiben, hat Majer (2005) den Begriff der „eingebetteten Technik“ geprägt. Darunter ist eine ganzheitliche Kohärenz der Technikentwicklung und -implementierung mit Nachhaltigkeit gemeint. Technik und Nachhaltigkeit sollen verknüpft und durch soziale und institutionelle Innovationen begleitet werden. Majer zitiert Grunwald (2000): „Technik kann nicht als etwas der Gesellschaft äußerliches angesehen werden, sondern ist vielfältig in die Gesellschaft hinein diffundiert und integriert.“ In einem einfachen Beispiel beschreibt Majer die dynamische, rekursive und multifaktorielle Beziehung zwischen Technikentwicklung und Nachhaltigkeit in Form fließenden Wassers in seinem Flussbett:

„Das in vielfältiger Weise strömende Wasser ist eingebettet in das Flussbett. ‚Vielfältig strömend‘ bezieht sich auf einen ‚natürlichen‘ Flusslauf, mit unterschiedlichen lokalen Geschwindigkeiten, Wirbeln etc. zwischen Bett und Wasser bestehen vielfältige Beziehungen: Wir haben es mit unterschiedlicher Tiefe und Breite zu tun; das Flussbett weist eine unterschiedliche Beschaffenheit auf (Qualität), und zwar was Untergrund (Stein, Sand, Lehm, etc.) und Bewuchs betrifft. Das Wasser trägt Schwebestoffe und Geröll mit sich; das Flussbett wird von der Bewegung und dem Wasser selbst beeinflusst.“

Nach diesem Bild ist eine scharfe Trennung der relevanten Aufgabenbereiche für eine dynamische und rekursive Beziehung zwischen Technikentwicklung und Nachhaltigkeit problematisch, da Rückwirkungen kaum berücksichtigt werden können. Die Effizienzsteigerung durch Aufgabenaufteilung ist jedoch das Leitbild hoch spezialisierter Gesellschaften. In der Vergangenheit konnten durch strenge Aufteilung der Arbeitsbereiche zwar Fortschritte erzielt werden. Es entstanden jedoch an den starren Grenzen dieser Teilsysteme immer mehr gesellschaftliche Probleme und Konflikte, die durch die Teilsysteme selbst nicht gelöst werden konnten. Die Teilsysteme besitzen eine Eigendynamik und können nur punktuell zusammenarbeiten. Die Industrie reagiert zum Beispiel sehr langsam und schwerfällig auf den Input aus dem Bereich der (z. B. Umwelt-)NGOs. Im Gegensatz dazu sollten sich mit Blick auf die Einbettung der Technikentwicklung in eine nachhaltige Entwicklung relevante Arbeitsbereiche kontinuierlich informieren, rasch auf Informationen reagieren, gemeinsam Entscheidungen treffen, bereit für Veränderung ihrer Strategien aufgrund neuer Informationen sein und ihre Verknüpfung ausbauen und verstärken.

Die Planung der technischen Systeme wird daher viel wissensintensiver und sozial sensibler. Dabei wird deutlich, dass mit der Einbettung der Technik in einer nachhaltigen Entwicklung auch eine Veränderung des Ingenieurberufs un-

abdingbar ist. IngenieurInnen müssen in interdisziplinären und transdisziplinären Teams arbeiten und sich mit den Auswirkungen ihres technischen Handelns auseinandersetzen. Dabei spielt Technikfolgenabschätzung eine wichtige Rolle. Es ist eine der Aufgaben von TA, die Eigenschaften und Dynamik der Technikentwicklung und -implementierung (Fluss) und die Ecken und Kanten ihrer Umgebung und Rahmenbedingungen (Flussbett) zu analysieren, entscheidungsrelevante Faktoren zu identifizieren und den Einbettungsprozess zu begleiten. TA ist hier ein Instrument, um einen Lernprozess zur Zielanpassung der Technik in Richtung Nachhaltigkeit zu unterstützen.

Im folgenden Abschnitt wird der Versuch unternommen, einige wichtige Herausforderungen für die Entwicklung umweltfreundlicher Produktion angesichts der deutlichen und starren Ausdifferenzierung der Funktionen in der Gesellschaft zu zeigen.

3 Herausforderungen für die Entwicklung umweltfreundlicher Produktion

3.1 Externalitäten

Externe Nutzen bzw. nicht bepreiste negative Externalitäten sind bei allen Neuerungen vorhanden. Pioniere und Innovatoren sind immer mit Nachahmern konfrontiert, die Innovationen nutzen, ohne die F&E-Kosten direkt zu tragen. Dabei können innovationspolitische Instrumente wie Patente und Lizenzen das Problem nur teilweise entschärfen. Für eine innovative umweltfreundliche Produktion verschärft sich dieses Problem durch ein zweites. Die Pioniere für umweltfreundliche Produktion investieren in den Schutz von Allgemeingütern, die betriebswirtschaftlich weniger Wert besitzen als die Produkte selbst. Ansätze wie die ökologische Buchhaltung und die Internalisierung externer Kosten können zwar in einigen Punkten neue Entscheidungsgrundlagen liefern, es besteht allerdings ein Bedarf nach einem breiten Konsens über ihre Anwendung ohne Wettbewerbsnachteile für Pioniere (WSA/EU 2004).

Das Problem der externen Kosten ist ein zentrales Thema für Entscheidungen über ressourcensparende Technologien. Am Beispiel der Membrantechnologie lässt sich das Problem gut veranschaulichen. Membrantechnologie ist ein selektives Trennverfahren nach Partikelgröße. Die Anwendung der Membrantechnologie in der Biotechnologie oder Milch- und Getränkeindustrie kann sowohl zu Wasser- und Energieeinsparungen als auch zu weiteren Innovationen in der Pro-

duktion beitragen. Die Ergebnisse einer ITA-Studie zeigen, dass die Entscheidung für den Einsatz dieser Technologie für die befragten Firmen wesentlich schwieriger war, wenn Umweltschutzüberlegungen im Vordergrund standen, als wenn durch Membranverfahren ein Produkt gewonnen werden konnte, das den Firmen einen direkten wirtschaftlichen Nutzen gebracht hat (Sotoudeh et al. 2000). Die Mehrheit der befragten potenziellen Anwender hat Maßnahmen zur Reduktion externer Kosten vorgeschlagen. In erster Linie wurden öffentlich finanzierte Referenzanlagen bevorzugt. Beispiele für die Internalisierung externer Kosten der Wasserressourcen konnten in Ländern wie Japan und den USA gefunden werden, wo man sich wegen der Wasserknappheit in manchen Regionen für den Einsatz von Membrantechnologie entschieden hat. In diesen Ländern ist die Wasserknappheit mittlerweile ein wichtiges Thema und der Wasserverbrauch ist mit höheren Kosten verbunden als in den wasserreichen Regionen der Welt. Die negativen externen Kosten sind daher in diesen Fällen internalisiert und im Entscheidungsfindungsprozess leichter erkennbar. Der Einsatz der Membrantechnologie hat hier somit auch bessere Akzeptanzchancen.

In Regionen, wo es keine Ressourcenknappheit gibt, muss die Problematik der externen Kosten für F&E von ressourcenschonenden Technologien durch andere Methoden gelöst werden. Beispielsweise wurden einige hocheffiziente Membranapplikationen durch flexible Kooperation zwischen Technologieentwicklern und -anwendern entwickelt. Die Kooperationen von kleinen innovativen Firmen, die eine neue Technologie ihre ganze Aufmerksamkeit schenken, mit etablierten Anlageherstellern und Forschungseinrichtungen, die projekt-orientierte Kooperationen gut meistern können, haben zu großen Erfolgen der Membrantechnologie geführt. Die Entwickler konnten in solchen Fällen über die Kontakte der etablierten Anlagehersteller Kunden gewinnen, die bei der Optimierung der Technologie selbst mitarbeiteten. Damit wurden externe Kosten der Forschung reduziert.

In Summe hat die Studie des ITA zum Durchsetzungspotential der Membrantechnologie gezeigt, dass die Überwindung von Externalitätsproblemen für die F&E in jenen Unternehmen leichter ist, die strategisch tolerantes Management besitzen. Das Management sollte alle Möglichkeiten für die Kooperationen nutzen. Als besonders erfolgreich erwiesen sich flexible individuelle Kontakte mit Forschungseinrichtungen und anderen Unternehmen; projekt-orientierte Kooperationen, die die Arbeit an neuen Konzepten in einem überschaubaren Rahmen ermöglichen; und fixe Verträge und langfristige Kooperationen, die dazu genutzt werden können, um die F&E-Finanzierung längerfristig zu sichern.

3.2 Koordinationsmangel relevanter Politikfelder für umweltfreundliche Produktion

Umweltfreundliche Produktionstechnologien werden an den Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Interessen der nationalen und internationalen Institutionen der Wirtschafts-, Technologie- und Umweltpolitik entwickelt. Dabei besteht das Risiko, dass Konzepte mit Problemlösungspotential quasi in „schwarze Löcher“ fallen und jahrelang unbeachtet bleiben oder sogar wieder verschwinden. Die Technologien, die durch ökologische Modernisierung und Umweltschutzbewegungen initiiert werden, sind oft von der Politik angetriebene Projekte, die nationalstaatsbezogene Vorhaben bleiben. Auf internationaler Ebene können diese Projekte ohne geeignete Strategien mit der ökonomischen Globalisierung nicht Schritt halten.

Auch hierzu ein Beispiel: die Hürden für das innovative Energiesystem Brennstoffzelle (vgl. Coles 2003). Brennstoffzellen konnten sich wegen hoher Investitionskosten und des internationalen Desinteresses an der Substitution fossiler Energien mehr als 150 Jahre nicht durchsetzen. Sie sind für eine Anwendung auf breiter Basis immer noch nicht ausreichend verfügbar. Im Rahmen eines aktuellen EU-Projekts werden derzeit die Verbreitungshemmnisse der Brennstoffzelle untersucht.²

Obwohl die Idee der Brennstoffzelle schon im Jahre 1820 in England aufgebracht wurde, konnte sie lange Zeit keine Aufmerksamkeit gewinnen. 100 Jahre später, erst 1923, hat J.B.S. Haldane an der Universität Cambridge einen Vortrag über das Potenzial der Brennstoffzelle in Kombination mit Windenergie gehalten. Dieser Vortrag hat aus verschiedenen Gründen bis heute seine Aktualität nicht verloren. Er entwirft ein Szenario, in dem die elektrische Energie, die durch Windmühlen gewonnen wird, zur Hydrolyse von Wasser genutzt werden kann, um Wasser- und Sauerstoff zu produzieren und damit die Windenergie zu speichern. Zwischen 1932 und 1956 wurde die Entwicklung in Europa von einem englischen Ingenieur namens Bacon kontinuierlich aber sehr langsam vorangetrieben, da u. a. keine Investitionsmittel für die Entwicklung verfügbar waren und die Industrie kein Interesse an alternativen Energiesystemen zeigte. Cole beschreibt, dass erst 1956, als Lord Halsbury, der Direktor der *National Research Development Corporation (NRDC)*, auf die Arbeit von Bacon aufmerksam wurde, dessen Patent zur NRDC geholt wurde. Danach wurde relativ rasch eine Lizenz an die US-Luftfahrtindustrie verkauft, was später zur erfolgreichen Entwicklung der Technologie in der Luft- und Raumfahrttechnik führte. 1962 hat die NASA im Rahmen des Apollo-Projektes ein Team von rund 1.000 Ingenieuren angestellt, um die Effizienz und Funktionsfähigkeit der Energiegewinnung sicherzustellen.

² Das EU-Projekt „Policy pathways to promote the development and adoption of cleaner technologies (POPA)“ (2004-2005), <http://www.popa-ctda.net>, im 6. Forschungsrahmenprogramm.

Diese Fokussierung auf alternative Energiesysteme führte letztlich zur Entwicklung der Brennstoffzelle. Das internationale Interesse war nach diesem Erfolg geweckt und nationale Investitionen wurden getätigt, um eine Entwicklung von billigeren Zellen für eine weit reichende Anwendung in Europa, Japan und den USA zu ermöglichen.

Dieses Beispiel zeigt, dass erste Entwickler der Brennstoffzelle in Europa die wirtschaftlichen Potenziale der Technologie nicht genutzt haben, da die lokale Rahmenbedingungen (in diesem Fall die Energiewirtschaft auf fossiler Basis in Europa) an einem Ort der Entwicklung entgegenstand. Hingegen konnten Akteure in den USA mit einem anderen Anwendungsziel und mit ausreichenden Investitionen die Technologie erfolgreich umsetzen.

Das Beispiel der Nutzung nachwachsender Rohstoffe zeigt ein anderes Koordinationsproblem: In den nationalen und internationalen Nachhaltigkeitsstrategien wurden die Hemmnisse für den Erfolg der Innovationssysteme oft unterschätzt. Selbst wenn die Nutzung nachwachsender Rohstoffe von der nationalen Nachhaltigkeitspolitik in der Entwicklungsphase starke positive Impulse bekommt, ist dies noch keine Garantie für eine erfolgreiche Umsetzung und Verbreitung der Technologie. Innovative Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wurden zu Beginn der Neunziger Jahre durch die Nachhaltigkeitspolitik in Europa massiv unterstützt, was einige Jahre später z. B. in Österreich zu ersten Entwicklungen und Patenten führte. Doch eine innovationspolitische Strategie, die den Zugang dieser Werkstoffe in die nationalen und internationalen Märkte unterstützte, fehlte. So wurde etwa der Faserwerkstoff Zelfo 1992 in Österreich aus den Rohstoffen Holz, Hanf, Flachs, Stroh oder kurzen Altpapierfasern hergestellt und 1998 patentiert. Zelfo erhielt bei der „42. World Exhibition of Invention, Research and Industrial Innovation“ sogar einen Spezialpreis und die Goldmedaille. Das Material ist bindemittelfrei und kann in variabler Dichte hergestellt werden. Nach einigen Jahren Arbeit an der Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Werkstoffs wurde der Vertrieb von Zelfo nun nach Deutschland verlagert. Die Modeo GmbH, die 2004 die österreichische Firma Zellform GmbH gekauft hat, hofft auf neue Impulse durch Märkte für Spezialanwendungen in der Möbelindustrie und der Musikinstrumentenherstellung in Deutschland, aber auch auf internationalen Märkten. Allerdings ist es nach Auskunft der Entwickler für kleine und mittlere Unternehmen extrem schwierig, nach der Verlagerung der Produktion der Möbelindustrie nach China und Südostasien Abnehmer in Europa zu finden. Das Beispiel zeigt, dass durch eine frühzeitige Anbindung der innovativen umweltfreundlichen Technologien zu internationalen Märkten versucht werden sollte, mindestens den Standort für die Pionierunternehmen als Knowhow-Träger umweltfreundlicher Technologien zu sichern. Die Wirtschafts-, Umwelt- und Innovationspolitiken sollen dabei ständig aufeinander abgestimmt sein.

3.3 Beispiele für fehlende Akzeptanz

Im bereits erwähnten Beispiel der Membrantechnologie hing das Vertrauen zu innovativen Technologien u. a. von bislang gemachten persönlichen Erfahrungen und individuellem Wissen, vorhandenen Informationen und der Öffentlichkeitsarbeit der Entwickler ab. Außerdem spielte hier wie so oft ein Grundvertrauen in Technik, ein Vertrauen in etablierte Unternehmen als Ersatz für fehlendes Wissen eine wichtige Rolle. Auf dieser Basis hat die pharmazeutische Industrie die Nutzen und Chancen dieser technischen Entwicklung im Vergleich zu dessen Aufwand höher eingeschätzt und war bereit, mit den etablierten Anlagebauern und innovativen kleinen Firmen an der Optimierung der Membrantechnologie zusammenzuarbeiten. Dabei war geeignete Kommunikation zwischen Entwicklern und Anwendern ein wichtiger Faktor für eine erfolgreiche Entwicklung und Implementierung. Für die potentiellen Anwender in der Milch- und Getränkeindustrie waren jedoch die schwer einschätzbare Wirtschaftlichkeit, unzureichende Informationsstand über die Chancen und Nutzen und mangelnde Motivation der Anwender zu Innovationen ausschlaggebend für die fehlende Akzeptanz der Technologie.

Das Beispiel Brennstoffzellen zeigt aus meiner Sicht einen Kommunikationsfehler, der zu Imageverlust und fehlender Akzeptanz geführt hat. Der genauere Inhalt des Szenarios für Brennstoffzellen, das 1923 von Haldane präsentiert wurde, gibt Hinweise auf die Akzeptanzproblematik angesichts der damaligen Vorstellungen: Das Land würde mit Reihen von Windmühlen aus Metall überzogen, die Elektromotoren betreiben, welche Hochspannungselektrizität an die elektrischen Hauptleitungen liefern. In einer geeigneten Entfernung wird es große Kraftwerke geben, wo während windigen Wetters die Überschussproduktion für die elektrolytische Aufspaltung des Wassers in Sauerstoff und Wasserstoff verwendet würde. Diese riesigen Behälter von verflüssigten Gasen würden das Speichern von Windenergie ermöglichen (Coles/Peters 2003). Wir dürfen spekulieren, dass Haldane die Entwicklung der Technologie in England durch seine übertriebenen Vorstellungen als so ungeheuerlich beschrieben hat, dass er damit statt Begeisterung, Vorbehalte und Ängste gegen die Technologie auslöste.

Das Dilemma der Akzeptanz besteht darin, dass Entwickler (in diesem Fall Haldane im Jahr 1923) wahrscheinlich keine Aufmerksamkeit für ihre Ideen finden würden, wenn sie die Chancen ihrer Innovationen wie der Brennstoffzellen bescheidener formulieren würden. Weitere Beispiele (vgl. Fraunhofer-ISI 1998) zeigen, dass die schwierige Kommunikation zwischen Technologieentwicklern und ersten Anwendern ein wesentliches Hemmnis für die Verbreitung umweltfreundlicher Produktion ist. Die innovationsfreudigen Nutzer kooperieren dann in der Optimierungsphase, wenn sie von den Chancen innovativer umweltfreundlicher Technologien überzeugt werden.

3.4 Steuerungskonflikte zwischen Nachhaltigkeit und technischem Fortschritt

Nachhaltige Entwicklung erhebt u. a. den Anspruch auf Kontrolle der Dynamik der Technikentwicklung und sieht Wirkungsanalysen als Grundlage für einen schrittweisen technologischen Fortschritt vor. Ein wesentliches Ziel ist es dabei, das Vorsorgeprinzip in den technischen Fortschritt einzuplanen und bittere Erfahrungen wie den euphorischen Einsatz von Ozon-abbauenden Substanzen zu vermeiden. Die Geschichte der FCKW soll hier die dramatischen Zustände, die durch einen Mangel an kritischer Kontrolle der Auswirkungen entstehen können, aufzeigen:

Der kommerzielle Gebrauch von Ozon-abbauenden Substanzen begann etwa um das Jahr 1930. Die konventionellen Kühlmittel dieser Zeit – Ammoniak, Methyl-Chlorverbindungen und Schwefeldioxid – waren wegen ihrer gesundheitsschädlichen und toxischen Eigenschaften für Haushaltsgeräte nicht geeignet. Gegen Ende der Zwanzigerjahre bat Charles F. Kettering von General Motors einen seiner Forschungsmitarbeiter, Thomas Midgley Jr., um die Entwicklung eines nicht-toxischen, nicht entzündbaren Ersatzes für diese Gase. 1930 bereitete Midgley Dichlorodifluoromethan (Freon 12) zu und demonstrierte dessen Sicherheit auf einer Sitzung der American Chemical Society. In seinem Versuch atmete er zuerst das Gas tief ein und löschte dann beim Ausatmen eine Kerze. Die Entdeckung von Midgley legte die Grundlage für den Erfolg der Kühltechnikabteilung von General Motors³ (National Academy of Engineering 1989).

Eine breite Anwendung der FCKW und ihre Diffusion in die Atmosphäre hat einen direkten Einfluss auf den Abbau der Ozonschicht und ist heute als eines der Hauptumweltprobleme und als Hautkrebsrisiko bekannt. Das Protokoll von Montreal verbietet seit 1996 die Verwendung der Ozon-abbauenden Substanzen⁴ in den Industrieländern (insbesondere für Kühlschränke) und sieht bis 2010 ein Verbot dieser Substanzen in den Entwicklungsländern vor.

³ Midgley entdeckte später auch das Tetraethylblei für Treibstoffe und er wurde Präsident der American Chemical Society. Midgley hat die Kontroversen selbst nicht erlebt, die die Umweltwirkungen (beider) seiner großen Entdeckungen ausgelöst haben. 1940 erkrankte er an Poliomyelitis. Vier Jahre später erwürgte er sich an einem selbst entwickelten Gerät mit einer Umleitrolle und einem Seilsystem, das ihm in und aus dem Bett geholfen hatte. Es wurde dabei wieder deutlich, dass unsere erstaunlichen technischen Lösungen, die mit Begeisterung entwickelt werden und die Bedürfnisse der Menschen befriedigen können, auch schädliche und bedrohliche Auswirkungen auf dieselben Gesellschaften und Menschen haben können.

⁴ Das Protokoll von Montreal (ein internationales Abkommen) versteht darunter insbesondere FCKW, Chlor und Brom, also Substanzen, die hauptsächlich aus Halogenkohlen-Wasserstoffen anthropogenen Ursprungs stammen (Anonymous 2005).

Dieses Beispiel zeigt, dass eine Fokussierung auf technische Innovationen ohne kritische Kontrolle der Auswirkungen hohe Risiken in sich birgt. Die Komplexität der Technikentwicklung verhindert oft den Überblick der Entwickler über potentielle Folgen der Innovation. Freon 12 wurde 1930 als sicherer Stoff eingestuft, da unter dem Erfolgsdruck des Unternehmens auf umfassende Analysen und Langzeitversuche verzichtet wurde. Nach dem Vorsorgeprinzip sollten jedoch auch die ökologischen Auswirkungen der Stoffe und Technologien, die als umwelt-schonend und sicher eingestuft werden, vor dem Gebrauch überprüft werden. Dies würde freilich den Markteintritt dieser Innovationen verlangsamen.

3.5 Starke industrielle Ausrichtung der technischen Universitäten, Fachhochschulen und Forschungsstätten

Umweltfreundliche Produktionstechnologien sind an technischen Hochschulen im Gegensatz zu Grundverfahren der Produktion ein relativ neuer Forschungsbe-reich, der oft nicht älter als vierzig Jahre alt ist. Sie werden auch heute teilweise als Randthema in der Forschung betrachtet. In der Praxis werden für die techni-sche Forschung gesellschaftliche Anforderungen oft durch das Sieb der Wirtschaft selektiert. Technische Lösungen werden immer schneller entwickelt, um Markt-anprüche zu erfüllen. Die wissenschaftliche Prämisse der Selbstreflexion und kritischen Kontrolle der Ergebnisse wird oft als Luxus betrachtet, der nicht mit dem Betriebsalltag der technischen Hochschulen und Forschungsstätten verein-bar ist. Jedoch wird es gerade durch solche Selbstreflexion erst möglich, innova-tive Produktionsverfahren zu entwickeln, die nicht nur nach wirtschaftlichem Nutzen, sondern auch in Hinblick auf ihr Umweltschutzpotential optimiert wer-den. Umweltfreundliche Produktionsverfahren, die für eine nachhaltige Entwick-lung notwendig sind, bleiben unter diesen Zuständen unterentwickelt. Die stark fachspezifischen Strukturen, die massive industrielle Ausrichtung und der gerin-ge Stellenwert der Kommunikation mit der Gesellschaft behindern zusätzlich ei-ne aktive Teilnahme der technischen Lehr- und Forschungsstellen an der Ge-staltung einer nachhaltigen Entwicklung.

Punktuell sind einige technische Universitäten mit der Lösungssuche für ge-sellschaftlich relevante Themen beauftragt geworden.⁵ Die europäische Rektoren-

⁵ Ein Vorreiter für die Bewertung der Leistungen einer Universität nach den Prinzipien nachhaltiger Entwicklung war der Fachbereich Bauingenieurwesen der University of Florida in den USA, wo im Jahre 2000 Indikatoren, die ursprünglich für die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen entwickelt wurden, zur Dokumentation von Nachhaltigkeitsaktivitäten einer Universität überarbeitet und verwendet wurden.

konferenz hat im Jahre 1993 in Barcelona im Rahmen der Copernicus Charta⁶ zehn Handlungsprinzipien für nachhaltige Universitäten festgelegt. Interdisziplinäre Forschung und Lehre in den Sozial-, Natur- und Ingenieurwissenschaften, Vernetzung und soziale Verantwortung werden dabei besonders betont. Das bedeutet, dass die WissenschaftlerInnen sich nicht nur auf ihre Kernkompetenzen in Forschung und Lehre konzentrieren, sondern dass sie der Integration der verschiedenen Disziplinen, der Vermittlung von Wissen an Politik und Gesellschaft und der Kommunikation mit der Gesamtgesellschaft höchste Aufmerksamkeit widmen sollen.

Der Schwerpunkt der meisten Universitäten im Copernicus-Netzwerk liegt in der Integration des Nachhaltigkeitskonzepts in den Alltag der Universität und in der Einbindung der technischen Universitäten in ihre lokale Umgebung. In dieser neuen Sichtweise müssen IngenieurInnen lernen, sowohl lokale Probleme als auch globale Interaktionen zu verstehen und technischen Lösungen nicht blind zu vertrauen. Für technische Universitäten ist es primär wichtig, eine Infrastruktur aufzubauen, die eine interdisziplinäre Forschung und Lehre erlaubt. Die Entscheidungs- und Kommunikationsstrukturen müssen ebenso funktionieren wie die Interaktion mit der Umgebung, um sowohl lokale als auch nationale und internationalen Kontakte und Netzwerke zu pflegen.

Durch den Ausbau der Inter- und Transdisziplinarität erhofft man sich eine Umorientierung der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung, sodass ein kreativer Raum der Entwicklung technischer Lösungen für gesellschaftlich relevante Problemen entstehen kann, in dem soziale, wirtschaftliche, umweltrelevante und kulturelle Aspekte ausgeglichen berücksichtigt werden können. Kritisches Denken und ein problemorientierter Ansatz sollten dabei feste Bestandteile von Lehre und Praxis der Ingenieurwissenschaften werden.

4 Fazit

In diesem Kapitel wurde versucht, anhand von einigen Beispielen die Zusammenhänge von Technikentwicklung und Nachhaltigkeit darzustellen. Das Ziel ist es, dass umweltfreundliche Produktion sowohl kurzfristige Bedürfnisse der Gesellschaft nach Konsumgütern erfüllen kann als auch die langfristige Verfügbarkeit von Ressourcen ermöglichen soll.

⁶ <http://www.copernicus-campus.org/sites/charta.html>.

Innovative umweltfreundliche Produktionsverfahren werden aber langsamer als ursprünglich erwartet entwickelt. Einige Technologien, wie z. B. die Brennstoffzelle, wurden nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern hauptsächlich wegen strategischer Entscheidungen und Kommunikationsfehler jahrelang abgelehnt. Anhand des Beispiels Membrantechnologie kann gezeigt werden, dass die Technologieanwender bei der Entwicklung innovativer umweltfreundlicher Produktionstechnologien in der Entwicklungsphase involviert werden sollten. Hier erscheint es notwendig, neben langfristigen auch weitere neuartige, flexible und kurzfristige individuelle und projekt-orientierte Kooperationen zwischen Akteuren in der Technologieentwicklung und -anwendung entstehen zu lassen.

Aus diesen Beispielen kann eine Erklärung für die langsame Entwicklung umweltfreundlicher Produktion abgeleitet werden. Das Fehlen ausreichender Verknüpfungen zwischen verschiedenen Verantwortungsbereichen wird als ein grundlegendes Problem angesehen. Die starke industrielle Ausrichtung von technischen Forschungsstätten hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass die Strategien für langfristige Forschung an umweltschonenden Verfahren nicht ausreichend ausgebaut wurden. Außerdem sollte technische Forschung, die sich an einer nachhaltigen Entwicklung ausrichtet, den Blick über die Grenze des eigenen isolierten Verantwortungsraums öffnen. Das bedeutet auch, dass Umweltverträglichkeit sowie soziale und kulturelle Ziele die Wirtschaftlichkeitsziele begleiten sollen. Auch in der Praxis wurden langfristige Ziele der Nachhaltigkeit durch die kurzfristige Ausrichtung der Strategien im Beruf von IngenieurInnen, in der technischen Arbeit, im Management, im Handel und in den Produktbeschaffungsabteilungen vernachlässigt.

In diesem Sinne kann auch die Forderung von Rio nach Technikfolgenabschätzung zur Schaffung der notwendigen Voraussetzungen für den Umgang mit umweltverträglichen Technologien gesehen werden. TA wurde nicht nur als Informationsaufbereitung für die Politik konzipiert. Sie zielt vielmehr auch darauf ab, die Dynamik der Zusammenhänge zwischen den vielfältigen Technikentwicklungsprozessen mit unterschiedlichen lokalen, sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Bedingungen mit speziellen klimatischen, Luft-, Boden- und Wasserzuständen besser darzustellen. Damit kann und sollte TA in meinem Verständnis eine interdisziplinäre Auseinandersetzung mit ständig veränderten Chancen und Risiken etablierter, aber auch innovativer technischer Lösungen für den Umweltschutz ermöglichen. Schließlich institutionalisiert TA die Analyse der Wechselwirkung zwischen Technik und ihrer Umgebung, wobei diese durch die Erfordernisse der Nachhaltigkeit bestimmt ist.

Literatur

- Anonymous, 2005, *Die Geschichte des Ozons*; Magazin über europäische Forschung, Sonderausgabe Mai
<http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/spezial_pol/04/article_2604_de.html>.
- Calleja, I., Lindblom, J. und Wolf, O., 2002, Clean technologies in Europe: Diffusion and frontiers, *The IPTS report 69*.
- Coles, A.-M. und Peters, S., 2003, Sustainable development, global innovation and advanced technologies: the case of fuel cells, *International Journal of Environmental Technology and Management* 3(3/4), 278-289.
- WSA/EU, 2004, Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses zur „Bewertung der EU-Strategie für nachhaltige Entwicklung – Sondierungsstellungnahme“, Amtsblatt 2004 C 117 S. 8 <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/site/de/oj/2004/c_117/c_11720040430de00220037.pdf>.
- Frauenhofer-ISI, 1998, *Innovationspotentiale von Umwelttechnologien*; Schriftenreihe des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung, Berlin: Umweltbundesamt.
- Grunwald, A., 2000, *Technik für die Gesellschaft von morgen*; in Reihe: Gesellschaft-Technik-Umwelt, Frankfurt: Campus.
- Kemp, R., 2002, Environmental protection through technological regime shifts, in: Bammé, A. et al. (Hg.): *Technology Studies & Sustainable Development*, München: Profil Verlag, 95-126.
- Lang, R. W., 1999, Kunststoff aus Holz, *Austria Innovativ* Nr. 2/99.
- Majer, H., 2005, *Eingebettete Technik*; Ulmer Initiativkreis nachhaltige Wirtschaftsentwicklung e.V.
<http://www.unw-ulm.de/pdf/pdf_doc_neu/Helge_Majer1/Eingebettete%20Technik.pdf>.
- National Academy of Engineering, 1989, *Technology and Environment*, Washington: National Academy Press.
- O'Doherty, D. und Arnold, E., 2003, Understanding innovation: the need for a systemic approach, *The IPTS report 71*.
- Rähse, W., 2004, Produktdesign-Beschleunigte Entwicklung von Produkten durch Einbeziehung des Kunden, *Chemie Ingenieur Technik* 76(3), 220-231.
- Sotoudeh, M., 1999, Demands for Cleaner Technologies in the Chemical Sector, *IPTS Workshop: Strategies to facilitate the use of cleaner production for the production of substances and materials*, 24-25 June, Seville.
- Sotoudeh, M., 2003, *Industrial clean technologies diffusion – Report for evaluation of interrelations of diffusion factors of cement industry*, im Auftrag von ESTO (Projekt CTD).
- Sotoudeh, M., Mihalyi, B., Stifter, R. und Siegele, B., 2000, *Bewertung des Durchsetzungspotentials und der Wirtschaftlichkeit vorsorgender Umwelttechnologien, zwei Fallbeispiele*; Endbericht, im Auftrag von: BMLFUW, November 2000, Wien: Institut für Technikfolgen-Abschätzung <<http://www.oeaw.ac.at/ita/ebene5/d2-2d17a.pdf>>.
- Sotoudeh, M. und Schidler, S., 2001, *Anforderungen an Methoden zur Bewertung Innovativer Technologien am Beispiel biologisch Abbaubarer Polymere*; Endbericht, im Auftrag von: BMLFUW, August 2001, Wien: Institut für Technikfolgen-Abschätzung <<http://www.oeaw.ac.at/ita/ebene5/d2-2d18.pdf>>.