

DR. JOACHIM H. SPANGENBERG

Vorsterstr. 97, 51103 Köln

Telefon: 0221 - 2168-70

Mobil: 0174 - 333.61.45

Helmholtzzentrum für Umweltforschung UFZ, Dept. BZF * Sustainable Europe Research Institute SERI * Lehrbeauftragter Hochschule Bochum

Technikfolgenabschätzung TA

Vorlesungsmanuskript

Hochschule Bochum, Sommersemester 2016

Köln, April 2016

Inhaltsverzeichnis

Technikfolgenabschätzung TA

1 Grundlegende Erläuterungen

- 1.1 Warum Technikphilosophie?
- 1.2 Warum Techniksoziologie?
- 1.3 Was ist spezifisch TA?
- 1.4 TA als Entscheidungstheorie
- 1.5 Lösungen auf Suche nach Problemen oder Probleme auf Suche nach Lösungen?
 - 1.5.1 *technologiebasierte TA: Varianten, Methoden, Durchführung von tdTA*
 - 1.5.2 *problembasierte TA: Varianten, Methoden, Durchführung von pdTA*

2 Einrichtungen, Netzwerke und Verbände der Technikfolgenabschätzung

3 Vor 22 Jahren: Nachbegutachtung einer TA zur Biotechnologie

- 3.1 Die Versprechungen
- 3.2 Vorgehensweise der ex-post Analyse
- 3.3 Anwendungsbereich Humangenetik
- 3.4 Anwendungsbereich halboffene Systeme: Industrielle Nutzung
- 3.5 Anwendungsbereich offene Systeme: Freisetzung

4 Quellen und Literaturhinweise

Technikfolgenabschätzung TA

1 Grundlegende Erläuterungen

Das Forschungsgebiet der Technikfolgenabschätzung (kurz TA, auch: *Technologiefolgenabschätzung* oder *Technikbewertung*) ist ein Teilgebiet der *Technikphilosophie und -soziologie*. Es entstand in den 1960er Jahren in den USA und verbreitete sich von den 1970er Jahren an in Europa. Die internationale Diskussion über TA-Forschungs- und TA-Beratungsthemen zeigt, dass es kein allgemeingültiges Konzept für die Gestaltung und die Durchführung von TA-Studien gibt. Die Vielfältigkeit der Technologien und neuen technologischen Entwicklungen und die ihrer Anwendungsmöglichkeiten spiegeln sich in der thematischen Breite der Themen, Methoden und Prozesse wider.

Die TA befasst sich mit der Beobachtung und Analyse von Trends in Wissenschaft und Technik und den damit zusammenhängenden gesellschaftlichen Entwicklungen, insbesondere der Abschätzung der Chancen und Risiken. Diese ist notwendig, weil *Technikanwendungen niemals nur ihr Arbeitsziel erfüllen, sondern darüber hinaus Nebenwirkungen für die natürliche und soziale Umwelt haben*; sogenannte *Restrisiken* sind unvermeidbar. Diese sind *hypothetische Risiken* (die typischen *Risiken der Moderne*) denn sie entziehen sich durch ihren Charakter (große Schäden mit geringer Wahrscheinlichkeit) der experimentellen Überprüfung. *Ziel der Gestaltung ist es dann, die Hypothetizität dieser Risiken zu erhalten* (Häfele 1974), ihre Manifestation und die damit verbundenen Schäden zu verhindern, was im Falle der *Atomenergie* fehlgeschlagen (Tschernobyl, Fukushima Daiichi), und beim Abbau der *Ozonschicht* teilweise gelungen ist. Zusätzliche Vorsicht ist geboten, da sich diese Art Risiken auch dem haftungsrechtlichen Zugriff entzieht:

- Wer kann für den Zusammenbruch von Ökosystemen haften?
- Was ist überhaupt ein Zusammenbruch von Ökosystemen?
- Welche Funktion hätte das Haftungsrecht z. B. im Falle von nicht finanziell kompensierbaren Großschäden (Klima, Seuchen)?

Ein einfaches Beispiel ist der *Autoverkehr*: Der Transport erzeugt ökologisch unerwünschte Verbrennungsprodukte, die in die Atmosphäre abgegeben werden (Klimawandel); der nötige Straßenbau versiegelt Flächen, beschleunigt den Oberflächenabfluss von Niederschlägen und zerschneidet die Habitate in Flora und Fauna. Sozial belastet der Autoverkehr die Bevölkerung durch Unfalltote und –verletzte sowie die Gesundheit und Lebensqualität in der Wohnumwelt durch Lärm.

1.1 Warum Technikphilosophie?

Technik kann wertlos, aber niemals wertfrei sein. Sie *entspringt einem bestimmten Weltbild*, das mit Werten verbunden ist (ist es legitim, Menschen genetisch optimieren zu wollen?) und

wird **entwickelt im Rahmen eines bestimmten Wirtschaftssystems**, dessen Charakteristika der Technik immanent sind (siehe den Streit um **Uber**: Freiheit des Marktes a la USA versus Schutzpflicht des Staates a la Europa). Insofern ist **bestehende Technik immer Ausdruck vergangener gesellschaftlicher Verhältnisse und Strukturen** unter denen sie entwickelt wurde und die ihr die Bedingungen zum Erfolg bereitgestellt haben – Straßenbau und KfZ, Krankenversicherungen und Medizintechnik, etc. Mit dem gesellschaftlichen Wandel (nicht nur mit dem technischen Fortschritt) werden deshalb Technologien obsolet (z. B. Atomkraftausstieg), während der Bedarf nach anderen steigt (z.B. erneuerbare Energien). Es sind solche Rahmenbedingungen die bestimmen welche Invention zur Innovation werden, und welche Innovation sich durchsetzt – das war schon immer so und ist unvermeidlich.

Kulturgeschichtlicher Hintergrund

Forschungsfreiheit, verstanden als "Handeln aus reinem Erkenntnisinteresse", das heißt ohne "erkenntnisleitendes Interesse", hat es, zumindest in der Neuzeit, nie gegeben. Forschung war also nie unabhängig von den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen; eine gesellschaftliche Bindung der Forschung, ihrer Ziele, Methoden und Grenzen ist deshalb so alt wie die Forschung selbst. Das gilt erst recht für die angewandte Forschung, also die Technologieentwicklung, denn welche Probleme als handlungsrelevant und welche Technik als zielführend angesehen wird hängt immer von kollektiven gesellschaftlichen Entscheidungen ab.

Der klassische Begriff der "Forschungsfreiheit" ist historisch entstanden mit dem materialistisch-mechanistischen Weltbild, als Konsequenz aus der postulierten "**Wertfreiheit**" der Wissenschaft und in der Konsequenz auch der Technik. Diese wiederum entsprang zu Beginn der Neuzeit als **fortschrittlicher Ansatz dem Versuch, aus der theologischen Gebundenheit** des mittelalterlichen Weltbildes zu einer "objektivierbaren", nicht teleologischen Beschreibung der Welt, des Diesseits als des primären Lebensraums des Menschen zu gelangen. Heute ist dieses Postulat als Schimäre erkennbar, denn Technikentwicklung bedarf der Finanzierung, die immer von gegenwärtigen Interessen geleitet ist.

Im folgenden seien einige der wichtigsten Akteure bei der Konstruktion des neuen Weltbildes und ihre Beiträge kurz aufgezählt:

- **Francis Bacon** (1620): Er wagte als einer der ersten den Schritt vom interpretatorischen zum instrumentellen Verständnis der Wissenschaft. "Jetzt ist das wahre und gesetzmäßige Ziel der Wissenschaften kein anderes als dieses: Das menschliche Leben mit neuen Entdeckungen und Mächten auszustatten ... [Sie ist die neue Methode, die] die Grenzen des menschlichen Herrschaftsbereichs ausweitet und *alles macht, was machbar ist.*"
- **Rene Descartes** (um 1650): Er anerkannte die Mathematik als Verkörperung der absoluten Ordnung als das Werkzeug, mit dem aus der mechanistischen Weltsicht *Prognosefähigkeit*, also "Vorwissen", abgeleitet werden kann. Risiken und Ungewissheiten spielen in diesem Modell keine Rolle und sollen eliminiert werden.

- **Isaac Newton** (um 1700): Er fasste mit den drei Newtonschen Axiomen große Teile der das Keplersche Planetenmodell als Nachfolger der mittelalterlichen/antiken Kosmologie regierenden Regeln in mathematisch formulierte erste "*Naturgesetze*", die allein den Lauf der Welten regeln sollten. Deren Grenzen zeigte erst Albert Einstein auf – womit auch deutlich wurde, dass die Formulierung von Naturgesetzen immer einen zeitlich gebundenen Wissensstand wiedergibt.

Im nächsten Schritt wurde die Übertragung "kosmischer Gesetze" auf die Abläufe von irdischer Natur, Gesellschaft und Wirtschaft vollzogen:

- **John Locke** übertrug das mechanistische Maschinenparadigma auf die Funktionsweise von **Staat und Gesellschaft**, suchte deren "**natürliche Grundlage**" im heute so genannten (vgl. R. Dawkins 1976, J. Maynard Smith 1982) "**Prinzip Eigennutz**" als Grundlage einer Gesellschaftsphilosophie der unbegrenzten Expansion eines jeden zum Nutzen aller: "Die Negation der Natur ist der Weg zum Glück. Die Menschen müssen sich vollständig von der Natur emanzipieren." Diese Philosophie bildete gleichzeitig eine der Grundlagen des politischen Liberalismus.
- **Adam Smith** interpretierte die Ökonomie als ‚naturgesetzlich‘ ablaufenden Prozess, der – falls ungestört – zu einer kontinuierlichen, stabilen Wirtschaftsentwicklung führe. Der ökonomische Egoismus der Individuen führe in seiner Gesamtheit, falls nicht Eingriffe von außen die ‚**unsichtbare Hand**‘ des Marktes störten, zu einem Einsatz des Kapitals in der Art, dass es auch der Allgemeinheit den größtmöglichen Nutzen bringe. Dieses - unbewiesene -Axiom ist Grundlage des Wirtschaftsliberalismus. Es setzt das (bis heute wirkende) **Menschenbild eines ‚homo oeconomicus‘** voraus, der alle Entscheidungen zur Maximierung des eigenen Nutzens trifft (Egoismus/Hedonismus als Basis rationaler, vernünftiger Entscheidungen) und bei dem alle menschlichen Wünsche auf die Suche nach materiellem Überfluss zurückgeführt werden können. Von der Psychologie lange falsifiziert spielt dieses Menschenbild in der Wirtschaftswissenschaft nach wie vor eine zentrale Rolle, ebenso wie in der Entscheidungstheorie.
- **Charles Darwins** Werk "Über den Ursprung der Arten" (1859) wurde dann als Bestätigung des **Gesetzes vom Überleben des Stärkeren** als nunmehr nachgewiesenes Naturgesetz ge- und **missdeutet** (es beschreibt die überlegenen Überlebenschancen des besser Angepassten) und als Rechtfertigung der frühkapitalistischen Ellenbogengesellschaft genutzt – dieser **Sozialdarwinismus** war zum Teil legitimatorische Grundlage nazistischer Rassenpolitik und Eugenik. Damit wird man jedoch Darwin in keiner Weise gerecht; unter anderem wurden seine Beobachtungen über die Rolle der Isolation in der Evolution wenig beachtet (sie werden in der evolutorischen Ökonomik bis heute ignoriert), Mutation plus Selektion als ordnungschaffender Prozess der stetigen Höherentwicklung (statt als Differenzierung) als dem mechanistischen Paradigma adäquate Beschreibungen der gesetzmäßigen Entwicklung des Lebens gedeutet und in das bestehende Weltbild integriert.

Die bis heute wirkende, verbindliche Verpflichtung auf diese Grundideen zeigt sich schon in der Aktualität dieser, zum Teil über 300 Jahre alten Äußerungen. Sie bestimmen die politische Debatte über die Wissenschaften ebenso wie die wissenschaftliche Debatte z. B. über die Gentechnologie.

The three frustrations of humankind

Kepler has shown that the Earth is not the centre of the universe, Darwin has clarified that man is just a pimped ape, and Freud demonstrated that this ape is not even rational but driven by subconscious forces. What's next?

Forschung hat in diesen Prozessen – nicht erst seit **Galileo Galilei** – gesellschaftliche Werte beeinflusst wie diese wiederum die Fragestellung und Methode der Wissenschaft (Galilei war Entwickler von Rüstungstechnik – er entwickelte Ferngläser für die Marine). Die "Wertfreiheit" von Wissenschaft und Technik ist lediglich eine die "Forschungsfreiheit" legitimierende Fiktion.

Wissenschaft hat also Werte, fordert, verteidigt, verändert auch Werte und ist damit selbst auch bewertbar. (Wertgebende) Forschung wirkt durch ihre Ergebnisse und deren Anwendung auf soziale Verhältnisse ein und bedarf deshalb der Sozialbindung, wenn sie sich nicht auf das romantizistische "Die Gedanken sind frei" beschränkt - insofern ist der Elfenbeinturm ein Hort der Sozialverträglichkeit.

Naturwissenschaft als instrumentelles Herrschaftswissen über eine als dem Menschen äußerlich verstandene Natur hat seit ihrer Entstehung die technische Anwendung zum Ziel gehabt mit dem Zweck, Teile des natürlichen Prozesses in steuerbare Formen zu bringen, die dann von größerem Wert, besser strukturiert und geordnet seien als im ursprünglichen Zustand. Diese "Wertverbesserung" der Natur zeigt sich als Zielvorstellung so deutlich wie wohl niemals zuvor in den Zielkatalogen der Gentechnologen, die die von ihnen angestrebte Schaffung einer zweiten Natur als Optimierung der ersten darstellen und auch verstehen. Sei es die gesteigerte Resistenz von Getreiden gegen Schädlinge, Dürre oder Herbizide, sei es die Effizienzsteigerung der Photosynthese – nie geht es um ein Verständnis komplexer Fließgleichgewichte in ökologischen Systemen, sondern immer um die Optimierung eines Einzelfaktors im Sinne einer Wertsteigerung durch bessere Verwertbarkeit. Heute zeigt sich dies besonders in der Erfassung und Bewertung von **Ökosystemleistungen**, die utilitaristisch Natur in dem Menschen nützliche und unnütze Teile kategorisiert und Nutzbarkeitsoptimierungen anstrebt. Das ist kein Zufall – wenn die Erlangung von Herrschaftswissen über die Natur historisch präformiertes Ziel der Naturwissenschaften ist, so gilt dies natürlich auch für die Biologie.

Die Phase der Entwicklung einer modernen Naturwissenschaft, in der die technische Anwendung der Erkenntnisse weit außerhalb des Horizonts des einzelnen Forschers lag, hat die Biologie also spätestens mit der Entwicklung der Gentechnologie endgültig überwunden. Der Schritt von der deskriptiven über die analytische zur synthetischen Biologie, von der Verständnis- zur Konstruktionswissenschaft ist dabei überwiegend nicht (z. B. durch ökonomi-

sche Verwertungsinteressen) außengesteuert, sondern primär Folge einer wissenschaftsimmanenten Entwicklungslogik.

Fragen: Es geht hier doch um Technikfolgenabschätzung – was hat das mit Philosophie zu tun?

Ist Wissenschaft wertfrei, kann Technologie wertfrei sein – in dem Sinne, dass erst der Gebrauch, nicht aber die Technik selbst Werte beinhaltet?

Was ist die Dichotomie von Mensch und Natur, woher kommt sie ideengeschichtlich, und welche Wirkungen hat sie heute noch?

1.2 Warum Techniksoziologie?

Wissenschaftsintern geben die genannten Weltansichten und die aus ihnen resultierenden **Leitbilder** eine **Denkrichtung** vor, deren Auslegung in der ‚scientific community‘ zwar umstritten sein kann, die aber *grosso modo* die Entwicklung von Naturwissenschaft und Technik, aber auch der Ökonomik **bis heute dominiert**. Die seit der Zeit der **Aufklärung dominierende Sichtweise einer Dichotomie von Mensch bzw. Gesellschaft einerseits und Natur** andererseits hat ebenso zu einer ‚naturvergessenen‘ Soziologie und Ökonomik geführt wie zu einer Ökologie, die Mensch und Gesellschaft als etwas den ökologischen Systemen äußerlich betrachtet und ihre Einflüsse häufig aus der Analyse ausblendet. Für TA, und insbesondere für eine an Nachhaltigkeitskriterien ausgerichtete **TA stellt das ein massives Problem** dar, denn die **Wissensbasis der Einzeldisziplinen**, auf die die TA zurückgreifen muss, wird häufig nicht dem Anspruch gerecht, gesellschaftliche und natürliche Prozesse integriert zu analysieren und so der TA die notwendige Basis für die Abschätzung der diese Trends modifizierenden Wirkungen einer Technologie zu bieten.

Gesellschaftlich wird sowohl der **Schritt von der Invention zur Innovation** wie der Schritt von der **Nischentechnologie zum allgegenwärtigen und selbstverständlichen, zum Teil sogar unverzichtbaren Produkt** von sozialen Strukturen geprägt. Was akzeptiert wird, was sogar einen **kurzfristigen (Tamagotchi) oder dauernden Nachfrageboom auslöst (Smartphone)** hängt von diesen sozialen Strukturen ab. Gleichzeitig werden diese von den sich entwickelnden Technologien verändert; **Technik und soziale Systeme ko-evolvieren**. Dies ist der Kern des sogenannten **Collingridge-Dilemma**. Es besteht darin, dass Wirkungen nicht leicht vorhergesehen werden können, solange die Technologie noch nicht ausreichend entwickelt und weit verbreitet ist, das Gestalten und Ändern jedoch umso schwieriger wird, je weiter eine Technologie verbreitet und je tiefer sie verwurzelt ist.

Die gegenseitige Beeinflussung von Technikentwicklung und -verbreitung und den Trends sozio-kulturellen, ökonomischen und ökologischen Prozessen abzuschätzen ist auch deshalb eine der schwersten Aufgaben der TA, weil das Wissenschaftssystem sich wie beschrieben nur sehr begrenzt der Aufgabe angenommen hat, die Interaktionsformen und -folgen solcher

Trends disziplinübergreifend zu analysieren. **Sustainability Science**, die sich dieser Herausforderung stellt, steckt noch in den Kinderschuhen.

Ein Beispiel: Mobiltelefonie

Ortsunabhängig telefonieren zu können war in einer Zeit weitverbreiteter Festnetztelefone und Telefonzellen zunächst nur ein begrenzter Fortschritt, der von vielreisenden Berufsgruppen wahrgenommen wurde (B- und C-Netz). Erst mit dem Aufkommen handlicher und bezahlbarer Mobiltelefone entfaltete sich eine unerwartete Dynamik: die schnelle Verbreitung unter jugendlichen Nutzer/inne/n hatten die Entwickler nicht vorhergesehen.

Für diese zunächst nicht prioritäre Kundengruppe stellten die Mobiltelefone nicht nur eine bisher nicht verfügbare Kommunikationsmöglichkeit dar, sie waren vor allem ein Mittel, um die **Kommunikationskontrolle zu überwinden**, die Eltern und andere über die Festnetzanschlüsse ausübten. Die neue Selbstbestimmung betraf damit nicht in erster Linie das ‚wann‘ und ‚wo‘ der Kommunikation, sondern die **uneingeschränkte Wahlfreiheit** über das ‚was‘ und das ‚mit wem‘. Dadurch bildeten sich neue soziale Netzwerke, und der Besitz eines Mobiltelefons wurde zur **conditio sine qua non des Dabeiseins**, und damit zur sozialen Notwendigkeit. Mit SMS, Email und später Messengern und Chaträumen, mit Facebook und zuletzt WhatsApp verstärkte sich diese Notwendigkeit; zur subjektiven Notwendigkeit gesellte sich die objektive Nützlichkeit (Internetzugang, Apps, etc.). Gleichzeitig änderte sich der Inhalt der Kommunikation: mit großen Geräten und bei hohen Kosten war sie auf den Austausch notwendiger Informationen konzentriert, mit handlicheren Geräten und Flatrates wurde sie zu der Art allgegenwärtigen Geredes das soziale Netze zusammenhält – und damit immer unverzichtbarer.

Diese inzwischen unbestreitbare unverzichtbare Rolle der mobilen Kommunikation prägt auch die **Risikowahrnehmung**: bei der Mobilfunk-Telefonie entstehen elektromagnetische **Streifelder**, deren Schädlichkeit noch heute diskutiert wird, ohne dass Politik oder andere gesellschaftliche Organisationen die Anliegen der ‚Elektrosensitiven‘ mit ähnlicher Intensität aufgegriffen hätten wie das bei anderen potenziellen technologie-induzierten Gefährdungen der Fall ist; nicht einmal adäquate Strahlenschutzvorschriften für die technischen Geräte existieren. Zwar sind derartige weitergehenden Auswirkungen sehr komplex und nicht auf Anhieb durchschaubar, dennoch ist der Zusammenhang zwischen Problemwahrnehmung und der sozialen Rolle der Technologie unverkennbar.

Fragen: Und jetzt auch noch Soziologie – was hat das mit Technik zu tun?

Gibt es bestimmte soziologische Phänomene in der Scientific Community (einschließlich der Ingenieurberufe), die für die entwickelten Technologien und ihre potenziellen Folgen mitverantwortlich sind?

Welche Rolle spielen soziale Prozesse für die Verbreitung und Verankerung einer Technologie? Welche Wechselwirkungen von Technik und gesellschaftlichen Prozessen kennen Sie, negativ wie positiv?

1.3 Was ist spezifisch TA?

TA ist längerfristig ausgerichtet; wie die **LCA** versucht sie, die Folgen eines Produkts oder einer Technologie über den **gesamten Lebenszyklus** zu ermitteln, geht aber dabei den Impact auf den status quo hinaus und versucht die Wechselwirkungen einer **sich entfaltenden Technologie mit den bestehenden** oder zu erwartenden technischen Trends zu erfassen. Dabei ist sie breiter angelegt als eine **Umweltfolgenabschätzung** (EIA Environmental Impact Assessment), weil sie auch soziale und ökonomische Folgen analysiert. Ihr Gegenstandsbereich ist jedoch enger als der eines **Integrated Assessments IA**, das die längerfristigen und multidimensionalen **Folgen politischer Entscheidungen jedweder Art** abschätzen und auf dieser Grundlage Entscheidungshilfen bieten soll. In ähnlicher Weise soll die Technikfolgenabschätzung politische Handlungsempfehlungen geben, z.B. indem sie **Richtlinien für die Vermeidung von Risiken** und die verbesserte Nutzung der Chancen entwickelt. Damit ist TA immer auch eine politische Aussage, und die in die Bewertung eingehenden Annahmen sind immer politisch, ebenso wie wissenschaftlich zu bewerten.

In der Literatur wird oft zwischen der **Technikfolgenforschung** und der **Technikfolgenbewertung** unterschieden. In der ersteren gehe es demnach um die wertfreie wissenschaftliche Erfassung der Folgen und Nebenwirkungen einer Technik, während es bei der letzteren um die Bewertung der zu erwartenden Folgen geht, basierend auf von den Betroffenen vorgegebenen Präferenzen. Nach dem zuvor gesagten ist diese Unterscheidung jedoch nicht belastbar; auch die Technikfolgenforschung ist von subjektiven Wahrnehmungen geprägt und nicht wertfrei.

In den letzten Jahren haben die **zunehmenden Partizipationsansprüche der Gesellschaft** dazu geführt, dass der Charakter und die Durchführung von TA sich gewandelt haben, von der reinen ‚**Experten-TA**‘, zu neuen Formen mit **partizipativen Elementen**. Während die Experten – TA (auch klassische oder traditionelle TA) von Experten aus verschiedenen Disziplinen durchgeführt wird und ihren Input von Interessenvertretern und anderen Akteuren indirekt und selektiv über schriftliche Stellungnahmen, Gutachten und Interviews erhält, wirken bei den verschiedenen Formen **der partizipativen TA (pTA)** gesellschaftliche Akteure direkt an der Analyse und (häufiger, da die Analyse oft noch als wertneutral verstanden wird) an der Bewertung der Technikfolgen mit. Dabei werden systematisch und methodisch unterschiedliche soziale Gruppen, aber auch einzelne Akteure wie Bürger/innen (Laien), Wissenschaftler/innen oder Ingenieure/innen als Gutachter/innen, Informationslieferant/inn/en und Diskussionsteilnehmer/innen in den TA-Prozess einbezogen. Methodisch steht dafür eine Vielzahl an Verfahren zur Verfügung, wie z.B. **Konsensuskonferenzen, Fokusgruppen oder Szenario-Workshops**. Liegt der Schwerpunkt auf der Beteiligung von Laien, so spricht man von public pTA, werden überwiegend Expert/inn/en einbezogen von expert-stakeholder pTA.

Einen Schritt weiter geht die **konstruktive TA** (CTA, constructive TA). Dieses TA-Konzept ist reflexiv; es versucht nicht wie in klassischen, reaktiven TA-Formen, mögliche Endzustände einer als gegeben angenommenen Technikanwendung in Wechselwirkung mit sozio-ökonomischen Trends zu eruieren, sondern versteht **Technik als etwas im diskursiven Prozess zu Gestaltendes**. Deshalb versucht CTA nicht nur die hergebrachten Entwicklungspraktiken durch eine Folgenabschätzung zu beurteilen, sondern die Entwicklung neuer Technik selbst durch Rückmeldungen aus der TA zu beeinflussen. Damit sollen beispielsweise soziale oder ökologische Folgen bereits im Entwicklungsprozess mehr Beachtung finden, Risiken minimiert und Chancen genutzt werden. In diesem Kontext wird die Risikoabschätzung als Teil der TA auch als TAR, **TAR Technology-Assessment & Risk** bezeichnet, wobei die identifizierten **Risiken** sowohl in die **technische Gestaltung** wie in die Setzung rechtlicher Rahmenbedingungen (Schutzvorschriften, Auflagen, Verbote), aber auch in die **gesellschaftliche Akzeptanzdebatte** einfließen. Ein Beispiel bietet die Human-Gentechnik: Zum Zeitpunkt der Gentechnik-Enquetekommission des Deutschen Bundestags (1984-1987) noch als Chance mit großer Zukunft betrachtet und beworben (Catenhusen, Neumeister 1987), kann die Frage einer personalisierten (individuellen) Gentechnik-Medizin zwischenzeitlich nicht mehr als Positivargument genutzt werden, da die Anwendungsrisiken der Praxis abschrecken und so die gesellschaftliche Akzeptanz in Deutschland verloren gegangen ist (in den USA oder Japan sieht das zum Teil anders aus).

Die gesellschaftliche Akzeptanz für die (ggf. infolge von CTA modifizierte und als Resultat von TAR regulierte) Technikentwicklung und -anwendung zu stärken ist Ziel der **diskursiven oder argumentativen TA**. Gesellschaftspolitische Konflikte um die Einführung neuer Technologien sollen dargestellt und von relevanten Gruppen bearbeitet werden. Dazu werden unterschiedliche Personen und Organisationen in das Verfahren eingebunden, die wissenschaftliche, gesellschaftliche und politische Positionen repräsentieren (Kritiker, Befürworter, Experten, Politiker usw.). Inhalt dieser Diskurse sind nicht nur lokale und aktuelle Konflikte, sondern **auch allgemeingesellschaftliche Technikkontroversen**.

Fragen: Wie unterscheidet sich die traditionelle TA von moderneren, partizipativen Formen? Welche Formen gibt es, welche Ziele sind mit ihnen jeweils verbunden?

Gehört Risikoabschätzung mit zur TA? Wie kann TA zur Akzeptanz beitragen? Kann sie Technik ‚umgestalten‘? Gibt es TA-Verfahren, sie sich solche Ziele setzen?

1.4 TA als Entscheidungstheorie

Gegenstand der Entscheidungstheorie ist das **Entscheidungsverhalten von Individuen** (Theorie der Individualentscheidung) **sowie von Gruppen bzw. Organisationen** (Theorie der Kollektiventscheidung). Die Intention kann entweder **deskriptiv oder normativ** sein – im ersten Fall geht es darum, ex-post Ablauf und Ergebnis von Entscheidungsprozessen zu analysieren und so das Zustandekommen von Entscheidungen transparent zu machen. Unter normativer

Intention wird dagegen geprüft, **welche Entscheidungen die jeweiligen Entscheidungsträger/innen treffen sollten**, in der Regel unter der Maßgabe, dass die Entscheidung ihren eine maximale Erreichung ihrer **subjektiven Ziele** ermöglicht (ein Sonderfall ist die ‚bekennend-normative Entscheidungstheorie‘, die eine Bewertung der verfolgten Ziele einschließt).

Dabei geht die Entscheidungstheorie traditionell vom egoistisch-hedonistischen **Utilitarismus**¹ des *homo economicus* als rationale Grundlage der **normativen Entscheidungslogik** aus; diese ist insofern eine **Theorie des Rationalverhaltens**. Dagegen verwirft die sozialwissenschaftliche Entscheidungstheorie die Annahme des absolut ökonomisch rationalen Verhaltens und bezieht eine **Vielzahl von entscheidungsrelevanten Faktoren** mit ins Kalkül; der Egoismus der Entscheider/innen ist dann nur einer der zu berücksichtigenden Faktoren. Sie wird deshalb (insbesondere von Ökonomen) als eine **Theorie der beschränkten Rationalität** bezeichnet und spielt bei der Analyse von Politik- und Marktprozessen eine zunehmende Rolle.

In der Entscheidungstheorie lässt sich zwischen Entscheidungen unter **Sicherheit, Risiko, Ungewissheit und Unwissen** unterscheiden (Tabelle 1). Jede dieser Situationen setzt einen bestimmten Charakter des analysierten Systems voraus.

Tabelle 1: Wissen und Entscheidungsfindung

Situation	Art des Systems	Wissen	Art der Zukunftserfassung	Erforderliche Handlungsprämisse
Sicherheit	Deterministisch	‘bekanntes‘ zukünftiges Systemverhalten, Wahrscheinlichkeit =1	Vorhersage	Anpassung, Vorbereitung auf die kommenden Ereignisse
Risiko	Dynamisch	‘bekannte‘ Folgen, ‘bekannte‘ Wahrscheinlichkeiten	Stochastische Vorhersage	Vorbereitung auf eine Anpassung kommenden Ereignisse, Präventivmaßnahmen zur Reduzierung bekannter Belastungen, direkt oder durch Modifikation ihrer Antriebskräfte
Ungewissheit	Selbstorganisierende und entwicklungsfähige Systeme	‘bekannte‘ Folgen, ‘unbekannten‘ Wahrscheinlichkeiten	Szenarios, Vulnerabilitätsanalysen	Vorsorgende Prävention zur Reduktion potenzieller Belastungen
Unwissen	Selbstorganisierende, entwicklungsfähige und unbestimmte Systeme	‘unbekannte‘ Folgen, ‘unbekannte‘ Wahrscheinlichkeiten, z.B. Überraschungen oder ‘wild cards’ (Schocks)	Szenario Narrative und Story Lines, Fiktion	Vorsorge, Maßnahmen um die Folgen von unvorhergesehenen Ereignissen zu antizipieren, identifizieren und zu reduzieren

Quelle: EEA (2004), erweitert und modifiziert

¹ Utilitarismus zielt nach Bentham auf den größtmöglichen Nutzen für die größtmögliche Zahl der Betroffenen (sozialer Utilitarismus); die egoistisch-hedonistische Variante zielt auf die persönliche Nutzenmaximierung ohne Berücksichtigung der Interessen anderer oder der Gesellschaft als Ganzes.

So erlauben nur deterministische Systeme Prognosen, die als Grundlage der Vorbereitung auf sicher eintretende Ereignisse genutzt werden können; die klassische Konzeption des homo oeconomicus, eines ökonomisch rational handelnden, vollkommen informierten, ‚seismographisch‘ und unendlich schnell handelnden Entscheidungsträgers ist im wesentlichen eine Theorie der Entscheidung unter Sicherheit. Entscheidungssituationen, in denen sämtliche Alternativen bekannt sind, finden sich relativ selten und meist nur kurzfristig. Die Annahme, dass das Entscheidungssubjekt den Alternativen eindeutige Konsequenzen zuordnen kann, erweist sich ebenfalls als wirklichkeitsfremd. Aus diesen Gründen fehlt den oftmals brillanten entscheidungslogischen Modellen vor allem eines – die Praktikabilität. Für eine TA, die mit Risiko, Ungewissheit und Unwissen zu tun hat sind sie deshalb keine geeignete Grundlage; die Determinismus implizierenden Annahmen müssen überwunden und die Fristigkeit erweitert werden, um für TA nutzbare Instrumente bereitstellen zu können.

Bei der hier vorgeschlagenen Systematisierung werden vier Wirkungs- (und damit Risiko-) Ebenen unterschieden:

1. Risiken durch Fehlschläge (die Technik funktioniert nicht),
2. Risiken durch Unkenntnis (die Technik hat unvorhergesehene Auswirkungen),
3. Risiken durch Erfolg (die durch die Einführung der Technologie erzeugten sozio-ökonomischen Strukturwandelprozesse haben negative ökologische oder soziale Folgen),
4. Risiken durch Wertewandel (die Technologie trägt zu Folgen bei, die für die Gesellschaft, oder für die Technologie selbst negativ sind).

Diese vier Risikokategorien sind nicht nur Gegenstand der TA/TAR, sondern sie können auch reflexiv auf die TA selbst angewandt werden: sie kann fehlschlagen, Lücken aufweisen, Strukturwandelprozesse fördern oder behindern und den jeder Gesellschaft inhärenten Wertewandel beeinflussen. Eine gute TA sollte eine solche Risikoreflexion als Selbstvergewisserung beinhalten, auch um die Formulierung risikoarmer Empfehlungen sicherzustellen.

TA stellt auch insofern eine konzeptionelle Erweiterung der klassischen Entscheidungstheorie dar, da sie – anders als diese – nicht von vorgegebenen Problemen ausgeht, bei denen die Alternativen, zwischen denen zu entscheiden ist, vollständig bekannt sind, sondern sie sieht die Alternativen als zu Gestaltendes und schenkt – anders als die Entscheidungslogik – dem Prozess der Entscheidungsfindung Aufmerksamkeit (vernachlässigt allerdings häufig die Problemperspektive). In ihren partizipativen normativen Varianten wendet sie statt einfacher (meist ökonomischer) Optimierung **Multikriterienanalysen** (*Multi Criteria Analysis MCA* oder *Multi Criteria Decision Aid MCDA*) an, um Empfehlungen abzuleiten (de Marchi, Ravetz 2001). Dabei handelt es sich **um eine Form der partizipativen TA**; die teilnehmenden Akteure der oft sehr breit angelegten Konsultationen tragen zu einem erweiterten Satz von zu berücksichtigenden Fakten und Entscheidungskriterien bei. Einigt man sich auf den (meist finanziellen) Nutzen als Entscheidungskriterium, so handelt es sich um den Sonderfall einer **partizipativen Kosten-Nutzen-Analyse** (KNA, engl. *cost benefit analysis* oder *benefit cost analysis, CBA* oder *BCA*).

Multikriterienanalysen erhöhen also die Breite der berücksichtigten Fakten und Kriterien, nicht aber unbedingt die Bedeutung, die einzelnen Kriterien zugesprochen wird; im einfachsten Fall (der wohl deshalb auch den meisten MCA-Softwareprogrammen zugrunde liegt) **entscheidet der Entscheidungsträger**, d.h. der Auftraggeber, oder falls der es nicht tut, die Wissenschaftler, allein über die Gewichtung der Kriterien. Da diese Wertzuweisung jedoch häufig zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen umstritten ist (was oft der Grund für die Durchführung von TA und MCDA war), ergibt sich kein Konsensus, sondern im besten Falle eine verbesserte Entscheidungsgrundlage für einen unverändert nicht-partizipativen Entscheidungsprozess. Dieser ergibt in der Regel eine klare Hierarchie unter den begutachteten Lösungen, basierend auf der erweiterten Palette der Kriterien und den unveränderten Gewichtungszuweisungen durch die Entscheidungsträger/innen. Der Vorteil dieses Verfahrens der **vertikalen MCDA** ist die meist gute Operationalisierbarkeit der Ergebnisse, sein Nachteil das regelmäßige Versagen bei Konfliktbewältigung, Konsenssuche und Akzeptanzschaffung. Hier liegen die Stärken der **horizontalen MCDA** – hier werden die Gewichtungen der Kriterien ebenfalls partizipativ entschieden. Dabei zeigt sich oft, dass unterschiedliche soziale Gruppen unterschiedliche Präferenzen und damit Gewichtungen aufweisen und ein Konsens kaum möglich ist. Akzeptiert man die Legitimität der sich teils gegenseitig ausschließenden Wertesysteme, so ist keine klare Hierarchie von Lösungen mehr möglich, statt dessen ergibt sich eine Mehrzahl von gleichermaßen legitimen Alternativen als Input in den politischen Prozess der Entscheidungsfindung.

Eine horizontale MCDA kann also nur die jeweiligen Positionen kohärent und transparent darstellen und so zu besserem gegenseitigem Verständnis beitragen, nicht aber ‚bestmögliche‘ oder ‚optimale‘ Entscheidungen identifizieren, sondern nur ‚zufriedenstellende‘ vorschlagen, wobei deren **Zustandekommen in einem demokratisch-partizipativen Prozess entscheidend** ist – die Lösung ist dann nicht die ‚beste‘ oder die ‚objektiv richtige‘, sondern die gemeinsame, der Kompromiss. Soweit TA normativ und politisch ist, d.h. auf politische Handlungsempfehlungen abzielt, für die breite Akzeptanz gewünscht ist, bietet sich offensichtlich die horizontale MCDA als Methode der Wahl an. Methodisch bieten sich dabei die Nutzung der deskriptiven Entscheidungsanalyse, sozialwissenschaftliche Erkenntnisse, und Simulationsmodelle als Vorgehensweisen an.

Fragen: Klassische Entscheidungstheorie ist eine Theorie des Rationalverhaltens – was bedeutet das? Welche Einschränkungen sind damit verbunden, und wie relevant sind diese (und damit die Entscheidungstheorie) für die TA?

Wer alles weiß kann Prognosen treffen – das ist nicht der Normalfall. Welche Formen der Unsicherheit kennen sie, wie unterscheiden diese sich, und wie relevant sind diese Unterschiede für die Empfehlungen, die eine normative TA ausspricht?

Welche Fehlertypen und -ebenen gilt es zu erkennen und zu vermeiden?

Was sind Multikriterienanalysen, und welche Typen sind zu unterscheiden?

1.5 Lösungen auf Suche nach Problemen oder Probleme auf Suche nach Lösungen?

Die traditionelle TA geht von einer bestimmten technischen Entwicklung aus (technology driven TA tdTA), sucht Felder in denen sie von Nutzen sein könnte und Bereiche, in denen sie Risiken birgt, und leitet auf dieser Grundlage ihre Empfehlungen ab: es handelt sich um eine Technologie auf der Suche nach Problemen, die sie lösen könnte.

Es ist aber auch eine andere Herangehensweise denkbar und machbar, die allerdings in der Praxis nur eine geringere Rolle spielt: die Analyse von Problemen und die anschließende Suche nach problemlösenden Strategien, einschließlich technischer Optionen (problem driven TA pdTA). Schon bei dieser Beschreibung wird deutlich, dass die problembasierte Technikbewertung breiter angelegt ist: für sie sind Technologien nur ein Baustein im Satz der möglichen Problemlösungen, während die Technikperspektive die tdTA dominiert.

Die öffentliche Debatte über die Chancen und Risiken neuer Technologien leidet bisher häufig an der Vermengung technologie- und probleminduzierter Fragestellungen (s.o.), sowie unter der Vermischung unterschiedlicher Betroffenheitsebenen (individuell, Gruppen, Gesellschaft, Umwelt, Nord-Süd) und Risikosystematiken.

1.5.1 technologiebasierte TA: Varianten, Methoden, Durchführung von tdTA

Die bisher beschriebenen Varianten und Methoden bilden die Grundlage der tdTA. Ihr Ausgangspunkt ist eine Technologie, von der bestimmte Leitungen bekannt sind oder erwartet werden. Diese Leistungen beinhalten Fähigkeit zur die Lösung technischer, ökonomischer oder gesellschaftlicher Probleme, Gewinnmöglichkeiten, Arbeitsplatzpotenziale und mehr.

Je nach Art der untersuchten Technik oder Technologie kommt meist eine Vielfalt unterschiedlicher Methoden in einer tdTA zur Anwendung. Mit Literaturrecherche, Dokumentenanalysen und Expertenbefragungen können erste Erkenntnisse gewonnen werden, welche Spezialgebiete näher in die Untersuchung eingezogen werden müssen. Fallstudien, Computer-Simulationen und die Entwicklung von Szenarien können quantitative Angaben zu den erwarteten Auswirkungen liefern. Identifikation der Betroffenen und Initiierung von Beteiligungsverfahren früh im Prozess sind Voraussetzung für den Erfolg jeder Partizipation.

Für die Durchführung einer pTA-Studie ist folgender Ablauf denkbar (klassische TA ohne Partizipation übergeht die Betroffenen oder engt die Teilnahme auf Experten ein):

1. Identifikation der Betroffenen
2. Partizipative Beschreibung der Technologie
3. Abschätzung der sozialen und sonstigen Entwicklungen der Rahmenbedingungen
4. Gemeinsame Erkundung und Beschreibung von Nebenwirkungen der Technologie
5. Partizipative Abschätzung der Technikfolgen in Wechselwirkung mit der Entwicklung der Rahmenbedingungen

6. Analyse politischer Handlungsoptionen

7. Allgemeinverständliche Vermittlung der Resultate

Angesichts der stetigen Veränderungen der Umgebung, in der Folgen auftreten können, ist deren Prognose mit großer Unsicherheit versehen. TA ohne Partizipation kann deshalb heute nur noch als interne Vorbereitungs- und Orientierungsübung in Forschungseinrichtungen und Firmen sinnvoll eingesetzt werden, nicht aber wenn es um das „roll out“ einer neuen Technik in der gesellschaftlichen Realität geht.

Dabei bestimmt der Ausgangspunkt, die Technologie, oft die Problemwahrnehmung (umgangssprachlich „sieht die Welt für einen Hammer aus wie aus Nägeln gemacht“), und die Anwendungsempfehlungen basieren auf den Charakteristika der Technik, weniger der Eigenheiten des Problems. So liegt es aus tdTA-Sicht nahe zu postulieren, dass Gentechnik zur Überwindung des Welthungers beitragen könnte, denn sie habe ich zum Ziel gesetzt, die Ernteerträge zu erhöhen.

Hier greifen die genannten vier Risikoebenen: zum ersten hat Gentechnik die Ernteerträge bisher nicht signifikant erhöht (der Zuwachs der Erträge nimmt ab), zum zweiten sind die ökologischen Risikovermutungen unwiderlegt und teilweise bestätigt, zum dritten sind soziale wie ökologische Sekundärfolgen bei großen Monokulturen von Raps oder Soja bekannt, und schließlich zeigt das genannte Beispiel Human-Genetik, wie die öffentliche Debatte zu zunehmender gesellschaftlicher Ablehnung der Einführung einer mit erheblichen Mitteln erforschten und entwickelten Technik führen kann.

1.5.2 problembasierte TA: Varianten, Methoden, Durchführung von pdTA

Im Gegensatz zur technikbasierten TA ist der Ausgangspunkt der problembasierten TA eine umfassende Analyse des zu lösenden Problems. So zeigt die Analyse des Welthungers zum Beispiel dass zumindest gegenwärtig nicht Nahrungsmangel, sondern Nahrungsverteilung das Kernproblem darstellt: es werden hinreichend viele Nahrungsmittel erzeugt, die aber ihren Weg nicht zu den betroffenen finden. Entscheidend sind Verkehrsinfrastrukturen, Marktzugang, Kaufkraft, Bewässerungsmöglichkeiten etc. – offensichtlich handelt es sich also um ein Problem, das einer technischen Lösung durch Biotechnologie nicht zugänglich ist.

Das Beispiel zeigt, dass Problemlösungskapazitätsvermutungen, die aus der tdTA resultieren, häufig fehlgeleitet sind, weil sie auf sichtbare Symptome zielen, nicht aber auf die Ursachen, deren Beseitigung eine notwendige Voraussetzung für jede dauerhafte (und insofern nachhaltige) Problemlösung darstellt. In einer solchen Analyse geht es um politische, wirtschaftliche, soziale, kulturelle und andere Faktoren, die die meist komplexen und multifaktoriellen Probleme erzeugen, und um Strategien für deren Überwindung. Dabei können Technologien eine Rolle spielen, müssen es aber nicht, und wenn dann nur als ein Bestandteil einer komplexeren Problemlösungsstrategie. So können Fortschritte der Impfstoffherstellung erst dann wirksam werden, wenn entweder die Kühlkette bis ins letzte Dorf funktioniert, oder aber die Impfstoffe

hitzeresistent gemacht werden können ohne an Wirksamkeit einzubüßen (eine technische Herausforderung). Um sie verabreichen zu können bedarf es aber auch geschulten Personals, einer Akzeptanz unter den betroffenen, und in vielen Fällen einer besseren Ernährung als Voraussetzung für ein funktionierendes Immunsystem und die Verträglichkeit der Präparate.

Entsprechend dieser anderen Akzentuierung ist auch die Vorgehensweise nicht identisch. Unter Berücksichtigung der Partizipation von Laien („tacit knowledge holders“, Fachleute für Relevanz) und Expert/inn/en (Fachleute für Methoden und Technik), die für eine pdTA unverzichtbar sind, beginnt der Prozess nicht bei der Technik, sondern bei den Problemen. Ein idealisierter Ablauf könnte die folgenden Schritte umfassen:

1. Identifikation des Problems
2. Identifikation der Betroffenen
3. Diskussion des Problemverständnisses mit den betroffenen, Überarbeitung von Problemdefinition und Stakeholder-Selektion
4. Konsensfindung über Problembeschreibung und zu untersuchende symptommildernde und kausale Lösungswege einschließlich einer Abschätzung der sozialen und sonstigen Entwicklungen der Rahmenbedingungen
5. Ausarbeitung von Problemlösungsstrategien, einschließlich politischer, ökonomischer, sozio-kultureller und technischer Maßnahmen
6. Partizipative Beschreibung der benötigten Technologien und ihrer Leistungen
7. Identifikation der Technologien, gemeinsame Erkundung und Beschreibung ihrer potenziellen sozialen, ökologischen, ökonomischen und kulturellen Nebenwirkungen
8. Partizipative Abschätzung der Folgen einer Einführung und Verbreitung der Technologie in Wechselwirkung mit der Entwicklung der Rahmenbedingungen
9. Analyse politischer Handlungsoptionen
10. Allgemeinverständliche Vermittlung der Resultate

Dabei sind insbesondere in den Schritten 4, 5 und 8 die vier Risikoebenen zu betrachten, und die reflexive Analyse ist vorzunehmen bevor die Resultate veröffentlicht werden, denn sie müssen ggf. noch im Konsens modifiziert werden.

Eine pdTA ist zeitaufwändiger, personalintensiver (auch weil transdisziplinär) damit teurer als eine tdTA. Dafür bietet sie ein klareres Bild von Erfolgchancen (und damit auch Marktchancen) als eine tdTA das kann, denn diese erliegt allzu leicht der Versuchung, zur Einsparung von Zeit, Geld und Personal die Problemanalyse zu vernachlässigen und so zu Erwartungen beizutragen, die im deutlichen Gegensatz zur pdTA und damit oft auch zur Realität nach der Markteinführung einer neuen Technologie stehen. Nicht zuletzt aus ökonomischen Gründen sollte deshalb die pdTA gerade für ambitionierte neue Technologien eher die Strategie der Wahl sein.

Fragen: Wie unterscheiden sich technikbasierte und problembasierte TA bezüglich ihrer Verfahren, Fragestellungen und Leistungsfähigkeit? Welche Variante ist wann zu bevorzugen?

2 Einrichtungen der Technikfolgenabschätzung in Deutschland

Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse ITAS am Karlsruher Institut für Technologie KIT (seit 2013 ein Verbund aus Universität und Großforschungszentrum) wurde am 1. Juli 1995 nach einer längeren institutionellen Vorgeschichte eingerichtet und ist mit mehr als 100 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die größte und traditionsreichste wissenschaftliche Einrichtung in Deutschland, die sich in Theorie und Praxis mit Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse befasst.

ITAS ist ein wesentlicher Akteur der parlamentarische TA (PTA) in der Bundesrepublik. Diese institutionell, aber nicht methodisch spezifische Form der TA wendet sich unmittelbar an das Parlament eines Landes und wird entweder direkt von Mitgliedern des Parlaments (z. B. Frankreich, Finnland), im Auftrag eines Parlaments durch eigene TA-Einrichtungen im oder beim Parlament (z. B. Vereinigtes Königreich, in Deutschland das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag) oder außerhalb des Parlaments (z. B. Dänemark, Niederlande, Schweiz) durchgeführt. In Deutschland entscheidet der zuständige Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung über die Durchführung von Technikfolgenanalysen durch das TAB und wertet diese für den Bundestag aus. Für die Durchführung dieser Technikfolgenanalysen wurde kein parlamentseigener Apparat geschaffen, vielmehr wird in solchen Fällen das TAB beauftragt.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) wird vom ITAS getragen; dieses berät als führendes Mitglied der European Technology Assessment Group (ETAG) auch das Europäische Parlament, das über eine eigene TA-Einheit verfügt.

Der Verein Deutscher Ingenieure VDI hat im März 1991 eine Richtlinie herausgegeben, die sich explizit mit Technikbewertung befasst (VDI-Richtlinie 3780). Darin werden Begriffe und Grundlagen der Technikbewertung aus Ingenieurssicht definiert, um diese stärker im Selbstverständnis von Ingenieuren und in ihrer Arbeitsweise zu verankern. Während dies im Grunde sinnvoll ist um die Reflexivität der Technikentwicklung zu verbessern, war es insofern kontraproduktiv, als der VDI sich im wesentlichen auf einen „klassischen“ Ansatz bezieht und partizipative Prozesse sowie die Einbeziehung von Nicht-Technikern allgemein (mit Ausnahme der Betriebswirte, die die Vorgaben machen) eher skeptisch betrachtet und auf jeden Fall nicht fordert oder fördert.

3 Vor 22 Jahren: Nachbegutachtung einer TA zur Biotechnologie

3.1 Die Versprechungen

In den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts tobte in der Bundesrepublik eine heftige Debatte über die Chancen und Risiken der Gentechnik. Befürworter/innen sahen ungeahnte Chancen, Kritiker/innen unbeschreibliche Risiken. Die Mitte der 1990er Jahre arbeitende Enquetekommission zur Gentechnik hatte die Aufgabe, alle diese Argumente zu sichten und zu

wichten, die Belastbarkeit der Versprechen kritisch zu hinterfragen und den Realitätsgehalt der Risikovorhersagen zu prüfen.

Einen guten Überblick über die Erwartungen und Versprechungen bietet die Liste der positiven Folgen des Einsatzes von Bio- und Gentechnologie, die von der Welthandels- und Entwicklungskonferenz der Vereinten Nationen, UNCTAD, verbreitet wurde (Tabelle 2). Aus heutiger Sicht enthält sie eine krude Mischung aus realistischen Erwartungen, Illusionen und Halbwahrheiten, aber damals waren diese und ähnliche Listen die einzige verfügbare Grundlage für Technologiefolgenabschätzungen. Als eine Folge dieser Situation bezog sich auch die Kritik damals nicht nur auf heute als realistisch bekannte Anwendungspotenziale, sondern auch auf solche Bereiche, die aus heutiger Sicht wenig realistische Prognosen darstellten. Die öffentliche Debatte um die Gentechnik konzentrierte sich nicht auf die damals zentralen Anwendungsbereiche, sondern vielmehr auf die ökologischen, ökonomischen und sozialen Konsequenzen aus der zunehmend voranschreitenden Entschlüsselung des menschlichen Erbguts einerseits und des Einsatzes genetisch veränderter Lebewesen in Fermentationsprozessen sowie in der Tier- und Pflanzenzucht andererseits (Fermenter sind geschlossene Kesselanlagen, in denen mit Hilfe von Kleinstlebewesen oder Zellkulturen Stoffumwandlungen zur Herstellung von Lebensmitteln, Medikamenten oder chemischen Substanzen durchgeführt werden. Dazu kommen die Anlagen der sogenannten Bio-Verfahrens-Technik, meist halboffene Systeme wie Kompost- oder Kläranlagen, die zur Umweltreinhaltung und -sanierung sowie zur Gewinnung mineralischer Rohstoffe genutzt werden können).

Insofern eignet sich die 22 Jahre alte TA in besonderer Weise, um Stärken und Schwächen des Ansatzes sichtbar zu machen, und um die vier genannten Fehlertypen reflexiv in der TA zu identifizieren.

3.2 Vorgehensweise der ex-post Analyse

Im folgenden werden ausgewählte Abschnitte aus der TA des Jahres 1994 wiedergegeben, einschließlich der erwarteten zukünftigen Wirkungen.

Von den Studierenden wird erwartet, dass sie mittels Internetrecherche den heutigen Stand zu den drei ausgewählten Themenfeldern eruieren, so dass sie den Realitätsgehalt der alten TA durch den Vergleich von Prognose und realem Status quo ermitteln können.

In der gemeinsamen Diskussion wird es dann darum gehen, die Fehlertypen und -quellen zu ermitteln und Schlussfolgerungen zu ziehen, ob und ggf. wie diese Fehler hätten vermieden werden können.

Ziel dabei ist es, sowohl den Nutzen der TA deutlich zu machen wie auch die potenziellen Ersteller und Anwender solcher Studien für ihre Grenzen zu sensibilisieren. Insbesondere soll erreicht werden, dass die Studierenden mit Methodik und Fehlerquellen vertraut sind und so in der Lage sind, kritisch mit weiteren TA-Studien umzugehen, Schwächen zu erkennen und Stärken zu nutzen, Defizite zu benennen und Nachbesserungsbedarf zu erkennen.

Tabelle 2: Positive Folgen des Einsatzes von Bio- und Gentechnologie laut UNCTAD

Gesundheitspflege und Medizin

- sichere Impfstoffe für Mensch und Tier
- die Produktion von Hormonen, Enzymen und Proteinen in medizinisch verwertbaren Reinheiten und Mengen
- verbesserte Antibiotika
- neue Pharmazeutika, körpereigene Wirkstoffe, Vitamine

Landwirtschaft:

Verbesserte Nahrungsmittelversorgung durch

- Saatgut mit verlängerter Wachstumsaison, so dass mehrere Ernten pro Jahr möglich sind
- Resistenz der Nutzpflanzen gegen extreme Umweltbedingungen wie Hitze, Frost, Wind, Überflutungen
- Resistenz der Pflanzen gegen Schadinsekten und Krankheiten
- Stickstoff-Fixierung durch Nahrungspflanzen, dadurch Verzicht auf Düngemittel
- Eiweißherstellung aus "Einzelzellproteinen"

Tierzucht

- verbesserte Zuchtmethoden (Plasmaübertragung)
- Verbesserung von Anzahl und Qualität der Nutztiere

Lebensmittelverarbeitende Industrie

- mikrobiologische Umwandlung bisher nutzloser Biomasse in Nahrung
- Produktion neuer Nahrungsmittel und synthetischer Geschmacksstoffe
- Herstellung von Polysacchariden als Zuckerersatzstoff

Energievorräte

- Entwicklung von Ersatzbrennstoffen für Erdöl (Alkohol-Benzin)
- Entwicklung energiesparender Produktionsprozesse (chemische Industrie u.a.)

Ausbeutung von Naturschätzen

- Ölförderung aus Sandstein und Schiefer
- Extraktion mineralischer Rohstoffe

Reduzierung von Umweltbelastungen

- Kompostierung und Entgiftung von Abfällen (z.B. Kläranlagen)
- Behandlung toxischer Industrieabfälle
- Minderung der Gefahren durch Ölunfälle

Bioelektronik

Datenbanksysteme, von denen wesentliche Gendaten online abrufbar sind

Biosensoren

Kombinierte biologische und elektronische Messfühler, Voraussetzung der online Steuerung von Fermentationsprozessen

"Biochips"

Mikrochips auf Grundlage biologischer Substanzen

3.3 Anwendungsbereich Humangenetik

Genomanalyse

Die Analyse des Erbguts, und hier insbesondere die des menschlichen Erbguts, hat zum Ziel, die biologische "Funktionsweise" des Menschen aufzuklären. In einem ersten Schritt soll das gesamte Genom des Menschen Buchstabe für Buchstabe entziffert werden (ein weltweites Unterfangen, organisiert durch die Human Genome Organisation HUGO), in der Hoffnung, so ein weiterreichendes Verständ-

nis dafür zu entwickeln, welche Abschnitte des Erbguts für welche Eigenschaften des Menschen verantwortlich sind - und sie dann zu patentieren. Nutznießer eines derartigen, ethisch durchaus fragwürdigen Patents auf menschliches Erbgut ist dann nicht etwa der Mensch, von dem das Erbgut stammt, sondern vielmehr der Wissenschaftler, der die entsprechenden Zellen isoliert und analysiert hat. Dies gilt insbesondere für das Human Diversity Project, in dessen Rahmen versucht werden soll, von Völkern und Stämmen, deren Ausrottung als unvermeidlich angesehen wird, Erbgutkataloge und Genbanken zu erstellen, bevor diese "biologische Resource" "verlorengeht".

Es geht darum, wichtige Informationen von "Leerseiten" im "Buch des Lebens" zu unterscheiden, Zusammenhänge zu verstehen und die komplexen Wechselwirkungen im menschlichen Körper zu entschlüsseln. Dazu zählen auch die unterschiedlichen Krankheitsresistenzen verschiedener Völker, die z.B. im Rahmen des Diversity Projects erhoben werden sollen. So verdienstvoll dieses Bemühen vom therapeutischen Standpunkt sein kann, so gefährlich ist die zu beobachtende Tendenz, die Eigenschaften eines Menschen mit den Charakteristika seiner Gene gleichsetzen zu wollen: er wird so zur "Bio-Maschine" und seine Gene zur Software, zu einem Lebensprogramm, dem der Einzelne schicksalhaft ausgeliefert ist. (). Der Mensch als Individuum geht dabei ebenso verloren wie der Mensch als Kulturwesen, das einen unbestreitbar vorhandenen Trieben nicht willenlos folgt.

Derartige Auffassungen erlauben es, jedwede Folgen der Interaktion von Mensch und Umwelt ausschließlich dem Menschen anzulasten, der eben die "falschen Gene" gehabt habe; diese Individualisierung kollektiv produzierter Risiken paßt gut in den in vielen Staaten Westeuropas zu beobachtenden Prozeß der schleichenden Aushöhlung der Solidargemeinschaften von Krankenversicherung, Rentenversicherung etc. Wenn nicht mehr der gefährliche Arbeitsstoff für die Berufskrankheit verantwortlich ist, sondern die empfindlichen Gene, wenn nicht mehr der Ausgleich von Gesundheitsrisiken über die Krankenversicherung erfolgt, sondern wenn jedermann /jede Frau nach genomanalytisch ermittelter Anfälligkeit tarifmäßig eingestuft wird, wenn nicht mehr die Reduzierung der Umweltbelastungen für die Gesamtbevölkerung, sondern das Abschieben empfindlicher Bürger in "Reinluftgebiete" zum Ziel wird (so im Programm "Prädiktive Medizin" der EG-Kommission und ansatzweise auch im Enquete-Bericht des Deutschen Bundestages), wenn im Strafverfahren nicht mehr allein die vorhandenen Tatbeweise, sondern auch die genetisch ermittelte Kriminalitätsanfälligkeit über die Schuldigsprechung entscheiden, dann würde wahr, was Kritiker heute befürchten: Der schon vorgeburtlich genomanalytisierte Mensch, die Erbgutkarte auf dem Mikrochip eingebaut in den maschinenlesbaren Personalausweis, dem Wohnort, Ausbildung, Arbeitsplatz und Urlaubsort von einer wohlmeinenden Gesundheitsverwaltung zugewiesen werden. Der Mensch würde vom Produkt der Gene zum Sklaven der Genetiker.

Diesen Horrorvisionen stehen gleichzeitig große Hoffnungen gegenüber: Gelingt es, die Auswirkung von Arbeitsstoffen auf die menschliche Gesundheit kausal zu erforschen, so können Grenzwerte festgelegt werden, die die Sicherheit der Beschäftigten garantieren, oder - wenn dies nicht möglich ist - Ersatzstoffe vorgeschrieben werden. Gesundheitlich anfällige Menschen könnten rechtzeitig gewarnt, mit Ernährungs- und Verhaltensempfehlungen versehen werden. Medikamente könnten für bestimmte Krankheiten "maßgeschneidert" werden, andere Krankheiten könnten, erstmals verstanden, auch erstmals kausal therapiert werden.

In Anbetracht dieser immensen Chancen wie Risiken sollte eine umfassende, präzise und jeglichen Mißbrauch ausschließende gesetzliche Regelung selbstverständlich sein. Diese ist allerdings bisher nicht erfolgt. Stattdessen hat der Arbeitsminister durch Novellierung nachgeordneter Verordnungen inzwischen dem Einsatz der Genomanalyse in der Arbeitswelt Tor und Tür geöffnet, mit der Begründung, die genannten Chancen könnten sonst nicht gewahrt werden. Daß ein anderes Modell denkbar und - politischen Willen vorausgesetzt - auch immer noch machbar ist, soll im folgenden skizziert werden:

Grundsätze

Prinzipiell sollte die Genomanalyse nur nach einer vorherigen genetischen Beratung erfolgen dürfen und freiwillig stattfinden (mit Einschränkungen für die Genomanalyse im Strafverfahren), datenschutzrechtliche Überlegungen und das Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung machen sowohl ein Recht auf Wissen wie auch ein Recht auf Nicht-Wissen erforderlich. Die Handhabung dieser sensiblen Daten ist ohne die Mitwirkung der Datenschutzbeauftragten nicht zu verantworten, Art,

Umfang und Durchführung der Erhebung sind rechtskräftig zu regeln. Dabei ist insbesondere festzulegen, daß eine Gewinnung von genetischen Daten nur nach vorheriger informierter Zustimmung des/der Betroffenen geschehen darf und daß die Verwendung von Daten an den mit ihrer Erhebung vorgesehenen Verwendungszweck gebunden bleibt. Nur die Zweckbindung einmal erhobener Daten kann die "genetische Rasterfahndung" verhindern.

Dazu kommt, daß strenge Ansprüche sowohl an die Qualifikation und interdisziplinäre Zusammensetzung des Beratungs- und Genomanalysepersonals gestellt werden müssen als auch eine Beschränkung auf nachweislich aussagekräftige Methoden.

Das Ausgangsmodell:

Die gesetzlich verankerten zwei Schritte, Beratung und Genomanalyse, finden in getrennten Institutionen statt:

- Die Teilnahme an einer genetischen Beratung ist freiwillig; sie ist aber Voraussetzung für die Teilnahme an einer Genomanalyse. Die Beratung ist ebenso wie die Genomanalyse von einem interdisziplinären Team durchzuführen, das außer betroffenen medizinischen Fachleuten auch Vertreter des Datenschutzbeauftragten, der Gewerkschaften, der Berufsgenossenschaften, Ethiker/Theologen, Vertreter von Arbeitgebern und Umwelt- und Verbraucherverbänden, Frauenorganisationen, Behindertenverbänden u.ä. hat. Die einzelnen Kommissionen sind nach Betroffenheit zusammenzusetzen; Fachmediziner, Ethiker und Datenschützer sollten in jedem Fall vertreten sein. Um diese Bedingungen zu gewährleisten, werden genetische Beratungsstellen in öffentlicher Trägerschaft eingerichtet. Nur sie und gleichwertige, unabhängige und staatlich anerkannte Zentren haben das Recht, genetische Beratung insbesondere als Voraussetzung einer Genomanalyse durchzuführen.
- Genomanalysen werden nur an anerkannten, humanmedizinischen Instituten durchgeführt, die über ein qualifiziertes interdisziplinäres Team verfügen müssen (entspricht Forderungen der Enquete-Kommission für Pränatalanalysen). Die humangenetischen Institute müssen unabhängig sein, d.h. insbesondere Interessenkollisionen durch Personalunion von Beratungs- und Untersuchungspersonal oder z.B. die Mitwirkung von Betriebsärzten betroffener Arbeitnehmer sind auszuschließen. Die Ergebnisse der Genomanalyse werden dem/der Betroffenen persönlich ausgehändigt, ein Exemplar bleibt zu Dokumentationszwecken im humangenetischen Institut. Die Nutzung der Ergebnisse und ihre elektronische Speicherung und Verarbeitung ist dann und nur dann gestattet, wenn sie in Form einer anonymisierten, nicht wieder re-identifizierbaren Auswertung erfolgt. Betriebsübergreifende, anonymisierte Ergebnisse können eine wichtige Grundlage epidemiologischer Studien und damit der Arbeitsmedizin darstellen.
- In dem entsprechenden Gesetz sind Verordnungen vorzusehen, die die Art der zulässigen genomanalytischen Verfahren und Tests für die verschiedenen Anwendungsbereiche getrennt darstellen. Dabei ist sowohl die Qualifikation des Untersuchungspersonals als auch ein qualitativer Anspruch an die Zuverlässigkeit und Aussagekraft der Untersuchungen gesetzlich zu verankern, allein schon um dem Bestimmtheitsgebot für Gesetze Genüge zu tun. Die Verordnungen enthalten dann Auflistungen von Tests, die regelmäßig dem wissenschaftlichen Fortschritt angepaßt werden können. Dabei ist ein ausufernder Datenüberschuß zu vermeiden. Die Anpassung der Listen sollte erst nach öffentlicher Anhörung der beteiligten Kreise (die in den Beratungs- und Untersuchungsgremien vertretenen Gruppen, Fachjuristen, Behördenvertreter) sowie nach Information der zuständigen Ausschüsse des Bundestages geschehen. Mit dieser Konstruktion soll versucht werden, die technischen Detailfortschreibungen der Verwaltung zu überlassen, jedoch eine parlamentarische Kontrolle administrativer Grundsatzveränderungen zu gewährleisten, denen ggf. mit parlamentarischen Initiativen gegengesteuert werden könnte.

Sonderregelungen

Präkonzeptionelle Genomanalyse

Die Anwendung genomanalytischer Verfahren auf Gameten (Eizellen, Spermien) sollte grundsätzlich untersagt sein, da ein direkter medizinischer Nutzen nicht besteht.

- Befruchtete Eizellen bzw. im Rahmen einer In-vitro-Fertilisation vom Embryo abgespaltene totipotente Zellen sollten einer Genomanalyse nicht unterworfen werden dürfen. Der versprochene medizinische Nutzen liegt hier in der "Qualitätsüberprüfung" des in vitro gezeugten Embryos, was die Möglichkeit einer eugenischen Selektion eröffnet. Wenn die Selektion "erbgesunden" Lebens, die Nachfrage nach "Qualitätsbabys mit Garantie" unterbunden werden soll, muß an diesem Punkt eingesetzt werden. Dazu kommt die Tatsache, daß die Wahrscheinlichkeit, ein behindertes Kind zu gebären, nur geringfügig herabgesetzt werden kann (teils weil viele Behinderungen nicht genetisch bedingt sind, teils weil chromosomale Anomalien in der Regel die Nidation des Embryos verhindern). Gleichzeitig besteht die Gefahr, daß der (gesunde) Embryo durch die Zellabspaltung nachhaltige Schäden erleidet. Sollte die Abwägung von Nutzen und Risiken in den vorher genannten Punkten bereits dazu führen, der präkonzeptionellen Genomanalyse skeptisch gegenüber zu stehen, so führt die Tatsache, daß hier mit totipotenten Zellen experimentiert wird, zur Forderung eines definitiven Verbots. Die Entnahme einer totipotenten Zelle aus einem Embryo ist in der Veterinärmedizin Stand der Technik - allerdings zum Zwecke der Klonierung von Hochleistungstieren. Die entnommene totipotente Zelle stellt also einen eineiigen Zwilling des zu implantierenden Embryos dar, mit einem vollständigen menschlichen Entwicklungspotential. Einen Zwilling jedoch drittützig zur Qualitätsüberprüfung seines Geschwisters zu nutzen, ist nicht akzeptabel.

Pränatale Genomanalyse

- In die genannte Verordnung wird eine Positivliste der zulässigen Diagnosen aufgenommen. Sie enthält die und nur die Untersuchungen, bei denen im Falle eines positiven Befunds die Fortsetzung der Schwangerschaft nach den Kriterien des § 218 Strafgesetzbuch (soweit sachlich zutreffend) nicht zumutbar ist. ()

Der Mutter ist mitzuteilen (ggf. auch dem Vater - in welchen Fällen müßte geprüft werden):

- die Art der Krankheit und/oder Veranlagung,
- die wahrscheinlichen/möglichen Krankheitsverläufe, Therapiemöglichkeiten, -chancen und -alternativen.

Die Mitteilung der Ergebnisse hat vollständig zu erfolgen, ohne eine zeitliche Verzögerung beim Mitteilungsdatum.

Genomanalyse an Neugeborenen

Eine Untersuchung von Neugeborenen soll auf solche Krankheiten erfolgen, bei denen der präventive Nutzen einer Früherkennung gegeben ist und durch eine Untersuchung bei Auftreten der ersten Symptome nicht gleichwertig erfüllt werden kann. Dies ist in der Positivliste der Verordnung festzulegen. Voraussetzung für die Untersuchung ist die Zustimmung der Mutter nach Beratung, die in diesem Fall ggf. durch das bei der Einlieferung ins Krankenhaus ausgehändigte Merkblatt als erfüllt gelten kann. Diese Ausnahme vom allgemein geltenden Zwei-Säulen-Modell bedarf einer gesetzlichen Verankerung. Wenn schon die erste Säule des Grundmodells drastisch reduziert wird, um in Anbetracht der Dringlichkeit von Untersuchungen an Neugeborenen und der besonderen Lage der Mutter nicht Zeitverzögerungen zu verursachen, die therapeutisch relevant sein könnten, muß auf die Einhaltung der Qualifikationsmaßstäbe und interdisziplinären Zusammensetzung in der zweiten Säule strikt geachtet werden. Das Genomanalyse-Team des betreffenden Krankenhauses muß den gesetzlichen Anforderungen an humangenetische Beratungsstellen entsprechen. Darüber hinaus ist diese Gruppe in datenschutzrechtlicher Hinsicht als eigenständige, nicht dem Krankenhaus zugehörige Einheit zu betrachten (kein Datenverbund), ihre Aufbewahrungs- bzw. Verschwiegenheitspflicht entspricht ebenfalls der einer humangenetischen Beratungsstelle.

- Eine Übernahme der Kosten der Genomanalyse an Neugeborenen durch die Krankenkasse ist anzustreben.
- Nicht-Mündige (Jugendliche und Entmündigte)
- Eine Freiwilligkeit der Untersuchung kann in diesem Falle nicht gegeben sein; die Entscheidung obliegt den Erziehungsberechtigten/Vormündern. Bei Bewertung dieses Bereichs ist die notwendige Novellierung des Entmündigungsrechts zu berücksichtigen.

- Voraussetzung für eine Genomanalyse ist die Zustimmung der Erziehungsberechtigten/der Vormünder nach Beratung. Das Prozedere folgt dem Grundmodell; der Befund wird an die Erziehungsberechtigten/Vormünder ausgehändigt.

Genomanalyse an Erwachsenen

Bei mündigen Erwachsenen muß die vorherige Zustimmung der Betroffenen nach Beratung eingeholt werden; dies entspricht dem Prinzip des "prior informed consent". Die Beratung muß unabhängig und nicht-direktiv erfolgen.

Ökogenetik

Das Ziel darf nicht die Anpassung des Menschen an eine belastete Umwelt sein, deshalb sind derartige Untersuchungen nur zu empfehlen bei Reisen in fremde Erdteile etc., also im Blick auf Situationen, in denen ein Mensch mit einer ihm "fremden Ökologie" konfrontiert wird. Die Durchführung folgt dem allgemeinen Modell.

Genomanalyse zu Forschungszwecken

Die Anonymisierung der Daten hat, wie in der Einleitung beschrieben, zu erfolgen; dies gilt für Zwecke der Forschung im Bereich Ökogenetik, Arbeitsmedizin, Pharmakogenetik usw.

Pharmakogenetik

Hinweise auf die Beratungsmöglichkeiten (ggf. über die Kasse bezahlt) sollten durch Ärzte und Krankenhäuser (Merkblatt) gegeben werden (z.B. wegen Penicillin-Allergien und ähnlichem).

Genomanalyse im Versicherungswesen:

Auch hier geschieht die Weitergabe der Daten grundsätzlich freiwillig; das Fragerecht der Versicherung muß jedoch begrenzt werden auf:

- akute oder nach Wissen des Betroffenen demnächst ausbrechende Krankheiten sowie
- versicherungsrechtlich relevante, akut oder absehbar notwendige Vorbeugemaßnahmen.

Dies bedeutet, daß Genomanalyse im Versicherungswesen, insbesondere im Bereich der Krankenversicherung, nicht für die Erforschung von Dispositionen eingesetzt werden darf, die in weiterer Zukunft oder nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine ausbrechende Krankheit signalisieren. Diese Beschränkung der Anzeigepflicht für genetische Risikofaktoren gilt ebenfalls für den Bereich der Lebensversicherung. Wird die Anzeigepflicht des Versicherungsnehmers für ihn bekannte, demnächst ausbrechende Krankheiten von diesem verletzt, so erlischt der Versicherungsschutz, sofern der Ausbruch der Krankheit innerhalb von fünf Jahren nach Abschluß des Versicherungsvertrages erfolgt. Die Versicherung ist zur Weitergabe von Gesundheitsdaten an Dritte nur insoweit ermächtigt, als das im Einzelfall vom Versicherungsnehmer bzw. vom Antragsteller explizit genehmigt worden ist.

Genomanalyse an Arbeitnehmern/innen:

Die Untersuchung erfolgt freiwillig und im Rahmen des in der Einleitung genannten Prozedere. Ein Exemplar des Untersuchungsergebnisses wird dem Arbeitnehmer/der Arbeitnehmerin ausgehändigt. Das Fragerecht des Arbeitgebers (und damit auch des Betriebsarztes) wird bei Einstellung wie bei Folgeuntersuchungen begrenzt auf die Erhebung des gegenwärtigen körperlichen Gesundheitszustandes. Zum Zwecke arbeitsmedizinischer Forschungen sind die anonymisierten Daten der humangenetischen Institute zu verwenden. Dies reicht aus, Berufskrankheiten nachzuweisen, sobald der statistische Nachweis anstatt des kausalen Nachweises im Einzelfall als Nachweismethode rechtlich verankert ist. Eine genetische Analyse kann vom Arbeitgeber nicht angeordnet werden, da die Freiwilligkeit der Teilnahme an der Untersuchung bestehen bleibt. Eine Verfügung des Arbeitgebers über die Daten der Genomanalyse ist genau dann möglich, wenn die Herausgabe der Daten durch den Arbeitnehmer erfolgt und der Arbeitgeber gleichzeitig diese rechtswidrig zur Kenntnis nimmt. Ein derartiges Verhalten des Arbeitgebers ist strafrechtlich zu bewahren.

Genomanalyse im Strafverfahren

Der Anwendungsbereich ist streng zu beschränken, da es sich hier um einen Fall handelt, in dem eine genetische Auskunftspflicht besteht und damit der Grundsatz der Freiwilligkeit aufgehoben ist. Gefragt werden darf auf richterliche Anordnung nach verfahrenserheblichen Tatsachen in Fällen von begründetem Tatverdacht. Das Original des genomanalytischen Befundes wird nicht wie sonst dem Betroffenen ausgehändigt, sondern ihm lediglich zur Kenntnis gegeben und verbleibt - ohne elektronische Speicherung - bei den Ermittlungsakten bzw. den Prozeßakten des Gerichts und wird ggf. mit diesen vernichtet. In Analogie zu der sonst stattfindenden freiwilligen Beratung erfolgt eine Überprüfung der gerichtlich angeordneten Genomanalyse durch eine Kammer der genetischen Beratungsstelle, der auch ein/e Strafverteidiger/in und ein/e Datenschutzbeauftragte/r angehören müssen.

Genomanalyse für militärische Zwecke:

Die Anwendung der Genomanalyse zu militärischen Zwecken jedweder Art ist zu verbieten und unter Strafandrohung zu stellen.

Gentherapie

Es ist inzwischen unbestritten, daß viele, wenn nicht die meisten körperlichen und geistigen Eigenschaften des Menschen zu einem bestimmten Anteil genetisch bedingt sind - die Wechselwirkung von genetischen Charakteristika und Umwelteinflüssen bestimmt die Entwicklung jedes Menschen. Was aber in jedem Einzelfall der dominierende Faktor ist, die genetische Disposition oder die Umwelteinflüsse, ist stark umstritten. So sind echte Erbkrankheiten wie z. B. das Fehlen bestimmter Blutgerinnungsfaktoren (Bluterkrankheit) vollständig genetisch verursacht, die Anfälligkeit für bestimmte Schadstoffe hängt nicht nur von der Gefährlichkeit des Schadstoffs als solchem ab, sondern auch von der Leistungsfähigkeit des körpereigenen Entgiftungs- und Reparatursystems, und auch Verhaltenseigenschaften können zu einem - wenngleich geringen - Anteil erblich beeinflusst sein. Weit überzogen ist es allerdings, wenn Wissenschaftler/innen Intelligenz, Kriminalität und asoziales Verhalten aus den Genen herleiten wollen; sogar ein "Seitensprung-Gen" ist angeblich schon entdeckt worden. Hier zeigt sich die verhängnisvolle Tendenz, den Menschen in einer biologistischen Reduktion nur noch als Produkt seiner Gene zu verstehen - eine Vorstellung, die in enger Verwandtschaft zum Sozialdarwinismus und dem Gedankengut der Rassenlehre des Nazismus steht, der ganz Europa nicht nur be-, sondern auch durchsetzt hatte.

Die Frage nach der Bedeutung des genetischen wird an zwei Punkten im Bereich der Gentherapie essentiell, wenn festgestellt werden muß was normale menschliche Vielfalt und was therapiebedürftig ist, sowie bei der Auswahl der geeigneten Therapieform: Gentherapie, medizinische Behandlung oder Psychotherapie. Die beiden meistdiskutierten Formen der Gentherapie sind die somatische und die Keimbahn - Therapie.

Somatische Therapie

Die somatische Gentherapie besteht darin, gestörtes oder fehlendes Genmaterial in einem Organ, nicht aber in den Keimdrüsen durch gentechnisch "reparierte" Zellen zu ersetzen. Diese Reparatur ist nicht vererblich.

Das Verfahren besteht in der Regel darin, schadhafte Zellen per Punktation dem Körper zu entnehmen, sie *in vitro* zu vermehren und anschließend die defekten oder fehlenden Gene zu ersetzen. Dann werden die normal funktionstüchtigen Zellen selektiert und in den Körper des Patienten eingebracht. Um die Wirksamkeit der Operation zu gewährleisten müssen die defekten Körperzellen entfernt oder abgetötet werden, so daß die wenigen manipulierten Zellen sich vermehren können und so die körperliche Fehlfunktion beseitigt wird.

Die Schwere dieses Eingriffs ist mit einer Organtransplantation vergleichbar und die Entscheidung für einen solchen Eingriff (noch dazu mit einer relativ unzuverlässigen Erfolgsaussicht) sollte nach ähnlichen Kriterien getroffen werden. Insbesondere die Fälle eines balancierten Polymorphismus (wenn die verschiedenen möglichen Genkombinationen auf unterschiedliche Weise nützlich und schädlich sein können) bedürfen einer genauen Einzelfallprüfung. Es handelt sich also keineswegs um einen leichten oder gar regelmäßig anzuwendenden kosmetischen Eingriff, sondern um eine Behandlung, die folgenreich, selten anwendbar und schwierig, in diesen wenigen Fällen aber auch anzuraten ist.

Keimbahntherapie

Die Keimbahntherapie funktioniert in ihrer Grundmethode ähnlich wie die somatische Therapie, richtet sich aber auf die Vermehrungsorgane, um vererbare Heilungen oder "Verbesserungen" zu erreichen

In diesem Bereich gehen die Emotionen verständlicherweise hoch, sehr hoch. Sprechen die Kritiker von einer neuen Versklavung der Menschen, so haben die Wissenschaftler die Totalanalyse des menschlichen Genoms als "Manhattan-Projekt der Biologie" bezeichnet (Man entsinne sich: Manhattan-Projekt war der Codename für die Entwicklung der ersten Atombombe), andere sprechen vom "heiligen Gral der Biotechnik". Die Ursache für dieses Hochschlagen der Emotionen ist leicht zu verstehen - es geht um das Bild vom Menschen, das in den nächsten Jahrzehnten prägend sein soll. Dieser Streit ist jedoch keine wissenschaftliche Auseinandersetzung, sondern in erster Linie eine hoch politische. Die biologische Verschiedenheit der Menschen soll genutzt werden, um Gleichheitsvorstellungen, insbesondere der Chancengleichheit, zu diskreditieren. Dieser Aspekt der Gentechnik, die Veränderung des Bildes vom Menschen und vom Leben allgemein ist vielleicht der riskanteste überhaupt. Denn wer den Menschen nach seinem Erbgut bewerten will, muß Wertungskriterien aufstellen, muß zwischen normal und anormal, zwischen gesund und krank, zwischen brauchbar und unnützlich unterscheiden. Damit sind ganz zentrale ethische Fragen berührt: Was ist der Wert des Individuums? Woran macht sich, allgemeiner, der Wert des Menschen fest? Kann es so etwas wie Qualitätsvorstellungen für Menschen überhaupt geben? Wer stellt fest und mit welcher Legitimation, was "normal" ist? Solange in unserer Gesellschaft "Wert" etwas mit "Verwertbarkeit" zu tun hat, ist eine derartige Entwicklung gefährlich. Hier kann jedoch nicht mit gesetzgeberischen Mitteln entgegengewirkt werden; eine gesellschaftliche Werteverchiebung kann nur durch gesellschaftliche Diskussionen beeinflusst werden. Deshalb sind alle Betroffenen - Parteien, Kirchen, Gewerkschaften, Umweltverbände, Tierschützer, Frauenverbände u.a. - aufgerufen, sich an der Debatte zu beteiligen. Aufgabe der Politik müßte sein, diesem gesellschaftlichen Diskurs Raum zu geben, ihn zu fördern und voranzutreiben; erst wenn weder das Fortschrittsverständnis der Wissenschaft noch das Menschenbild der Religionen tabu sind, sondern Vertreter beider und aller anderen Richtungen sich in Richtung auf einen gesellschaftlichen Konsens bewegen, ist ein verantworteter Einsatz der Genomanalyse machbar.

3.4 Anwendungsbereich halboffene Systeme: Industrielle Nutzung

Die biologische Stoffumwandlung durch gentechnisch manipulierte Organismen in geschlossenen Anlagen wird insbesondere für die pharmazeutische, die Chemie- und die Lebensmittelindustrie diskutiert. Die Produktion erfolgt in halboffenen Anlagen, da die derzeitige Rechtslage nicht mehr einen Abschluß der Produktionsanlagen von der Umwelt erforderlich macht, sondern in der untersten Sicherheitsstufe, d.h. für 90% der Produktionsanlagen lediglich eine Minimierung der Austrittsmengen fordert. Die biologischen Sicherheitsmaßnahmen jedoch, auf die man sich in diesen Fällen verläßt, greifen ebenfalls nicht vollständig. Die mangelnde genetische Stabilität von (nicht nur) gentechnisch veränderten Organismen kann zu veränderten Verhaltensweisen führen; auch der Ausfall von einzelnen Genen kann das Gefahrenpotential der Mikroorganismen erhöhen. Freigesetzte Organismen können ihr Erbgut auf andere Lebewesen übertragen, die damit wieder neue, nicht berechnete Verhaltensweisen entwickeln. Deswegen scheint es sinnvoll, wann immer möglich, auf den großtechnischen Einsatz gentechnisch veränderter Lebewesen zu verzichten (insbesondere bei Säugetierzellkulturen) und statt dessen den Einsatz von nicht-vermehrungsfähigen Genprodukten, also von Enzymen, vorzuziehen. Allerdings erfolgt die industrielle Nutzung der Gentechnik in der Regel mit gut bekannten Stämmen und Produkten (insbesondere bei Mikroorganismen ist auch das Erbgut meist gut bekannt), so daß das Risiko vergleichsweise gut abschätzbar und handhabbar erscheint. Die notwendigen Arbeitsschutzmaßnahmen sind nicht neu; aus der Impfstoffproduktion unter Nutzung von Krankheitserregern ergibt sich hier ein großer Erfahrungsschatz.

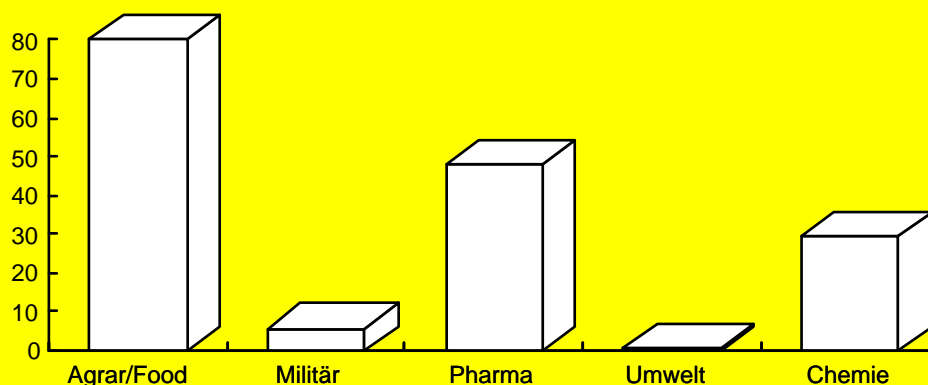
Weitere mögliche Risiken gibt es sowohl bei der Produktsicherheit (die Wirkung körpereigener, besser gesagt: körpereigener Stoffe vollständig vorherzusagen fällt ebenso schwer wie die Prognose allergener Wirkungen von Nahrungsmittelzusätzen), durch Mißbrauchsmöglichkeiten (z.B. von gentechnisch hergestellten Signalsubstanzen des Gehirns) sowie durch rechtliche oder technische Lücken in den oben genannten Sicherheitsmaßnahmen.

Pharma - Industrie und Gesundheitswesen

Ziel der forcierten Anwendung der Gentechnik in der Pharmaindustrie ist die Entwicklung neuer Medikamente zur Heilung bisher unheilbarer Krankheiten, verbesserte (d.h. nebenwirkungsärmere oder spezifischere) Wirkung und/oder verbilligte Produktion bereits existierender Therapeutika. Zusätzlich sollen neue Diagnostika Analysen sicherer und schneller machen, auch in den Staaten des Südens.

Selbst im Pharmabereich, dem wichtigsten Markt der Gentechnik, sind die Hoffnungen, die in die Gentechnik gesetzt werden, häufig übertrieben: Einerseits handelt es sich zum Teil nur um ein neues Produktionsverfahren für bereits vorhandene Produkte (z. B. Insulin), zum anderen sind ein Teil der Produkte in ihrem Wirkungsspektrum mit konventionell hergestellten vergleichbar (tPA / Prothrombin / Streptokinase) oder in ihren Anwendungsmöglichkeiten weitgehend unklar (z. B. Interferone). Relevante therapeutische Fortschritte wird es erst dann geben, wenn das Immunsystem des Menschen so vollständig verstanden ist, daß es gezielt unterstützt werden kann. Die gesamte gentechnische Forschung im Pharma bereich konzentriert sich heute auf Stoffe des Immunsystems, Blutbestandteile und Hormone.

Auch in diesem Marktsektor, der für die nächsten 10 bis 15 Jahre noch rund 90% der Gentechnik-Umsätze ausmachen wird, wird das Marktpotential häufig überschätzt. Im Jahre 2000 wird der Weltumsatz mit gentechnisch erzeugten Produkten ca. 20 Milliarden US-Dollar betragen - davon entfallen überschlägig knapp 5 Milliarden Mark auf die Bundesrepublik (Umsatz inklusive Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz, Medizin, Chemie, Biosensoren usw.). Verglichen mit einem Gesamtumsatz der chemischen Industrie von heute rund 150 Milliarden DM pro Jahr ist der Beitrag der Gentechnik nicht nur keine Existenzfrage, sondern mit einer Größenordnung von rund 2% geradezu marginal.



Biotechnik-Weltumsatz 2010, nach SAGB, Brüssel 1993

Auch die Hoffnung auf neue, innovative Arbeitsplätze erweist sich als weitgehend illusorisch. Gentechnische Produktionen erzeugen Substanzen mit hoher Wertschöpfung in kleinen Mengen in hochautomatisierten Prozessen. Deshalb wird der Arbeitsplatzeffekt, wenn überhaupt nachweisbar, dann verschwindend gering sein. Dagegen sind bei Ausweitung der Produktion auf sonstige Feinchemikalien Rationalisierungseffekte zu erwarten. Langfristig (d.h. nach dem Jahre 2005 bis 2010) wichtiger

dürfte im Pharmabereich die aufgrund genanalytischer Erkenntnisse mögliche Entwicklung neuer, synthetischer Pharmaka werden. Durch die Reinraumproduktion neuer Pharmaka wird sich nicht die Anzahl, wohl aber die Qualität der Arbeitsplätze dramatisch ändern.

Die Hauptbedeutung der Gentechnik im Gesundheitssektor liegt wahrscheinlich darin, daß Lücken im vorhandenen Pharmaangebot geschlossen werden können und bisher nicht behandelbare Krankheiten einer Therapie zugänglich werden, denn man erwartet, daß jeder zweite neu auf den Markt kommende Wirkstoff aus den Gentechniklabors stammen wird. Obwohl also der Nutzen für die Volkswirtschaft oder die Arbeitsplatzbilanz eher begrenzt sein werden, darf doch die mögliche Hilfeleistung für Kranke nicht unterschätzt werden. Hier geht es nicht um Globalbilanzen, sondern darum, daß einzelnen, persönlich Betroffenen, geholfen werden kann. Einzelschicksale einem "Pauschalverdacht" gegen die Gentechnik zu opfern ist ethisch genauso unverantwortlich wie pauschale Unschuldserklärungen für die neue Technologie.

Schon seit Jahren wird weit über die Hälfte des Gentechnik-Pharmaumsatzes nicht mit neuen Medikamenten, sondern mit Diagnostika (meist Test-Sets mit monoklonalen Antikörpern, wie zum Beispiel der HIV-Test) gemacht. Dieser Trend wird langfristig anhalten und sich nach dem Jahre 2020 noch verstärken, wenn der weltweite Umsatz mit gentechnisch hergestellten Pharmazeutika wieder drastisch absinkt. Diese Tests, die erlauben, den aktuellen Gesundheitszustand billig, schnell und zuverlässig anhand vorher festgelegter Parameter zu bestimmen, eröffnen die Möglichkeit, flächendeckend eine regelmäßige Überprüfung des Gesundheitsstatus durchzuführen. Die Auswertung der Gesundheitstests, die dann nicht nur beim Arzt, sondern privat zu Hause vorgenommen würden, könnte unter Ausnutzung der neuen Möglichkeiten der Datenfernübertragung in expertensystemgestützten Zentralrechnern des Gesundheitswesens stattfinden, von denen dann entsprechende Präventionsmaßnahmen zum Schutz der Volksgesundheit entworfen würden.

Dieses von der OECD entworfene Szenario ist auch die Grundlage für das umstrittene Forschungsprogramm zur "Prädiktiven Medizin" der EU, das 1988/89 insbesondere in Deutschland ähnlich umstritten war wie die Bioethik-Konvention des Europarats 1994, und zwar aus ähnlichen Gründen (eugenische Argumentation). Gesundheitsbewußtsein und Vorsorgeorientierung der Bürger/innen werden in solchen Programmen ausgenutzt, um die ethischen Grenzen der Forschung aufzuheben (und in der Praxis die Ausweitung des Pharmamarktes voranzutreiben). Die dabei vorgesehene flächendeckende Anwendung biologischer Tests erzwingt parallel die Entwicklung von automatisierter Ausrüstung und von Software zur Verarbeitung der so gewonnenen Daten. Daraus ergibt sich ein Trend zur stärkeren Integration von Biotechnologie, Mikroelektronik und Telekommunikation .

Wenn sich die Pharmaunternehmen nicht ebenfalls in diesen Sektoren betätigen, so die OECD, könnte es leicht sein, daß sie von Elektronikfirmen verdrängt werden, die im starken Wachstumsmarkt der Gesundheitsvorsorge aufgrund ihrer Erfahrung mit integrierter Systemanwendung einen Konkurrenzvorteil haben könnten. Pharmaprodukte wurden dann lediglich als externe Zulieferungen für die Gesundheitsindustrie benötigt.

Eine derartige, von der OECD prognostizierte Entwicklung hätte erhebliche Veränderungen sowohl im bestehenden Sozialversicherungssystem als auch in den meisten öffentlich getragenen Gesundheitssystemen zur Folge; ein verstärkter Trend zur Privatisierung von Gesundheitsdienstleistungen wäre wahrscheinlich.

Chemische Industrie

Gentechnik in der chemischen Industrie soll dazu dienen, die Entwicklung von neuen Chemieprodukten, die bei Herstellung und Entsorgung als biologisch abbaubare Stoffe keine Probleme mehr bereiten und die z.T. aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden.

Die Hoffnung auf eine Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der Chemieindustrie durch Gentechnik, insbesondere gegenüber den über billiges Erdöl als Rohstoff und Energieträger verfügenden Staaten Arabiens und des Fernen Ostens, gründete sich auf die unterschiedlichen technischen Charakteristika der biotechnischen gegenüber der klassischen chemisch-synthetischen Produktion:

1. Geringerer Energieaufwand und Arbeit unter niedrigerem Druck führen zu Energieersparnis und verringertem Unfallrisiko.
2. Die Fähigkeit von Enzymen, als Biokatalysatoren bis zu 10.000 mal schneller und viel spezifischer chemische Prozesse zu steuern als herkömmliche Katalysatoren verkürzt die Produktionszeiten und reduziert die Menge (unerwünschter) Nebenprodukte erheblich.
3. Biotechnisch können Naturstoffe nachgebaut werden, an denen die synthetische Chemie bisher scheitert. Gentechnik ermöglicht zusätzlich deren Modifikation nach anwendungsspezifischen Anforderungen.
4. Die Nutzung regenerierbarer Rohstoffe ermöglicht die Herstellung von (zumindest im Prinzip) biologisch abbaubaren Produkten, die dann allerdings meist nicht mehr recyclingfähig sind. Der Bezug dieser Rohstoffe aus europäischer Produktion macht von Weltmarkt-Preisschwankungen unabhängig und erhöht die Versorgungssicherheit.
5. Gentechnik eröffnet neue Rationalisierungsmöglichkeiten durch einstufige Prozeßführung statt chargenweiser Produktion durch Integration mehrerer Prozeßschritte in einen Mikroorganismus. Bisher erforderliche Zwischenschritte der Trennung und Aufreinigung könnten entfallen oder zumindest stark reduziert werden.

Die ökonomischen wie ökologischen Auswirkungen der Anwendung von gentechnisch veränderten Organismen in der Chemieproduktion werden jedoch allein deswegen noch längere Zeit marginal bleiben, weil innerhalb der nächsten 5 - 10 Jahre mit einer großmaßstäblichen Produktion von Feinchemikalien (außer Enzymen) durch gentechnisch veränderte Organismen nicht zu rechnen ist, aus Kostengründen. Die Herstellung von Grundchemikalien wird auch danach nicht konkurrenzfähig mit Biotechnik durchgeführt werden können.

Selbst in den eng begrenzten Bereichen, in denen sich die Nutzung gentechnisch veränderter Organismen als rentabel erweist, bleiben ökologischen die Auswirkungen ambivalent. Der Energieeinsparung und den gegebenenfalls entstehenden neuen, biologisch abbaubaren Produkten stünden ökologische Belastungen wie erhöhter Wasserverbrauch und stärkerer Abwasseranfall gegenüber, die eine durchgehende Produktlinienanalyse vom Rohstoff bis zur Entsorgung mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung in jedem Einzelfall notwendig machen würden. Die Marktpotentialabschätzungen der Industrieverbände erscheinen damit als recht realitätsfernes Wunschenken.

Chancenreicher erscheint dagegen die Nutzung Nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie. Bereits heute werden in der chemischen Industrie Europas 750.000 Tonnen Fette und Öle, mit 240.000 Tonnen Zellstoff sowie 100.000 Tonnen Stärke und 30.000 Tonnen Zucker eingesetzt. Derzeit kommt also jede zehnte Tonne an Chemierohstoffen aus dem landwirtschaftlichen Bereich; ein Viertel aller Ausgaben für Chemierohstoffe geht in den Einkauf von Naturstoffen (nicht nur europäische Agrarerzeugnisse, sondern auch Tropenprodukte wie Palm- und Kokosöl).

Diese enge und stetig wachsende Verbindung zu fördern, ist auch das Ziel einer Vereinbarung zwischen dem Verband der Chemischen Industrie und dem Bauernverband (Vereinbarung über Industrie-

pflanzenbau), die als Ziel die Optimierung von Wuchs- und Inhaltsstoffen der als Chemierohstoff vorgesehenen Pflanzen angibt. Als Beispiele sind zu nennen:

- Raps mit anderen Fettsäuremustern als Ersatz für Palmöl,
- Koriander, Fenchel u.ä. zur Gewinnung wertvoller Öle,
- Zuckerhirse, Topinambur und Zichorie mit höherem Ertrag als Zuckerlieferanten,
- Erbsen, Kartoffeln und andere Nutzpflanzen mit hohem Gehalt an einer einzigen Komponente der Stärke, da die Chemieindustrie nicht an einem bunten Gemisch, sondern an möglichst homogenen Rohstoffen interessiert ist,
- Ölgewinnung aus neu in Kultur genommenen Pflanzen wie Crambe; aus ihrem Öl wurde zu Testzwecken schon Nylon 1313 hergestellt.

Auf europäischer Ebene fördert nicht nur die EU diese Entwicklung, sondern auch der Verband der Europäischen Chemieindustrie (CEFIC) sieht diesem Wachstumsmarkt optimistisch entgegen. Die Absatzplanung der europäischen Chemiestrategen sieht vor, die Einsatzmengen an Agrarrohstoffen in den nächsten Jahren, spätestens bis zum Ende des Jahrhunderts deutlich zu erhöhen; so z.B. an

- Zucker von 100.000 auf 500.000 Tonnen/Jahr
- Stärke als Rohstoff der Chemie von 290.000 auf 1 Mio. Tonnen/Jahr
- als Rohstoff für andere Industriezweige von 860.000 Tonnen auf 1,6 Mio. Tonnen/Jahr
- Öle und Fette von 1,7 Mio. auf 3,5 Mio. Tonnen/Jahr.

Auf Null wurde von der EU-Kommission der Erwartungswert für Bioäthanol festgesetzt: Die Gewinnung von Alkohol als Benzinzusatz aus Nutzpflanzen ist nicht nur im globalen Maßstab eine wahre Schnapsidee (die Umwandlung der gesamten Weltjahreszuckerproduktion könnte ca. 1 Prozent der jährlichen Mineralöl- und Gasproduktion ersetzen), sondern ist bei den meisten Pflanzen auch energetisch negativ (mehr Energieverbrauch bei der Pflanzenproduktion als hinterher Energiegewinnung) und immer ökonomisch unbezahlbar. Die Kommission der EG hat diese Pläne auch entsprechend abgelehnt. Wenn jetzt auf Druck der deutschen und der französischen Regierung versucht wird, über Steuerverzicht und Subventionen den Bioäthanol-Einsatz doch noch attraktiv zu machen, so handelt es sich dabei um eine agrarpolitisch motivierte Subventionsverschleierung; mit den Anforderungen der Kunden oder gar mit ökologischen Überlegungen ist ein derartiger Schritt keinesfalls begründbar.

Landwirte, die in diese Rohstoffproduktion eingebunden sind, werden dann in eine ähnliche Situation geraten wie heute schon die Lohnmäster. Sie müssen sich vertraglich verpflichten, ein bestimmtes Produkt in einer bestimmten Qualität und Menge bis zu einem bestimmten Zeitpunkt abzuliefern - unabhängig von Regenfall, Sturm und Bodenfrösten, von Gesundheit oder Maschinenverfügbarkeit. Und damit sind weitere, die Preise nach unten drückende und deswegen vielleicht gar nicht unerwünschte Überproduktionen programmiert. Die Biotechnologie - Planungseinheit der EG formulierte als Ansprüche an den Landwirt der Zukunft: "Die Bauern werden mehr mit der Zahl der Proteine, Glukide und Lipide pro Hektar rechnen müssen als in Doppelzentner Weizen oder Hektoliter Milch." Und in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure liest sich der Alltag eines Bauern der Zukunft so:

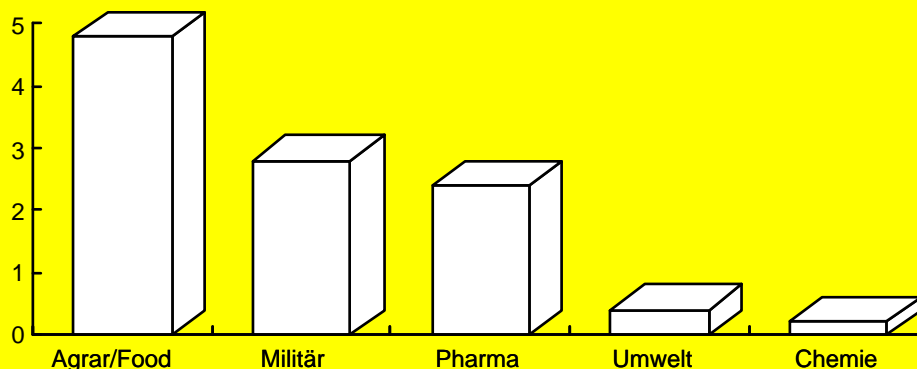
"Recht wahrscheinlich ist, daß die Biotechnologie dafür sorgen wird, daß die Landwirtschaft keine eigene Wirtschaftsbranche, sondern ein Betriebsteil der biotechnischen Industrie und der Bioenergie-wirtschaft sein wird. Vielleicht ist der Landwirt dann nur noch ein Bio- und Agrartechniker auf Außenstellen dieser Technologiebranche, der irgendwo draußen in der freien Landschaft mit dem Boden und den Tieren so umgeht, wie es das technische Management und die Computer der großen Reaktor- und Fermenteranlagen vorschreiben."

Auf die ökologischen Konsequenzen dieser Entwicklung sei hier nur kurz hingewiesen: Die Regulation der auszubringenden Agrarchemikalien erfolgt im bundesdeutschen Recht bis heute lediglich durch die Höchstmengenverordnung und die Rückstandsverordnungen, die regeln, welche Chemikalienmengen in Lebensmitteln nach der Ernte noch anzutreffen sein dürfen. Für die direkte Ausbringung und damit auch für die Erzeugung von Nicht-Nahrungsmittelprodukten gibt es keine Höchstgrenzen. Darüber hinaus stimmt bedenklich, daß der Bundeslandwirtschaftsminister bereits darauf hingewiesen hat, die durch Schwermetalleintrag aus als Dünger benutzten Klärschlämmen verseuchten Nutzflächen wären der ideale Standort zum Anbau nachwachsender Rohstoffe ...

Nahrungsmittelindustrie

Ziel: die Herstellung neuer Lebensmittel und Lebensmittelzusatzstoffe, Rationalisierung von Produktionsverfahren.

Dieser Bereich wird in der Öffentlichkeit kaum diskutiert; die Industrie scheint zu befürchten, daß Bierhefen oder Käsebakterien, die ein "Turbo-Gen" besitzen, mit denen also Lebensmittel beschleunigt hergestellt werden können, in der Öffentlichkeit auf wenig Akzeptanz stoßen würden. Gentechnik in der Lebensmittelproduktion gehört in den größeren Zusammenhang des sogenannten "Food design", des Entwurfs neuer Nahrungsmittel aus der Retorte. Dieses Angebot ist so ziemlich das genaue Gegenteil des heute zu beobachtenden Trends zurück zu gesunden, weitgehend naturbelassenen Nahrungsmitteln - hier sollte der Konsument entscheiden können, was und wie er essen will. Notwendig ist dafür jedoch eine ausreichende Information über öffentliche Stellen, Verbraucherberatung etc., sowie eine weitgehende Kennzeichnungspflicht für gentechnisch hergestellte Lebensmittel. Lebensmittel, die gentechnisch veränderte Organismen - tot oder lebendig - enthalten, sollten nicht in Verkehr gebracht werden dürfen, solange nicht ihre Unbedenklichkeit vollständig nachgewiesen ist. Ein derartiger Nachweis ist jedoch auf absehbare Zeit nicht zu erbringen. Insofern ist es besonders bedauerlich, daß die EU-Kommission unter Federführung des deutschen EU-Kommissars Martin Bangemann lange Zeit jede Kennzeichnung abgelehnt hat und auch unter erheblichem öffentlichem Druck nur zu einer Teilkennzeichnung bereit ist.



Biotechnik - Weltumsatz 1990 nach SAGB, Brüssel 1993

3.5 Anwendungsbereich offene Systeme: Freisetzung

Freisetzung bedeutet ein Abgehen sowohl von den biologischen wie von den technischen Sicherheitsmaßnahmen, da die Organismen gezielt in die Umwelt eingebracht werden und dort zumindest eine begrenzte Zeit überleben sollen, um die gewünschten Wirkungen zu entfalten. Dabei sind mögliche Einflüsse auf Ökosysteme, Evolutionsprozesse und die menschliche Gesundheit nicht ausgeschlossen, wenn sich die Organismen oder ihr Erbgut im Ökosystem etablieren können. Die herrschende Sicherheitsphilosophie, von der auch die derzeit erneut in der Diskussion befindlichen europäischen Sicherheitsrichtlinien ausgehen, besagt, daß gentechnisch veränderte Organismen mit ihren Ausgangsorganismen ökologisch weitgehend identisch sind, beide deshalb um die gleichen ökologischen Nischen konkurrieren, die gentechnisch veränderten Lebewesen dabei aufgrund der Zusatzlast des neu eingebrachten Erbgutes in der Regel schlechter abschneiden und sich deswegen in dieser bereits besetzten Nische nicht etablieren können. Zusätzlich zu dieser zeitlichen Begrenzung der Überlebenschancen würde die mögliche Ausbreitung der Organismen dadurch verhindert, daß ökologische Systeme so stabil sind, daß sich Eindringlinge nicht fest setzen können. Aus der so postulierten örtlichen und zeitlichen Begrenzung der möglichen Verbreitung gentechnisch veränderter Lebewesen wird ein nur minimales Risiko abgeleitet. Eine derartige Gedankenkette ist dann widerlegt, wenn eine der zugrunde gelegten Annahmen sich als falsch erweist. Leider ist nachweisbar, daß sich in diesem Fall jede einzelne der Grundannahmen widerlegen läßt. Die pauschale Annahme eines minimalen Risikos ist damit nicht haltbar.

Da die Auswirkungen eines veränderten Organismus auf die Umwelt nicht kalkulierbar sind, ist sein Einsatz nur dann zu verantworten, wenn ein "Sicherheitsmechanismus" eingebaut wird: Die veränderten Lebewesen müssen "rückholbar" sein. Daß gentechnisch veränderte Schafe bei entsprechenden Vorrichtungen diese Bedingung erfüllen, erscheint einleuchtend (ob aus ethischen Gründen eine Manipulation an Säugetieren erlaubt sein soll, ist eine andere Diskussion). Daß genetisch veränderte Bakterien, Käfer oder Karnickel nicht vollständig rückholbar sind, scheint ebenso eindeutig. Deswegen ist eine detaillierte Risikokalkulation und eine Differenzierung nach betroffenen Tieren und Pflanzen notwendig.

Nach dieser kurzen Beschreibung der produkt- und umweltspezifischen Risiken der Freisetzung bereits soll im folgenden der Akzent auf die dritte Folgen-Ebene, die der sozio-ökonomischen Implikationen gesetzt. Mit anderen Worten: es geht dann nicht mehr primär um die Risiken eines Fehlschlags, die hier nicht geleugnet werden sollen - es soll vielmehr aufgezeigt werden, welche Risiken in einem Erfolg der vorgetragenen Hoffnungen liegen.

Die gezielte Freisetzung von gentechnisch veränderten Lebewesen in die Umwelt wird in der Landwirtschaft, zur Umweltsanierung sowie in Form von biologischen Waffen vorbereitet.

Landwirtschaft

In der kontroversen öffentlichen Diskussion um die Gentechnik wird von Seiten der Befürworter eine Vielzahl von Aspekten und Hoffnungen aufgeführt, deren wichtigste für den Bereich der Landwirtschaft sind:

- die Zukunftssicherung der europäischen Landwirtschaft: Optimierung der Erträge durch neue Hochleistungssorten, dadurch gleichzeitig die Gewinnung von Brachflächen, die zur Erzeugung der in der EG notwendigen Nahrungsmittelmengen nicht mehr benötigt werden.
- die Ökologisierung des Pflanzenbaus durch die Vermeidung von Pestiziden und damit die Schonung des Grundwassers durch die Einfügung von Resistenzfaktoren in Nutzpflanzen sowie den Verzicht auf Düngemittel durch den Einbau der Fähigkeit in Nutzpflanzen, Stickstoff selbst aus der Luft zu gewinnen. Dadurch würde Nitratanreicherung im Trinkwasser vermieden werden.

- Die Produktion von Industriepflanzen als nachwachsender Rohstoff für die chemische Industrie soll ein "zweites Standbein" zur Existenzsicherung der Landwirte/innen werden. Diese Perspektive wurde, da auf industrielle Verwertung ausgerichtet, bereits unter den industriellen Anwendungen besprochen.
- Mit Hilfe der Genomanalyse gezielt gezüchtete (sogenannte marker-unterstützte Züchtung) oder gezielt gentechnisch veränderte (sogenannte transgene) Tiere sollen bessere, d.h. insbesondere qualitativ hochwertigere Erträge bringen. (Der Einsatz von Tieren zur Medikamentenproduktion bleibt allerdings ebenso wie der von Pflanzen weiterhin marginal.)
- die Chance für die Dritte Welt, die Beseitigung des Welthungers durch Gentechnik zu erreichen,

Allerdings ist die realistische Reichweite des bio- und gentechnischen Instrumentariums heutzutage (noch) weit von dem entfernt, was häufig schon als Zukunftsoption versprochen wird. Ist es heute möglich, einzelne Gene oder kleinere Genpakete relativ gezielt in Pflanzen zu übertragen, so bereitet die Manipulation von Genblöcken Schwierigkeiten, die mit den zur Zeit vorhandenen Methoden auf absehbare Zeit nicht zu überwinden sind. Noch deutlicher wird dies bei Eigenschaften, die von verschiedenen, weit über das Erbgut verstreut liegenden Genen gesteuert werden.

Darüber hinaus sind einige der genannten Hoffnungen nicht nur verfrüht, sondern insgesamt irreführend. So brauchen z.B. die neuen Höchstleistungssorten voraussichtlich nicht weniger, sondern eher mehr Pestizide - dies sagten zumindest die Vertreter von Firmen wie Hoechst und Bayer in den entsprechenden Anhörungen des Deutschen Bundestages aus. Die Hoffnung auf Pestizidvermeidung durch gentechnische Höchstleistungssorten mag vielleicht eine technische Möglichkeit darstellen, eine politisch-ökonomisch Option ist sie offenbar nicht.

Die versprochene Vermeidung des Insektizideinsatzes (z.B. durch den Einsatz des Giftstoffgens aus *Bacillus thuringiensis*) erweist sich bei näherem Hinsehen als Umstieg von der chemischen auf die biologische Kriegsführung im Landbau. Resistenzen, die auf einem einzelnen Gen begründet liegen, können ebenso überwunden werden, wie einzelne giftige Substanzen. Der heute schon finanziell verheerende Resistenzwettbewerb setzt sich dann auf biologischer Ebene fort - die biotechnische ist eben keine biologische Landwirtschaft. Dazu kommen ökologische Risiken, sobald derartige Resistenzen großflächig eingesetzt werden: Eine Verdrängung vieler Insektenarten könnte die Nahrungsnetze erheblich stören. Statt Fungizidvermeidung durch gentechnisch eingebaute Resistenzen ist es wahrscheinlich billiger und günstiger, durch gezielte Auswahl der Begleitflora und regelmäßigen Fruchtwechsel den Pilzbefall zurückzudrängen.

Am häufigsten diskutiert wird heute der Verzicht auf schwer abbaubare Herbizide durch den Einsatz von leichter biologisch zerstörbaren Totalherbiziden. Diese sind nur dann sinnvoll einsetzbar (schließlich soll die gewünschte Frucht nicht mitgeschädigt werden), wenn Herbizidresistenz züchtungs- oder gentechnisch in die gewünschte Nutzpflanze eingebaut werden kann. Sie sind zwar leichter abbaubar und brauchen wegen der Sprühmöglichkeit während der Wuchssaison keinen vorbeugenden Einsatz, trotzdem bleiben starke Bedenken: Die Einsatzmengen werden voraussichtlich eher steigen als zurückgehen, die ökologische Unbedenklichkeit ist nicht sicher nachgewiesen, die Störung der Ökosysteme ist besonders bei großflächigem Einsatz stärker als auf den ersten Blick auffällt: Nicht nur wird die gesamte Begleitflora vernichtet, sondern es werden damit zwangsläufig auch je verdrängter Pflanzenart rund 10 Insektenarten aus dem Rennen geworfen. Die ökologischen Auswirkungen dieses Prozesses können bis heute noch gar nicht abgeschätzt werden.

Der Ersatz von Düngemitteln durch Pflanzen, die ihren Stickstoff direkt aus der Luft holen können, ist mit den heutigen biotechnischen Methoden nicht zu bewältigen. Ob derartige Methoden jemals entwickelt werden, ist unsicher - es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Unmöglich aber erscheint es,

diese Hoffnung noch im Laufe unseres Jahrtausends zu erfüllen. Gleichzeitig könnte durch diese neu-gewonnene Fähigkeit nach Angaben der Firma Hoechst nur ca. 1/4 des Stickstoffdüngers ersetzt werden, Kali- und Phosphatdünger überhaupt nicht. Die ökologischen wie die ökonomischen Fortschritte wären also begrenzt.

Herbizidresistente Pflanzen sollen gegebenenfalls auch patentiert werden. Damit entstehen neue ökonomische Strukturen, eine Verbindung von Chemieindustrie und Saatgutherstellung auch in der Bundesrepublik, die zu Konzentration und Monopolisierung führen kann und im Ausland schon geführt hat. Dabei steigt die Abhängigkeit des Bauern von der Industrie, er wird zum "agrartechnischen Handwerker".

Auch die Gewinnung von Schutzflächen (sollten diese nicht direkt wieder für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt werden) bleibt politisch zweifelhaft. Die im Rahmen der Intensivierung stillgelegten Freiflächen sind keine artenreichen Biotope, sondern werden sich in der Regel als marginale Grenzböden herausstellen, die zur dringend notwendigen Bildung von Biotopverbänden mit einem vielfältigen bio-, geo- und hydrologischen Inventar kaum geeignet sind. Gleichzeitig geht die Intensivierung der Landwirtschaft auf den verbliebenen Restflächen weiter; diese Aufspaltung in Intensivnutzung und Brachfläche ist so ziemlich das genaue Gegenteil der notwendigen Deintensivierung der Landwirtschaft.

Der Einsatz von Gentechnik in der Pflanzenzucht bedeutet also nicht mehr und nicht weniger als einen Schritt weiter in eine Richtung, die wir schon lange verfolgt haben: Die chemotechnische Intensivierung wird ergänzt durch eine biotechnische Komponente. Mittelfristig ist zu erwarten, daß bei steigender Pro-Hektar-Produktivität eine Spaltung in zwei unterschiedliche Sektoren eintritt, die zwar mit den gleichen Pflanzenarten, jedoch in unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung arbeiten: einerseits die Nahrungsmittelproduktion und andererseits der Anbau nachwachsender Rohstoffe (für die chemisch-pharmazeutische Industrie, Papierherstellung, Energiegewinnung etc.). So wird heute nicht nur daran gearbeitet, die Backqualität des Weizens gentechnisch zu verbessern, sondern auch Pflanzen so zu verändern, daß sie nicht mehr mehrere verschiedene, sondern nur noch eine Art Stärke enthalten und so einfacher industriell verwertbar sind. Dabei geht es im wesentlichen um den Anbau von hochwertigen Stoffen, kaum um Bioalkohol zur Treibstoffgewinnung - dieser Vorschlag ist eine ökologisch-ökonomische "Schnapsidee".

Die so induzierten Veränderungen des Landbaus werden den bisher schon ablaufenden Strukturwandel noch weiter beschleunigen, das heißt weniger Landwirte, größere Flächen, noch mehr Monokulturen, im höchsten Ausmaß homogenes Saatgut mit der Folge erhöhter Anfälligkeit gegen Schädlinge, verstärktem Einsatz von Pestiziden und der entsprechenden Belastung von Boden und Grundwasser. Langfristig besteht das Risiko, daß wegen der Verarmung an vorhandenem Saatgut und dem Aussterben immer weiterer Tier- und Pflanzenarten eine Rückkehr zu der eigentlich dringend notwendigen, ökologischen Landwirtschaft nicht mehr möglich ist: Gentechnik könnte dazu beitragen, den "point of no return" zu überschreiten."

Damit ist kein endgültiges Verdikt gegen die Nutzung der Gentechnik in der Pflanzenzucht ausgesprochen - jedoch kann und darf es nicht darum gehen, die technischen Möglichkeiten der Gentechnik auszuschöpfen und daraufhin Anwendungsbereiche in der Landwirtschaft zu suchen; aus Gründen einer langfristigen Überlebensvorsorge ist es vielmehr dringend notwendig, eine Form der Landnutzung zu entwerfen, die sowohl den Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen wie die langfristige Sicherung der Versorgung mit Lebensmitteln sicherstellt. Erst wenn eine derartige Sustainability-Konzeption operationalisierbar vorliegt, ist die Frage überhaupt möglich, welchen Beitrag Bio- und Gentechnik leisten

können, um das Konzept mit Leben zu erfüllen. Die heutige, technikzentrierte Vorgehensweise wird sich dann voraussichtlich als Sackgasse entpuppen.

Umweltsanierung

Vom Einsatz der Gentechnik in der Umweltsanierung erhofft man sich, Organismen gezielt für Aufgaben "maßschneidern" zu können, für die in der klassischen Biotechnik bereits Mikroorganismen eingesetzt werden. Dies gilt zum Beispiel bei der Abwasserreinigung in biologischen Kläranlagen, bei der Abfallbeseitigung durch Fermentation, oder in den in letzter Zeit immer mehr Furore machenden Biofiltern für organisch belastete Ablüfte. Dabei sind die am häufigsten diskutierten Anwendungen zum einen optimierte Mikroorganismen in Kläranlagen und zum anderen eine Form der Altlastensanierung, bei der man nicht gezwungen ist, den Boden auszubaggern und ihn dann in speziellen Verbrennungsöfen thermisch zu behandeln, sondern bei der man Organismen auf diesen Boden gibt. Im Boden sollen diese - gefüttert mit Nährstoffen, Sauerstoff und ähnlichem - in der Lage sein, auch unter Normalbedingungen schwer abbaubare Abfälle biologisch zu zersetzen. Dies hat zum einen Kostengründe, zum zweiten eröffnet es auch die Möglichkeit zum Beispiel Altlasten unter bestehenden Gebäuden zu sanieren, ohne die Gebäude komplett einreißen zu müssen, was zwangsläufig notwendig wäre, wenn der Boden vollständig ausgebagert werden müßte.

Grundsätzlich gibt es fünf Einsatzmöglichkeiten der Gentechnik in der Umweltsanierung, unabhängig von ihrer Wünschbarkeit.

1. *Grundlagenforschung*, zum Beispiel zur Analyse der Stoffwechsel-Prozesse, die zum Abbau bestimmter Stoffe führen, die in der Natur entweder selten oder gar nicht vorkommen (Xenobiotika). Die meisten von Menschen gemachten Stoffe, wie Chlor-, Fluor- und andere Halogen-Verbindungen kommen in der Natur ebenfalls vor, allerdings nur im Sekundärstoffwechsel und damit in sehr geringen Konzentrationen. Dadurch sind Abbauprozesse, die größere Mengen dieser Stoffe beseitigen könnten, in der Regel nicht vorhanden. Eine Analyse dieser Abbauprozesse führt dazu, daß man gezielt nach geeigneten Mikroorganismen suchen kann, die in der Lage sind, bestimmte Abbauprozesse durchzuführen.

2. *Ökologische Forschung* lehrt, u.a., welche Ursachen es sind, die den biologischen Schadstoffabbau hemmen, also die begrenzenden Faktoren der Abbaugeschwindigkeit, eine insbesondere für die industrielle Anwendung zentrale Frage. Dann kann man Methoden des Anlagenbaus, der Prozeßsteuerung usw. einsetzen, um möglichst gezielt dafür zu sorgen, daß optimale Bedingungen für den am langsamsten verlaufenden Abbauschritt geschaffen werden und auf diese Weise die Gesamtgeschwindigkeit deutlich erhöht wird.

3. *Gentechnisch gewonnene Diagnostika und Sensoren* zielen darauf ab, präzise und schnelle Auskünfte zu bekommen, welche Schadstoffe z. B. in Altlasten vorhanden sind. Die Zahl der Altlasten, die in der alten Bundesrepublik saniert werden müssen, wird heute auf über 6000 geschätzt. Dabei ist noch unsicher, welche der vorhandenen, erkannten Altlasten einen hohen Sanierungsbedarf aufweisen.

Ein großes Problem besteht darin, daß die meisten Altlasten und insbesondere industriell verseuchte Altstandorte nicht mit einem einzigen Stoff in einer hohen Konzentration belastet sind, sondern mit einer Mischung der verschiedensten Substanzen. Die Böden unter ehemaligen Kokereien sind zum Beispiel mit verschiedensten Teeraromaten in großer Menge belastet, so daß es schwierig ist, eine allgemein geeignete Abbaumethode zu finden, sofern man sich nicht auf die thermische Reinigung (Verbrennen) einlassen will, die nicht nur mit erheblichen Kosten verbunden ist sondern auch die durch die Verbrennung entstehenden Luftschadstoffe verantworten muß.

Sucht man eine biologische Lösung, so ergeben sich nicht unerhebliche Probleme, geeignete Organismen zu finden, die in der Lage sind, mit einer Vielzahl von Stoffen fertig zu werden. Deswegen sind die Möglichkeiten, mit neuen, gentechnisch gewonnenen Diagnoseinstrumenten, den sogenannten monoklonalen Antikörpern gezielte Differential-diagnosen aufzustellen und Stoffe zu identifizieren, bei denen das bis heute nicht möglich ist, ein wichtiger Beitrag zur Umweltanalytik, während die Züchtung von Multifunktions-organismen bisher eher in Evolutions-Bioreaktoren als im Genlabor erfolgreich war.

Eine weitere Anwendung von Diagnostika ist die Herstellung von Sensoren durch die Kombination von biologischen Testmaterialien mit Mikroelektronik. Diese sind in der Lage, die Belastungen regelmäßig und genau zu messen, um bei fortlaufenden Sanierungsmaßnahmen feststellen zu können, wie der Status des Abbaus ist, oder ob sich Zwischen- oder Endprodukte mit Giftcharakter ergeben haben und gegebenenfalls rechtzeitig Maßnahmen zur Schadensbegrenzung ergreifen zu können. Für die dazu notwendige permanente Überwachung kann der Einsatz von Biosensoren, kombiniert mit der automatischen Datenverarbeitung sicherlich einiges bieten. Die Arbeit mit hoch schadstoffhaltigen Böden wird so erheblich sauberer (ein Fortschritt für den Arbeitsschutz) und gleichzeitig automatisierbar, was jedoch den erhofften Arbeitsplatzeffekt durch Umweltsanierung verringert.

4. Es ist möglich, aus den Zellen von Lebewesen biologische Katalysatoren zu gewinnen, die auf Trägern fixiert, als Schadstoff-Abbauinstrumente eingesetzt werden können. In Kläranlagen, aber auch in der chemischen Industrie ist es relativ verbreitet, mit fixierten Enzymen zu arbeiten und so Umwandlungsprozesse vorzunehmen, wenn Stoffe hergestellt werden sollen. Insofern ist es nichts völlig Neues, daß man diese Enzyme - zum Teil hofft man sie maßgeschneidert herstellen zu können - nutzen will, um Schadstoffe zu zerlegen. Es hat den Vorteil, daß diese Stoffe, sprich: diese Enzymfolien häufig regenerierbar sind; sie können also wieder neu eingesetzt werden. Da sie ihre Eigenschaften nicht verändern und sich nicht vermehren, sie weisen häufig eine höhere "Haltbarkeit" auf als die Mikroorganismen, von denen ausgegangen worden ist.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit der Biotechnik stellen absorbierende Eiweiße dar, an die sich bestimmte Stoffe gezielt anlagern, und die so zum Beispiel zur Entfernung von Schwermetallen aus Gewässern genutzt werden können. Bei einer Erwärmung oder bei einer entsprechenden chemischen Behandlung setzen diese Träger dann die Schwermetalle wieder frei. Es wird daran gearbeitet, dies so zu steuern, daß verschiedene Schwermetalle getrennt freigesetzt werden. Damit wäre dies nicht nur eine Methode zur Abfallentgiftung (Dekontamination), sondern stünde zusätzlich auch als Recycling-Methode zur Verfügung, um die Schwermetalle wieder in den Produktionskreislauf zurückzuführen. Dafür ist es notwendig, ja sogar dringend erforderlich, den Belastungszustand derartiger Reinigungsmembranen regelmäßig überprüfen zu können und dazu Biosensoren zu entwickeln, um diesen Reinigungsprozeß automatisieren zu können, weil sonst irgendwann unbemerkt die Sättigung eintritt und eine adäquate Reinigungsleistung nicht mehr gegeben ist.

5. Organismen in geschlossenen Fermentern: Es ist schon seit längerem möglich, aus hoch belasteten Abwässern mit Hilfe von Spezialorganismen bestimmte Substanzen zu entfernen. Das geschieht mit Organismen, die diese und keine anderen Substanzen als Nährstoff benutzen und dabei schrittweise abbauen. Bei derartigen Vorbehandlungsschritten in einem Fermenter können schädliche Stoffe aus dem Abwasser entfernt werden ehe es entgiftet in eine normale biologische Kläranlage geleitet wird, die ohne diese Vorbehandlung die Gifte nicht vertragen hätte und zusammengebrochen wäre. Die dazu erforderliche Herstellung von Spezialmikroben ist nicht einfach. Sie erfolgt heute zum Teil durch Züchtung unter Extrembedingungen mit erhöhten Mutationsraten, die entweder durch die Behandlung mit Chemikalien oder durch Bestrahlung hervorgerufen werden. Die Schwierigkeit besteht bisher da-

rin, die aufeinanderfolgenden Abbauschritte für die hochgiftigen Produkte in einem Organismus zu vereinigen, ohne daß dieser durch die Zwischenprodukte geschädigt wird.

Ein Beispiel: wenn ein bestimmtes Dioxin abgebaut werden soll, kann es häufig vorkommen, daß die Abbauprodukte selber hochgiftig sind. Hier liegt das Problem: Wenn eine Reaktion, die nur einen Schritt umfaßt, züchterisch herbeigeführt werden soll, ist das einfach. Das Bakterium wird in einen Behälter gegeben, die abzubauen Substanz dazu und diejenigen Organismen, die sie abbauen können, überleben und vermehren sich. Die übrigen sterben mangels verwertbarer Nahrung ab. Wenn aber fünf verschiedene Schritte notwendig sind, bis sich der Erfolg einstellt, heißt das, daß der erste Entwicklungsschritt nicht den gewünschten Wettbewerbsvorteil bietet und sich deswegen kaum durchsetzen wird.

Die Methode, durch gezielte Zuchtbedingungen gewünschte Eigenschaften zu fördern, ist eine relativ einfache Methode und etabliert. Um aber mehrere Abbauschritte in einen Organismus zu bringen, versucht man entweder, verschiedene Organismen, die mit verschiedenen Substanzen gefüttert werden, zusammen zu züchten in der Hoffnung, daß es eine Wechselwirkung zwischen diesen Organismen gibt, die den Abbauweg per Zufall komplettiert. Oder man versucht es direkt mit gentechnischen Methoden, was sich bis heute als überaus problematisch darstellt, weil die Wechselwirkungen häufig recht komplex sind und aufgeklärt werden müssen, damit die ganze Kette wirklich funktioniert. Das heißt, daß das richtige Eiweiß oder Enzym im richtigen Augenblick in der richtigen Menge hergestellt wird.

Eine Kläranlage ist ein nur "halb geschlossenes" und damit auch halb offenes System; Kläranlagenmikroorganismen finden sich deshalb in jedem Fluß wieder. Insofern ist die Frage des Einsatzes von gentechnisch "optimierten" Mikroorganismen in Kläranlagen oder bei der Altlastensanierung eine Frage der Freisetzung in die Umwelt. Dabei gibt es die verschiedenen Risikokategorien zu berücksichtigen, wobei weniger die erste (Fehlschläge) als vielmehr die zweite (Unkenntnis) hier von besonderer Relevanz ist. Die Enquete-Kommission des 10. Deutschen Bundestages hat mehrere Vorschläge zu diesem Bereich erarbeitet und Fälle benannt, in denen man diese Technik einsetzen könne. z.B.:

- in einer Kläranlage tritt eine relativ hohe Schwermetallbelastung auf, wobei die Schwermetalle sich zu über 95 Prozent an die Schlammflocken anlagern. Das führt dazu, daß die Klärschlämme nicht mehr im landwirtschaftlichen Bereich als Dünger eingesetzt werden können. Dadurch entsteht eine große Menge Klärschlamm, der entweder auf eine Deponie muß oder in Müll-Klärschlamm-Verbrennungsanlagen mit einem erhöhten Schwermetallaustrag verbrannt wird, was auch wieder nicht wünschenswert ist. Deshalb werden dringend Alternativen gesucht. Die Idee war, solche Mikroorganismen zu nutzen, die in der Lage sind, die Schwermetalle wieder ins Wasser zu bringen, um sie anschließend chemisch auszufällen. So könnten saubere Klärschlämme erreicht und die ausgefallenen Schwermetalle genutzt werden.

Dies scheint zunächst eine in sich schlüssige Lösung zur Schwermetallentlastung von Klärschlämmen, wenn man davon ausgeht, daß die gentechnisch "optimierten" Mikroorganismen die Kläranlage nicht verlassen. Wenn man aber davon ausgeht, daß dies zwangsläufig passiert, weil die Kläranlagen nie geschlossene Systeme sind, heißt das, daß die Organismen auch in die Flüsse, wie etwa in den Rhein, gelangen. Im Rheinsediment sind einige Dutzend Tonnen Kadmium, einige 100 Tonnen Blei usw. gespeichert. Was passieren würde, wenn nur die Deckschicht des Rheinbodens von den Schwermetallen, die dort festgehalten sind, wieder befreit würde und diese wiederum in die Nordsee gelangen würden, kann man sich kaum vorstellen. Das heißt, die ökologische Wirkung der gentechnischen Organismen wäre im Falle der Freisetzung aus der Kläranlage vermutlich verheerend.

Ein weiteres Anwendungs-Beispiel hat ebenfalls die Enquete-Kommission aufgeführt: Die Deponie-Reinigung, in Form eines beschleunigten Abbaus von schwer verrottbaren Kunststoffen auf Mülldeponien. Auch dies ist nicht problemlos. Man benötigt einen Organismus, der in der Lage wäre, eine große Vielzahl von Kunststoffen abzubauen. Unter welchen Bedingungen ist er aber dazu in der Lage? Er müßte ein sehr konkurrenzstarker Organismus sein, der sich unter den extremen Bedingungen einer Kläranlage oder einer Deponie durchsetzen kann. Wenn dieser Organismus jetzt in der Lage wäre, bei hinreichender Sauerstoff- und Feuchtezufuhr denselben Kunststoff auch jenseits des Deponiegeländes abzubauen, dann könnten Konsumgüter zerstört und industrielle Produktionsprozesse lahmgelegt werden.

Diese beiden Beispiele machen deutlich, daß der Einsatz, die Freisetzung von Organismen zur Umweltsanierung nicht unproblematisch ist.

So müßte ein geeigneter Organismus gleichzeitig über verschiedene Eigenschaften verfügen, die bis heute nicht vollständig erforscht sind. Er müßte etwa in einem weiten Bereich von Säuregraden aktiv sein. Er müßte in der Lage sein, unabhängig von den Milieubedingungen, den speziellen Stoff abzubauen, den er abbauen soll, gleichgültig welche anderen Nährstoffe noch rundherum "angeboten" werden. Er dürfte, unabhängig von wechselnden Umweltbedingungen, nur ungiftige Endprodukte herstellen, also nie nur halb abgebaute Zwischenprodukte, die eventuell wieder schädliche Eigenschaften aufweisen.

Er müßte gleichzeitig selektiv so gezüchtet sein, daß er den anderen natürlich vorkommenden Organismen überlegen ist, um überhaupt den Deponieraum durchdringen zu können. Und er muß diese Eigenschaften, unabhängig von der Umgebung über möglichst viele Generationen unverändert behalten, weil eben diese Eigenschaften eine notwendige Voraussetzung dafür sind, daß er seine Abbauleistung ohne schädliche Nebeneffekte erfüllt. Ein derartiges "Multitalent" gibt es heute noch nicht, und nach allem, was wir wissen, wird es so etwas in absehbarer Zeit auch nicht geben können.

Dazu kommt die technische Einschränkung, daß viele der uns interessierenden Stoffe chlorierte Kohlenwasserstoffe oder Aromaten sind. Diese weisen häufig eine sehr geringe Löslichkeit in Wasser auf, während aber Mikroorganismen im Wasser leben und nur Stoffe abbauen können, die im Wasser gelöst und damit für sie verfügbar sind. Auch der gentechnisch optimierte Organismus, der in der Lage wäre, 100 Prozent dessen abzubauen, was er in seinem Umgebungswasser vorfindet, kann nur jene z.B. 2 Prozent der Altlast abbauen, die im Wasser gelöst wurden. Das stellt bereits eine erste natürliche Grenze für den biologischen Schadstoffabbau dar, die auch durch Zugabe von Fettlösern nur verschoben, nicht aber aufgehoben wird. Die zweite Begrenzung liegt darin, daß manche Gifte so wirksam sind, daß der Effekt, den Mikroorganismen erreichen können, nämlich ein Verdünnungseffekt, nicht ausreicht, um unter die Gefahrenschwelle zu kommen. Dann ist ein Abbau mit Mikroorganismen - und zwar egal ob genetisch verändert oder nicht - nicht das Mittel der Wahl, sondern es müssen dann andere Methoden her, sei es Endlagerung in Sondermülldeponien oder sei es die thermische Zerstörung. Das heißt, die Verfügbarkeit von biotechnischen Abbaumethoden und auch die gentechnische Optimierung der eingesetzten Organismen befreit uns nicht von der Notwendigkeit, bereits bei der Stoffauswahl, der Wahl der Produkte, die wir herstellen wollen, darauf zu achten, daß ihre biologische Abbaufähigkeit nach Möglichkeit gegeben ist.

In allen Fällen können die vier genannten Risikoebenen unterschieden werden. Unerwartete Verhaltensweisen als Fehlschläge kann es auch hier geben, ebenso wie leichtfertigen Umgang mit gefährlichen Chemikalien, weil ja Sanierungsorganismen zur Verfügung stehen. Unkenntnis herrscht aber nicht nur über die Wechselwirkungen von jeweiligem Organismus und natürlichen Ökosystemen, sondern insbesondere darüber, welche Auswirkungen neukonstruierte Lebewesen auf die menschliche

Zivilisation haben. So werden die zur Umweltsanierung designten Organismen ja zum Abbau von Zivilisationsprodukten wie Kunststoffen, Erdöl etc. geplant: Alles Substanzen, deren Abbau auf der Deponie wohl erwünscht, deren Zerstörung im täglichen Leben aber verheerend wäre. Die Hoffnung auf die gentechnische Herstellung von Allround-Sanierern erscheint nicht nur voreilig, sondern auch gefährlich. Mehr Erfolg verspricht da schon die Isolierung von abbauenden, natürlich vorkommenden Mikroorganismen. Sie ist allerdings nicht von vergleichbarem ökonomischem Reiz, da die isolierten Lebewesen nicht ohne weiteres patentiert werden können (zumindest bisher noch im europäischen Rechtssystem).

4 Quellen und Literaturhinweise

Beck, U. 1996. Das Zeitalter der Nebenfolgen und die Politisierung der Moderne, in: Beck, U., Giddens, Anthony, Lash, Scott (Ed.), Reflexive Modernisierung - Eine Kontroverse. Suhrkamp, Frankfurt/Main, pp. 19 -112.

Catenhusen, W.-M., Neumeister, H. 1987. Chancen und Risiken der Gentechnologie - Dokumentation des Berichts der Enquetekommission, Gentechnologie, Chancen und Risiken. J. Schweitzer Verlag, München.

Dawkins, R. 1976. Das egoistische Gen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

De Marchi, B., Ravetz, J. 2001. Participatory Approaches to Environmental Policy, EVE Policy Research Brief. Cambridge Research for the Environment, Cambridge, UK.

Häfele, W. 1974. Hypotheticality and the new Challenges, The Pathfinder Role of Nuclear Energy. *Minerva* 1974(3): 303-322.

Jungk, R., Mundt, H. J. 1988. Das umstrittene Experiment: Der Mensch. Dokumentation des Ciba-Symposiums 1962 "Man and His Future", 2nd ed. J. Schweitzer Verlag, Frankfurt/München.

Metzner, A. 1997. Konstruktion und Realität von Umwelt- und Technikrisiken - Ansätze sozialwissenschaftliche Risikoforschung. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* 10(4): 472-487.

Müller, M., Spangenberg, J. H. 1988. Aus Gefahren beherrschbare Risiken machen. *Forum Wissenschaft* 5(2): 41-47.

Smith, J.M. 1982. *Evolution and the Theory of Games*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Spangenberg, J.H. 1990. Forschungsfreiheit und Sozialbindung der Wissenschaft, in: Grosch, K., Hampe, Peter, Schmidt, Joachim (Ed.), *Herstellung der Natur ?* Campus, Frankfurt, pp. 145-153.