SCHRIFTENREIHE
SOZIALE ÖKOLOGIE

BAND 12

GENTECHNIK ALS GEZIELTER EINGRIFF IN LEBENSPROZESSE

Vorüberlegungen für verursacherbezogene Umweltindikatoren

PETER WENZL
HELGA ZANGERL-WEISZ

WIEN, 1991

FORSCHUNGSBERICHT DES IFF UND DES
ÖSTERREICHISCHEN ÖKOLOGIE-INSTITUTS
IM AUFTRAG DES BMUJF

Impressum
Medieninhaber, Verleger, Herausgeber:
Interuniversitäres Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung (IFF),
Abteilung Soziale Ökologie, A - 1070 Wien, Seidengasse 13
Tel.: 0222-526 75 01-0, FAX: 0222-523 58 43

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 1

1. Was ist Gentechnik? 4

2. Anwendungsbereiche der Gentechnik
2.1. Ein Überblick 11
2.2. Branchenstruktur der "Neuen Biotechnologie" in Österrreich 13
2.3. Ökonomisches Potential der "Neuen Biotechnologie" 13

3. Einreihung der Gentechnik in die GELs
3.1. Isolieren, um zu manipulieren 16
3.2. Systematik der GELs 18
3.3. Abgrenzung der Gentechnik gegenüber zellbiologischen Methoden 21
3.4. Wann zählt ein gentechnischer Eingriff als GEL? 22
3.5. Betrachteter Ausschnitt der Natur 25
3.6. Freisetzung von GEOs 26
3.7. Verursacher im Bereich der Gentechnik 27
3.7.1. Verursacher absichtlicher Freisetzungen 27
3.7.2. Verursacher unbeabsichtigter Freisetzungen 28
3.7.3. Verursacher von Gesundheitsschäden 28

4. Wesentliche Charakteristika der Gentechnik
4.1. Ein Überblick 30
4.2. Eingriff in die "Steuerzentrale Genom" 30
4.2.1. "Präzision" eines gentechnischen Eingriffs 31
4.2.2. "Selbsttätigkeit" lebender Systeme 31
4.3. Vervielfachung des GEOs - Klonierung 33
4.4. Biologische Bedeutung des Eingriffs - der evolutionäre Kontext 34
4.4.1. Reproduktive Isolation 34
4.4.3. Horizontaler Gentransfer 34

5. Wege zur Entwicklung von Indikatoren
5.1. Vergleich mit Emissionen 36
5.2. Vergleich mit den übrigen GELs 37
5.3. Zusammenfassung der getroffenen Vorentscheidungen 38
5.4. Trennung in Eingriffsintensität und Risiko 38
5.5. Ansatzpunkte für Indikatoren und weitere Vorgangsweise 39
5.5.1. Gentechnischer Eingriff 39

5.5.2. Wirkungspotentiale 40
5.5.3. Vorschläge für Gentechnikindikatoren 41
5.5.3.1. Eingriffsintensitätsindikatoren 41
5.5.3.2. Freisetzungsindikator 41
5.5.3.3. Risikoindikatoren 42
5.6. Beiträge der Indikatoren zur Gentechnikdebatt 43

Literatur 45

Vorwort

Die Eingliederung der *Gentechnik* als *"Gezielter Eingriff in Lebensprozesse"* in das Projekt *"Verursacherbezogene Umweltindikatoren"* erwies sich aus verschiedenen Gründen als schwierig.

Gentechnik ist eine sehr junge Technologie. Abgesehen von einem hohen Innovationspotential, das ihr allgemein zugesprochen wird, fehlt jeglicher Konsens über ihre wissenschaftliche, ökologische, politische, soziale und wirtschaftliche Bedeutung. Der Grund dafür liegt nicht nur an der fehlenden Erfahrung im Umgang mit dieser Technik und mit ihren Folgewirkungen, sondern auch darin, daß die Kontroverse um die Gentechnik weder in der Öffentlichkeit noch unter Wissenschaftlern je *wirklich* bzw. nur selten auf hohem Niveau geführt wurde.

Darüber hinaus haben die Erfolge der methodischen Ansätze der Gentechnologie - die auch Erfolge des *reduktionistischen Paradigmas* der Molekularbiologie sind - die Kluft zwischen den biologischen Disziplinen soweit verschärft, daß eine *einheitliche* und in sich *konsistente* Betrachtung biologischer Phänomene immer schwieriger wird.

Gentechnik ist *keine Großtechnologie* wie die Atomtechnik, sondern der Sammelbegriff für eine Reihe sehr spezieller experimenteller Methoden. Eine emissionsseitige Betrachtung muß daher auf der *methodischen Ebene* ansetzen. Der fehlende Konsens unter BiologInnen verlangt besondere Sorgfalt in der fachlichen Diskussion, die nur unter Verwendung wissenschaftlicher Termini zu erreichen ist. Die vorgegebene Projektlogik zwingt wiederum auch der rein technischen Darstellung eine - für BiologInnen ungewohnte - Tendenz auf, die es zu erklären gilt.

Andererseits erfordert der spezielle Charakter des Projekts eine interdisziplinäre Sprache. Wir sind uns bewußt, daß diese kollidierenden Anforderungen Teil *jeder* interdisziplinärer Arbeit sind, glauben aber, daß sie durch die Besonderheiten des Themas *Gentechnik* verschärft werden.

Die nächste Ebene, auf der Probleme entstanden, war die Einordnung in das Projekt, dessen Logik schon feststand und für das Thema Gentechnik zu adaptieren war. Gentechnik-spezifische Indikatoren sollten entwickelt werden, die folgenden Kriterien gerecht werden: **Es sollen *Schädigungsprozesse emissionsseitig* abgebildet werden, die auf Basis *verfügbarer Daten branchenspezifisch* den *Verursachern* zugeordnet werden können.**

Jedes einzelne dieser Kriterien (vielleicht mit Ausnahme des branchenspezifischen Verursacherprinzips) war sowohl für sich als auch im Vergleich mit den übrigen Projektbe-

reichen außerordentlich schwer zu erfüllen. Eine Gegenüberstellung mit den übrigen *GEL-Bereichen* soll das verdeutlichen:

Verfügbare Daten:

Gentechnik ist einer der Projektbereiche, über die zur Zeit *keinerlei* Daten systematisch erhoben werden. Verbindliche Sicherheitsrichtlinien bzw. Gentechnikgesetze sind zur Zeit die wichtigste Voraussetzung, um zu Daten zu kommen. Der Auftrag zur Erhebung und Veröffentlichung von Gentechnik-spezifischen Daten ist zentraler Bestandteil fast aller entsprechenden Gesetze. Die Überlegungen zur Indikatorenentwicklung orientierten sich ursprünglich an den EG-Richtlinien zur Gentechnik. Im Juli 1991, als unsere Recherchen schon beendet waren, wurde der Öffentlichkeit ein Entwurf zu einem österreichischen Gentechnikgesetz präsentiert. (Der Gesetzestext wurde uns erst einen Monat nach Anfrage im Gesundheitsministerium zugeschickt.) Eine kurze Sichtung ergab, daß in allen wesentlichen Punkten Übereinstimmung mit den EG-Richtlinien besteht. Eine Darstellung des Inhaltes war jedoch, abgesehen von einigen Begriffsdefinitionen, aus Termingründen nicht mehr möglich.

Schädigungsprozeß:

Ausgangspunkt der Überlegungen in den Bereichen "Eingriffe in Biotope" und "Tierleid" ist das *offensichtliche Vorhandensein* von Naturschädigungsprozessen. Ein kausaler Zusammenhang zwischen bestimmten anthropogenen Eingriffen und den daraus resultierenden Umweltschäden/Naturveränderungen bzw. "Tierleid" wird sowohl von der Wissenschaft als auch von der Öffentlichkeit prinzipiell *akzeptiert*. Obwohl ein Naturschädigungsprozeß nicht immer dokumentierbar ist und über viele Detailfragen keine Einigung erzielt wurde, kann - salopp ausgedrückt - festgestellt werden, daß die Grundsatzdiskussion bereits gelaufen ist. Die Verflechtungsmatrix "Verursachungsprozesse x Naturschäden" bedarf daher in den ersten beiden GEL-Bereichen weniger einer qualitativen Begründung als einer Konkretisierung mit verfügbaren Daten.

Obiges trifft für die *Gentechnik* nicht zu. Eine Darstellung ihres Veränderungspotentials wurde unseres Wissens noch nicht systematisch versucht. Es liegt an der besonderen Charakteristik der Gentechnik, daß mögliche Folgen nicht in streng kausalem Zusammenhang mit dem Eingriff erfaßbar, sondern höchstens *hypothetisch begründbar* sind. Für diese kaum dokumentierten (in manchen Aspekten auch kaum dokumentierbaren) durch die Gentechnik ausgelösten Naturveränderungsprozesse gibt es weiters *keine wissenschaftlichen Modelle*.

Während also in den anderen GEL-Bereichen Indikatoren auf Basis von schon vorhandenen wissenschaftlichen Modellen für Naturveränderungen/schäden (wie z.B. Tierhaltungsindex und

Nettoprimärproduktion) entwickelt werden können, müssen für die Gentechnik erst vergleichbare Modelle *entwickelt* werden. Neben der *fehlenden wissenschaftlichen Referenz* sehen wir im unvermeidlich normativen Charakter *jedes* Indikatorensystems den wichtigsten Grund für eine *ausführliche, auch fachliche Diskussion*.

Die *Nichtnachvollziehbarkeit des Schädigungsprozesses*, das *Fehlen wissenschaftlicher Modelle*, der *Mangel an empirischen Daten*, der *fehlende Grundkonsens* über die Gentechnik und die logisch nicht ganz konsistente Einordnung der Gentechnik in die "Gezielten Eingriffe in Lebensprozesse" waren also die Hauptschwierigkeiten bei der Bearbeitung des Themas. Die Schwerpunkte unseres Berichtes liegen daher einerseits in der Einordnung der Gentechnik in das Projekt und andererseits in der Klärung der *grundlegenden Voraussetzungen* zur Entwicklung von verursacherbezogenen Gentechnikindikatoren.

1. Was ist Gentechnik?

Als Einstieg für Nicht-BiologInnen in den Projektteil Gentechnologie als "Gezielter Eingriff in Lebensprozesse" möchten wir im folgenden kurz die genetischen und biologischen Grundlagen für die Behandlung des Themas darlegen.

Das genetische Material - die DNA:

Die Erbinformation aller Organismen ist in langen Molekülen gespeichert.[1] Der chemische Name dieser Makromoleküle ist Desoxyribonukleinsäure - international gebräuchliche Ab-

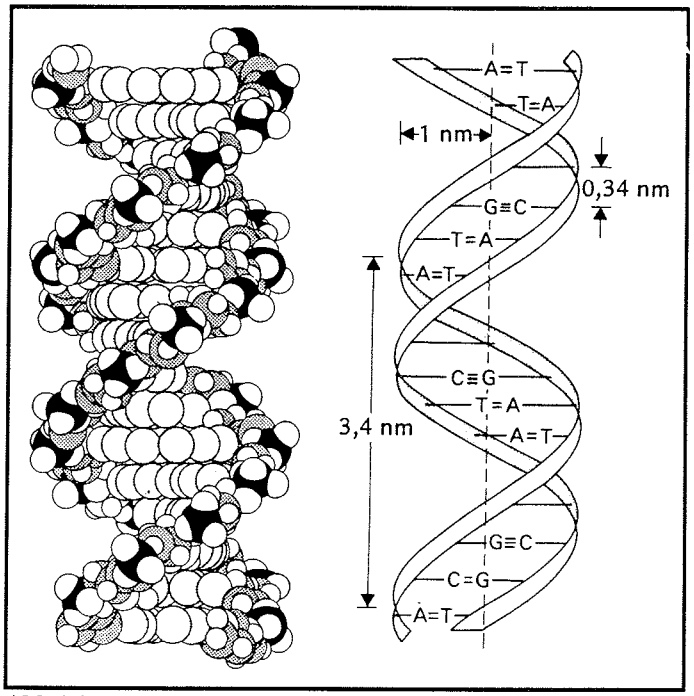

Abb.1.1.: Das Watson- und Crick-Modell der DNA (Russell P.J. 1983, S.3).

kürzung: **DNA**. Nach dem Watson- und Crick-Modell kann man sich die Struktur der DNA als eine um sich selbst gewundene Leiter vorstellen. Die "Achsen" der Leiter bestehen aus einer regelmäßigen Abfolge von Zucker- und Phosphormolekülen. Die "Sprossen" bestehen aus jeweils zwei Stickstoffbasen, die durch eine starke chemische Bindung an die Achsen und durch eine schwache chemische Bindung untereinander verbunden sind. Es gibt in der DNA insgesamt vier verschiedene Arten von Stickstoffbasen (Adenin, Guanin, Cytosin, Thymin), wobei immer nur Adenin mit Thymin und Cytosin mit Guanin eine "Sprosse" bilden können.

---

[1] Heute wird allgemein angenommen, daß die gesamte Erbinformation eines Organismus in der DNA gespeichert ist. Es gibt jedoch auch Mechanismen der Informationsweitergabe von Eltern auf Nachkommen, die nicht mit der Weitergabe von DNA zusammenhängen; so enthält etwa das Plasma der Eizelle wichtige Informationen für die Embryonalentwicklung (vgl. Fischer-Kowalski et al. 1991b).

Diese Eigenschaft bezeichnet man als **BASENKOMPLEMENTARITÄT**. Die Bausteine, aus denen die DNA in der Zelle aufgebaut wird, sind die **NUKLEOTIDE**. Ein Nukleotid besteht aus einem Zuckermolekül, einem Phosphormolekül (beide im oben beschriebenen Strukturmodell Teile einer Achse) und aus einer der vier Basen (im obigen Modell eine halbe Sprosse). Die genetische Information ist durch die Abfolge der Stickstoffbasen (=die DNA-Sequenz) definiert. Ein einzelner DNA-Strang (also eine der beiden Achsen mit den daran gebundenen Basen in definierter Reihenfolge) enthält die gesamte Information und dient dem zweiten Strang als Matrize, der somit die komplementäre Information enthält. Die Basenkomplementarität ist also Voraussetzung für die korrekte Verwirklichung und die stabile Vererbung der genetischen Information.

GENOM:

Die gesamte DNA eines Organismus, also sein Erbgut (inkl. Erbsünde!), bezeichnet man als Genom. Jeder Organismus enthält in jeder seiner Körperzellen ein vollständiges Genom. Die Größe des Genoms ist artspezifisch und wird in Basenpaaren (bp) angegeben. Sie reicht von $0{,}8-8.10^6$bp bei Bakterien bis zu $2{,}9.10^9$bp (Mensch) und 7.10^9bp (Mais) (Schlegel H.G. 1985, S.32).

GEN:

Die Biologie hat bislang noch keine Gendefinition gefunden, die allen involvierten Phänomenen gerecht wird. Die biochemische Definition, die sogenannte "Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese", besagt, daß ein Gen derjenige Abschnitt auf der DNA ist, der die Information für die Synthese eines Enzyms (siehe unten) enthält. Sie ist als grobe Orientierungshilfe geeignet, für exaktere Betrachtungen jedoch zu einseitig und zu eng gefaßt.

ALLEL:

Alternative Formen eines Gens, die sich in ihren DNA-Sequenzen voneinander unterscheiden, werden als **ALLELE** bezeichnet.

GENEXPRESSION:

Die Umsetzung der genetischen Information in **PROTEINE** (oder Nukleinsäuren) bezeichnet man als Genexpression. Proteine sind Ketten von **AMINOSÄUREN**. Die Reihenfolge der Aminosäuren wird durch die DNA-Sequenz bestimmt. Das fertige Protein kann unterschiedliche Funktionen erfüllen. Ein wichtige Klasse von Proteinen sind **ENZYME**. Sie steuern sämtliche Stoffumsetzungen. Eine andere Klasse umfaßt Proteine, welche die Genexpression ermöglichen und steuern.

GENOTYP und PHÄNOTYP:

Als **GENOTYP** bezeichnet man alle genetischen Anlagen eines Organismus - im Gegensatz zum **PHÄNOTYP**, mit dem das Erscheinungsbild des Organismus gemeint ist. Aus dem gleichen Genotyp können sich in Abhängigkeit von den Umwelt- oder Milieubedingungen unterschiedliche Phänotypen entwickeln. Die Realisierung des Phänotyps aus dem Genotyp ist insgesamt noch sehr wenig verstanden.

PROKARYONTEN und EUKARYONTEN:

Sämtliche Organismen werden auf Grund struktureller und funktioneller Merkmale ihrer Zellen in zwei große Gruppen geteilt:

- Die einfacheren **PROKARYONTEN** umfassen im wesentlichen die Bakterien. Zu ihnen gehören auch die ältesten nachweisbaren Lebensformen (3-3,5 Milliarden Jahre alt). Sie besitzen keinen Zellkern, ihre DNA liegt als einzelnes, ringförmig geschlossenes Molekül frei im Cytoplasma der Zelle.
- Alle übrigen Organismen, von der Bäckerhefe bis zum Menschen und zur Sumpfdotterblume (ausgenommen Viren, die nicht der Definition von Organismen entsprechen), bezeichnet man als **EUKARYONTEN**. Sie besitzen einen Zellkern, in dem ihre DNA in linearer Form und auf mehrere Untereinheiten aufgeteilt vorliegt. Diese im Lichtmikroskop während der Zellteilung sichtbaren Strukturen nennt man **CHROMOSOMEN**. (In Analogie spricht man bei den Prokaryonten auch von "Bakterienchromosomen".)

Prokaryonten und Eukaryonten unterscheiden sich grundlegend in ihrer Komplexität und in vielen zentralen Bereichen der Genomorganisation und Genexpression. Diese Tatsache führt u.a. dazu, daß der Expression eukaryontischer Gene in Bakterien enge Grenzen gesetzt sind. Die bereits praxisreife Humaninsulinproduktion mit E.coli ist in diesem Zusammenhang eher eine Ausnahme.

KLONIERUNG:

Unter **KLONIERUNG** versteht man die identische Reproduktion eines Organismus. Klonierungsvorgänge in der Natur sind z.B. die vegetative (=nicht sexuelle) Vermehrung von Pflanzen und Bakterien. Die Gesamtheit der aus einem Organismus durch Klonierung hervorgegangenen Individuen nennt man einen **KLON**.

PLASMID:

PLASMIDE sind kleine, ringförmig geschlossene DNA-Elemente, die sich autonom replizieren können. Sie sind typische Bestandteile der Bakterienzelle, in der sie zusätzlich zum

Bakterienchromosom in mehr oder weniger großer Kopienanzahl vorkommen. Sie sind Träger von meist sehr speziellen Merkmalen - wie z.B. Antibiotikaresistenzen - und funktionieren als wichtige Träger bei genetischen Austauschvorgängen zwischen Bakterien.

GENTECHNIK:

Sie wird alternativ auch als "**GENTECHNOLOGIE**", "Rekombinante DNA-Technik" oder "Molekulare Klonierungstechnik" bezeichnet. Der Begriff Gentechnik umfaßt eine Anzahl experimenteller Methoden, mit deren Hilfe es prinzipiell möglich wurde,

- DNA-Fragmente beliebiger Herkunft in-vitro (im Labor) miteinander zu kombinieren ("**REKOMBINANTE DNA**"),
- in einen Wirtsorganismus zu übertragen
- und sie dort zu klonieren bzw. zur Expression zu bringen.

Das Prinzip der Methode:

Die isolierte DNA eines Organismus wird mit Hilfe von speziellen Enzymen (**RESTRIKTIONSENZYME**) in kleine Teile geschnitten. Diese Enzyme wurden in Bakterien entdeckt,

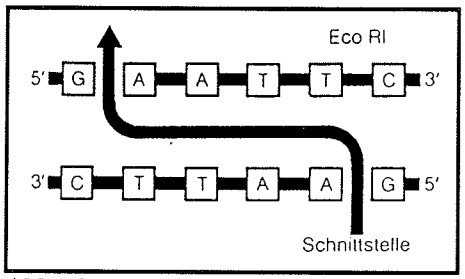

Abb.1.2.: Erkennungs- und Schnittstelle von EcoRI (Ruis H. 1990, S.30).

wo sie den Zweck haben, Fremd-DNA zu zerschneiden und somit biologisch unwirksam zu machen (also das Gegenteil dessen, wozu sie in der Gentechnik verwendet werden). Die meisten der in der Gentechnik verwendeten Restriktionsenzyme haben die Eigenschaft, eine spezifische Basensequenz zu erkennen und versetzt zu schneiden (siehe Abb.1.2.). Dadurch entstehen freie Einzelstrangenden mit komplementärer Basensequenz. Durch Basenpaarung können nun beliebige DNA-Fragmente, die mit dem gleichen Enzym geschnitten wurden, wieder miteinander verbunden werden.

Um DNA-Fragmente in einen Organismus zu transferieren (**GENTRANSFER**) und dort zu vermehren, werden sie nach obigem Prinzip zunächst in einen **VEKTOR** eingebaut (siehe Abb.1.3.). Vektoren nennt man die Überträger von DNA-Fragmenten, in erster Linie sind das Viren und Plasmide. Ist das DNA-Fragment in den Vektor eingebaut - es heißt dann **INSERT** - wird es zusammen mit diesem in den **WIRTSORGANISMUS** übertragen. Der Organismus, aus dem das DNA-Fragment stammt, heißt **SPENDERORGANISMUS**.

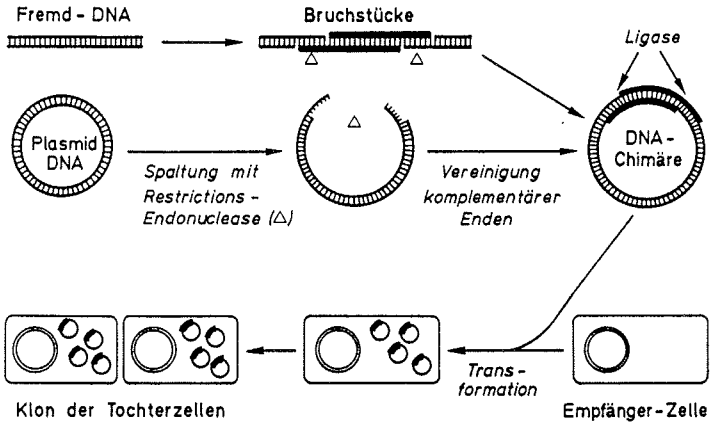

Abb. 15.21 Vereinfachte Darstellung der Methode zur Herstellung einer Hybrid-DNA oder „DNA-Chimäre" durch Insertion eines Stückes von eukaryotischer DNA in ein Bakterien-Plasmid. Fremde DNA und Plasmid-DNA werden *in vitro* durch die gleiche *Restrictions-Endonuclease* gespalten. Dabei entstehen Bruchstücke mit „klebrigen" Enden (überstehende Einzelstränge mit komplementären Basen). Durch Mischen beider DNA-Moleküle und Behandeln mit *Ligase* entstehen Plasmide mit inserierter eukaryotischer DNA. Diese DNA-Chimären lassen sich in transformierbare Bakterien einführen. Sie werden durch Massenkultur des Bacteriums vermehrt. Aus dem Klon läßt sich die Fremd-DNA gewinnen

Abb.1.3.: Vereinfachtes Schema der Klonierung von Fremd-DNA in Bakterien (Schlegel H.G. 1985, S.471).

Es gibt verschiedene Arten des **GENTRANSFERS**. Die bei Bakterien am häufigsten verwendete Methode wird als **TRANSFORMATION** bezeichnet. In einer nicht ganz präzisen Weise verwendet man den Begriff Transformation auch für jede andere Art von DNA-Transfer. Bei vielzelligen Organismen werden immer einzelne Zellen (oder Zellgruppen) transformiert, aus denen in einem zweiten Schritt ganze Organismen regeneriert werden. Das Resultat eines Gentransfers ist ein **TRANSGENER ORGANISMUS** bzw. **GEO** ("genetically engineered organism"). Das neue Gen, das ihm eingepflanzt wurde, nennt man auch **FREMDGEN**. Nach erfolgreicher Transformation enthält der Wirtsorganismus ein Stück rekombinanter DNA, die in jedem Reproduktionszyklus des Wirtes mitrepliziert (also kloniert) und – je nach verwendetem Vektor – auch exprimiert wird.

Weiters werden zum Methodenarsenal der Gentechnik noch eine Reihe von Verfahren gerechnet, um DNA zu markieren, nachzuweisen, zu charakterisieren, etc.

Einteilung gentechnischer Arbeitsbereiche nach Sicherheitsaspekten:

In Hinblick auf ökologische Auswirkungen und Risikopotential bzw. Regelungsbedarf werden unterschiedliche, von obiger Einteilung differierende Anwendungsbereiche der Gentechnik unterschieden. Die meisten Sicherheitsrichtlinien und Gentechnologiegesetze[2] folgen dieser

[2] vgl. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 1990, NIH-Guidelines 1986, Gesetzesentwurf für ein österreichisches Gentechnikgesetz (BMGSK 1991).

Einteilung.

1. ***Gentechnische Arbeiten in "geschlossenen Systemen":***
   Durch eine Reihe von Maßnahmen soll verhindert werden, daß lebende GEOs aus einem **GESCHLOSSENEN SYSTEM** in die Umwelt gelangen. Solche Maßnahmen umfassen das **"PHYSIKALISCHE CONTAINMENT"** und das **"BIOLOGISCHE CONTAINMENT"**. Ersteres besteht in technischen Vorkehrungen, die das Entweichen von GEOs in die Umwelt verhindern sollen. Letzteres bezieht sich auf die Verwendung spezieller Mikroorganismen. Es werden sogenannte **SICHERHEITSSTÄMME** verwendet, die gewisse Defekte besitzen, welche ihnen das Überleben außerhalb des Labors erschweren sollen. Darüber hinaus *sollte* die "gute Laborpraxis" eine **UNBEABSICHTIGTE FREISETZUNG** von GEOs verhindern.[3] Nach der Menge der GEOs (**KULTURVOLUMINA** von Mikroorganismen), mit denen hantiert wird, lassen sich zwei Arten von geschlossenen Systemen unterscheiden:

   - das **GENTECHNISCHE LABOR**, in dem nur mit kleinen Mengen hantiert wird und wo vor allem Arbeiten zu Forschungszwecken durchgeführt werden
   - und **GENTECHNISCHE PRODUKTIONSANLAGEN**, in denen GEOs zur industriellen Herstellung bestimmter Substanzen kultiviert werden.

   Gentechnische Labors und Produktionsanlagen werden zusammen auch als **GENTECHNISCHE ANLAGEN** bezeichnet.

2. ***Die "absichtliche Freisetzung" von GEOs in die Umwelt:***
   Für gewisse Anwendungen ist es notwendig, GEOs gezielt in die Umwelt freizusetzen. Beispiele für **ABSICHTLICHE FREISETZUNGEN** finden sich vor allem im Bereich der Pflanzenproduktion und der Umweltbiotechnologie (siehe oben).

BIOTECHNOLOGIE:

Unter Biotechnologie verstand man traditionellerweise die schon seit Jahrtausenden bekannten Methoden zur Herstellung von Lebensmitteln (Brot, Käse) und alkoholischen Getränken (Wein, Bier). "Dieser empirischen Biotechnologie steht die heutige Biotechnologie gegenüber[4], die ein interdisziplinäres Arbeitsgebiet von Mikro- und Molekularbiologen, von Biochemikern, Genetikern, Gentechnologen, Zell- und Immunbiologen und von Verfahrenstechnikern geworden ist. Sie arbeiten an Prozessen der Stoffumwandlung, die auf der technischen Nutzung von lebenden Zellen (Mikroorganismen, pflanzliche und tierische bzw.

---

[3] vgl. z.B. die Richtlinien zum Schutz vor Gefahren durch in-vitro neukombinierte Nukleinsäuren: Enquete-Kommission 1990, S.381ff.

[4] oft auch als *"Neue Biotechnologie"* bezeichnet.

menschliche Zellkulturen) und der Verwendung isolierter Enzyme basieren. Die Biotechnologie hat Querschnittscharakter, der sich u.a. darin zeigt, daß sie in so verschiedenen Industriezweigen angewendet wird, wie z.B.

- bei der Umwandlung von Rohstoffen in Grund- und Spezialchemikalien,
- bei der Rohstoffversorgung in der Chemie und im Energiesektor,
- bei der Herstellung und Konservierung von Nahrungs- und Genußmitteln,
- bei der Herstellung von Diagnostika, Impfstoffen und Medikamenten,
- in der Abwasserreinigung (als größenordnungsmäßig bedeutendstes Einsatzgebiet) und bei anderen Umweltschutzverfahren" (Enquete-Kommission 1990, S.41).

Berührungspunkte zwischen Biotechnologie und Gentechnologie ergeben sich dort, wo mit gentechnischen Methoden biotechnologische Prozesse verbessert werden können. Das ist grundsätzlich bei allen biotechnologischen Prozessen zu erwarten (ebd.).

ZELLBIOLOGISCHE METHODEN:

Unabhängig von der Gentechnik wurden in den letzten Jahren Methoden entwickelt, die es erlauben, Zellen höherer Lebewesen aus dem Organismenverband herauszulösen und im Labor (in-vitro) zu handhaben (pflanzliche und tierische Zell- und Gewebekulturen). Die Möglichkeiten der Erforschung und Manipulierbarkeit bestimmter Lebensprozesse wurden dadurch beträchtlich erhöht. Wichtige Beispiele dafür sind die Regeneration ganzer Pflanzen aus einzelnen Zellen, Klonierungsmethoden und künstliche Befruchtung (in-vitro Fertilisation). Die Eingriffsebene zellbiologischer Methoden bleibt jedoch die ganze Zelle, während die Gentechnik subzellulär - am Genom - eingreift. Das für sich genommen schon hohe Innovationspotential beider Methoden kann durch ihre kombinierte Anwendung beträchtlich gesteigert werden. Desgleichen sind viele manipulative Eingriffe nur durch die integrierte Anwendung zellbiologischer und gentechnologischer Methoden möglich.

2. Anwendungsbereiche der Gentechnik

2.1. Ein Überblick[5]

Ein kurzer Überblick über die Anwendungsbereiche der Gentechnologie soll nicht nur ihr hohes Innovationspotential für fast alle im weitesten Sinn biologische Forschungs- und Produktionszweige illustrieren, sondern auch die demokratiepolitisch relevante Charakteristik einer "infiltrierenden Technologie"[6] verdeutlichen.

1. ***Biologische Stoffumwandlung und Rohstoffversorgung:***
   In praktisch allen Bereichen der Biotechnologie erwartet man sich durch die Gentechnik einen hohen Innovationsschub (siehe oben).

2. ***Pflanzenproduktion:***
   Die allgemeinen Ziele der Pflanzenzüchtung - Qualitätsverbesserung, Resistenzerwerb und Ertragssteigerung - sind auch allgemein die Ziele des gentechnischen Einsatzes in der Pflanzenproduktion. Zur Zeit aktuelle Projekte betreffen:
   - Veränderung pflanzlicher Inhaltsstoffe,
   - Herbizid-resistente Pflanzen,
   - Bekämpfung von Krankheitserregern und Schädlingen,
   - Stickstoff-fixierende Pflanzen,
   - Verbesserung der Photosyntheseleistung,
   - Veränderung von Bodenmikroorganismen und
   - Anpassung an Umweltfaktoren (z.B. Frostschutz).

3. ***Tierproduktion:***
   Die gegenüber pflanzlichen Organismen weitaus größere Komplexität höherer Tiere spiegelt sich auch im Stand der Forschung zur Erzeugung transgener Tiere wieder. Erfolgreiche Gentransfer-Experimente wurden an einigen ausgewählten Spezies durchgeführt: Drosophila (Taufliege), Xenopus (Krallenfrosch), Labormaus. Im Bereich transgener Nutztiere lassen sich folgende Anwendungen erkennen:
   - Hormonmanipulationen,
   - Einführung neuer Stoffwechselwege,
   - Veränderung der Zusammensetzung von Faserproteinen (z.B. Seide, Wolle),
   - Krankheitsresistenzen,
   - Impfstoffe und

---

[5] vgl. Enquete-Kommission 1990, S.40-193.

[6] aus einem Gespräch mit Marina Fischer-Kowalski

- "gene farming": transgene Tiere als "Biofermenter" für bestimmte Produkte, die dann z.B. mit der Milch ausgeschieden werden.

4. ***Umweltbiotechnologie:***

Mit Umweltbiotechnologie wird ein relativ neues Forschungsgebiet bezeichnet, in dem es vor allem darum geht, mit Hilfe der Gentechnik Mikroorganismen zu konstruieren, die spezifische Aufgaben in der Umwelt erfüllen sollen, wie z.B.:

- Abbau von toxischen Substanzen,
- Anreicherung von Schwermetallen,
- Gentechnische Veränderung von Mikroorganismen zum Zweck der Schädlingsekämpfung ("Biologische Schädlingsbekämpfung") und
- Mineralanreicherung ("leaching").

5. ***Pharmazeutische Industrie:***

In der pharmazeutischen Industrie liegt neben Grundlagenforschung der zur Zeit mit Abstand bedeutendste und am weitesten entwickelte Anwendungsbereich der Gentechnik. Schwerpunkte sind:

- Therapeutika – darunter Human-Insulin, das erste zur Vermarktung zugelassene gentechnisch erzeugte Medikament –,
- Diagnostika – speziell DNA-Sonden und monoklonale Antikörper – und
- Impfstoffe – darunter Projekte zur Entwicklung von Cholera-, HIV-, Herpes- und Malaria-Vakzinen (Enquete-Kommission 1990, S.124).

6. ***Grundlagenforschung:***

Die Gentechnik ist eine der wichtigsten Standardmethoden in der molekularbiologischen Grundlagenforschung geworden (vgl. Ruis H. 1990).

7. ***Humangenetik:***

Die Aussicht, manipulierend ins menschliche Genom eingreifen zu können, veranlaßte schon 1963 (also 10 Jahre bevor die Methoden zur Manipulation entwickelt waren) die damalige Elite der Molekularbiologie, Zukunftsszenarien zu entwerfen[7], die Erwin Chargaff einen "Musterkatalog der Hölle" genannt hat (Chargaff E. 1989, S.151). Der Zusammenhang zwischen Gentechnik und Eugenik ist nach wie vor Gegenstand kontroversieller Diskussionen und kann in diesem Zusammenhang nicht näher erörtert werden. Aktuelle Projekte sind Genomanalyse und somatische Gentherapie.

---

[7] auf dem Ciba-Symposium 1963 (Jungk R., Mundt H.J. 1988).

2.2. Branchen-Struktur der "Neuen Biotechnologie" in Österreich[8]

In ökonomischen Analysen wird der Einsatz der Gentechnik nicht eigens untersucht, sondern im Rahmen der *"Neuen Biotechnologie"* (NBT) erfaßt. Sie umfaßt eine Vielzahl von Produkten und Prozessen in den unterschiedlichsten Bereichen (siehe oben).

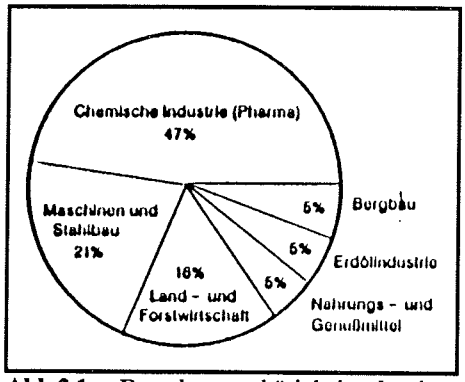

Abb.2.1.: Branchenzugehörigkeit der befragten Unternehmen (BMWF 1988, S.213).

Die im Rahmen der BMWF-Studie *"Biotechnologie in Österreich"* befragten Industrieunternehmen, die Biotechnologie[9] betreiben, kommen zu etwa der Hälfte aus der chemischen Industrie (Pharmabereich). Der zweite in bezug auf Gentechnik relevante Bereich ist die Land- und Forstwirtschaft. Der beträchtliche Anteil der Maschinen- und Stahlbau-Branche kommt durch den in Österreich stark vertretenen Anlagenbau zustande, in dem insgesamt die Hälfte der Unternehmen tätig ist (BMWF 1988, S.214). Im Sinne des Projektes würde diese Branche – als reiner Vorleistungsbereich – *nicht* den Gentechnik anwendenden Unternehmen zugeordnet werden. Nur *56%* der befragten Unternehmen gaben an, im Bereich *"Genetik"* zu arbeiten (ebd., S.215).

2.3. Ökonomisches Potential der Neuen Biotechnologie

Da sich die NBT in einem Frühstadium der industriellen Nutzung befindet, kann eine ökonomische Analyse nicht mehr als *"plausible Spekulation"* sein. In der ökonomischen Theorie gibt es die weit verbreitete Vorstellung, daß die wirtschaftliche Entwicklung in *"langen Wellen"* verläuft. Aufschwungphasen werden durch die Ausbreitung von neuen *"Basistechnologien"* ausgelöst, die sich meist sehr langsam verbreiten, weil sie teilweise große Umstellungen des

---

[8] Kapitel 2.2. und 2.3. beruhen – sofern nicht anders angegeben – auf zwei Beiträgen von Wolfgang Polt (1989 und 1991).

[9] Bei den Befragungen wurde von folgender Definition ausgegangen: "BIOTECHNOLOGIE ist die integrierte Anwendung von Biochemie, Mikrobiologie und Verfahrenstechnik mit dem Ziel, eine technische Anwendung des Potentials von Mikroorganismen, Zell- und Gewebekulturen sowie Teilen davon zu erreichen (BMWF 1988, S.13).

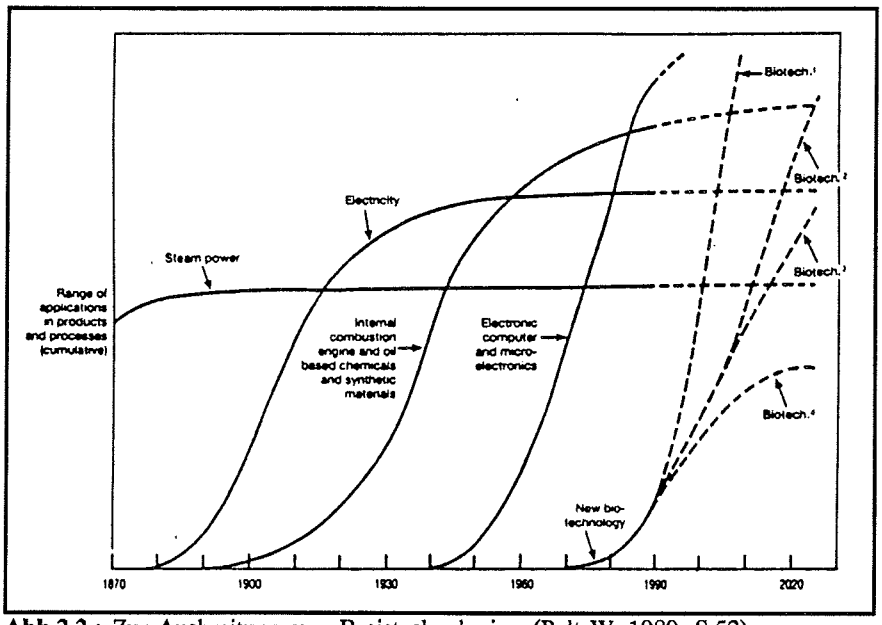

Abb.2.2.: Zur Ausbreitung von Basistechnologien (Polt W. 1989, S.52).

Produktionssystems erfordern (siehe Abb.2.2.). Dies schließt jedoch keineswegs aus, daß Basistechnologien weitreichende ökonomische Auswirkungen haben können. Laut der überwiegenden Anzahl der Prognosen ist eine breite industrielle Nutzung nicht vor der zweiten oder dritten Dekade des nächsten Jahrhunderts zu erwarten. Allerdings weisen bereits die Prognosen bis zum Jahr 2000 Unterschiede von 1:7 auf (siehe Abb.2.2.). Eine Erhebung des Stanford Research Institute prognostiziert weltweit für diesen Zeitpunkt ein Marktvolumen von *51 Mrd.US$* (Cometta 1986 nach BMWF 1988, S.36). Bei einem geschätzten österreichischen Anteil von 0,6% am globalen Bruttosozialprodukt ergäbe dies für Österreich ein Marktpotential von *3,6 Mrd.ÖS* (BMWF 1988, S.38f).

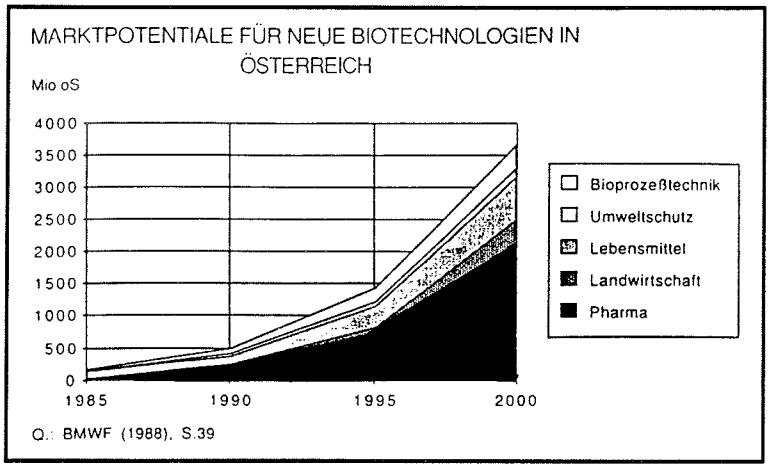

Abb.2.3.: Mögliche Entwicklung der Marktpotentiale der NBT für Österreich (Polt W. 1989, S.58).

So gut wie alle Prognosen sind sich darin einig, daß die *Pharmabranche* und die *Landwirtschaft* in der nächsten Zukunft die Wachstumsbereiche der NBT sein werden, wobei kurz-

fristig der Pharmabereich überwiegt (siehe Abb.2.3.). Ihm werden bis zum Jahre 2000 jährliche Wachstumsraten von 25–40% vorausgesagt (BMWF 1988, S.II). Über dem Durchschnitt liegende Wachstumsraten sind auch für den Agrarsektor zu erwarten. In den übrigen Bereichen wird von einer 15%igen jährlichen Zuwachsrate ausgegangen (ebd.).

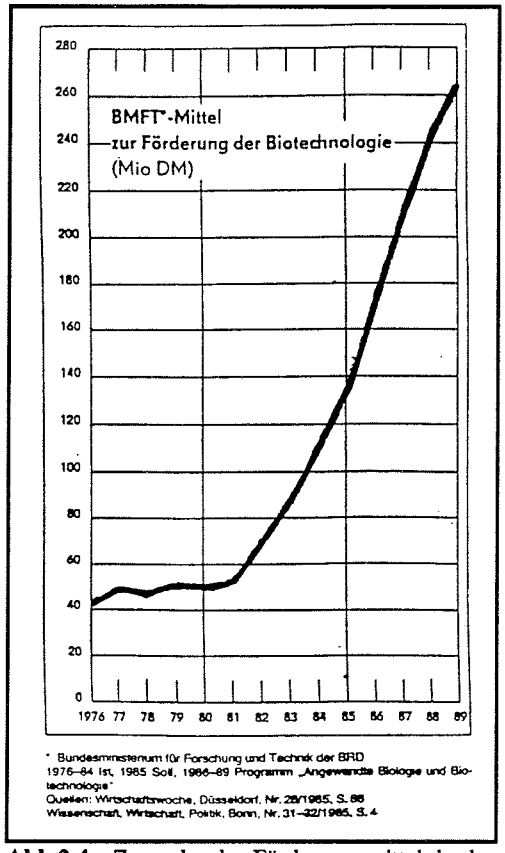

Abb.2.4.: Zuwachs der Förderungsmittel in der BRD (Polt W. 1989, S.54).

Im Verhältnis zu den Marktvolumina wachsen die Förderungsmittel überproportional – ein typisches Kennzeichen für den *"infant industry"*–Status der NBT–Anwendungen (siehe Abb.2.4.). Dennoch muß Gentechnik schon jetzt als beobachtenswerte Technologie gelten. So meint etwa die OECD: "... new biotechnology is distinguished from all other major technologies of the 20th century by the fact that its impacts on the quality of life [...] are arriving earlier and may go deeper than its economic impacts" (OECD 1998, S.4).

3. Einreihung der Gentechnik in die GELs

3.1. Isolieren, um zu manipulieren

Die Berücksichtigung der *"Gezielten Eingriffe in Lebensprozesse"* (GELs) im Rahmen dieses Projektes trägt dem zunehmend *kybernetischen Zugang* des Menschen zur Natur Rechnung (Fischer-Kowalski M. et al. 1991a, S.185-187). Der Mensch versucht in immer stärkerem Ausmaß, die Natur in bewußter Weise *nach seinen Bedürfnissen umzugestalten* und sie für seine Zwecke zu nutzen. Ein Kennzeichen dieser Entwicklung ist seine Fähigkeit, immer kleinere *Teile* aus ihren *natürlichen Zusammenhängen* zu *isolieren* und diese Einheiten in einer nutzbringenden Weise zu *verändern*.

Diese Tendenz läßt sich bis zu den *Anfängen der Landwirtschaft* zurückverfolgen, als der Mensch begann, Nutzpflanzen und -tiere aus ihrer natürlichen Umgebung (Ökosystem) zumindest partiell zu *lösen* und zu *verbessern* (klassische Zucht). Den Möglichkeiten zur Isolierung und Manipulation waren allerdings enge Grenzen gesetzt. Ein *qualitativer Sprung* im Verhältnis des Menschen zur Natur zeichnete sich mit dem Einzug der *modernen Naturwissenschaften* ab. Ein zunehmend *analytisch-manipulativer Zugang* war das Erfolgsrezept für Physik und Chemie und zuletzt im 20. Jhd. auch für die Biologie. Parallel dazu verlagerte er die Ebene der manipulativen Eingriffe in lebende Systeme in immer tiefere Schichten der natürlichen Hierarchie.

Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, stellt die *Gentechnologie* den vorläufigen Höhepunkt in der Verwirklichung des alten (naturwissenschaftlich-mechanistischen) Traums dar, "... die lebende Materie in immer kleinere Einheiten zu zerlegen, um sie dann [nach erfolgter Manipulation] wieder neu zusammensetzen zu können" (Hien W. 1990, S.52).

Die Zerlegung und Zergliederung der Natur durch die Wissenschaft basiert im wesentlichen auf der von *René Descartes* formulierten Methode, "... die sich an dem Vorbild der Mathematik orientiert, indem sie Phänomene in möglichst kleine, scharf voneinander getrennte Teile zerlegt, diese abstrahierend rational-sequentiell zu ordnen versucht und Gesetze einführt, die dei kausalen Beziehungen dieser Teile vorschreiben." Dies hat zur Folge, daß die "ursprünglichen Fragen nach dem Was und dem Warum" aufgegeben werden zugunsten der *"Wie-Frage"* (Detschey S. 1990, S.57). Wirkungsmechanismen und Funktionszusammenhänge von Einzelteilen treten in den Vordergrund und verdrängen andere Arten der Interpretation der Naturphänomene, wie z.B. die *historische Betrachtungsweise*. Gerade in der Molekularbiologie - und hier speziell im Bereich der Gentechnik - tritt die Vernachlässigung des historischen Aspekts von lebenden Systemen offen zutage.

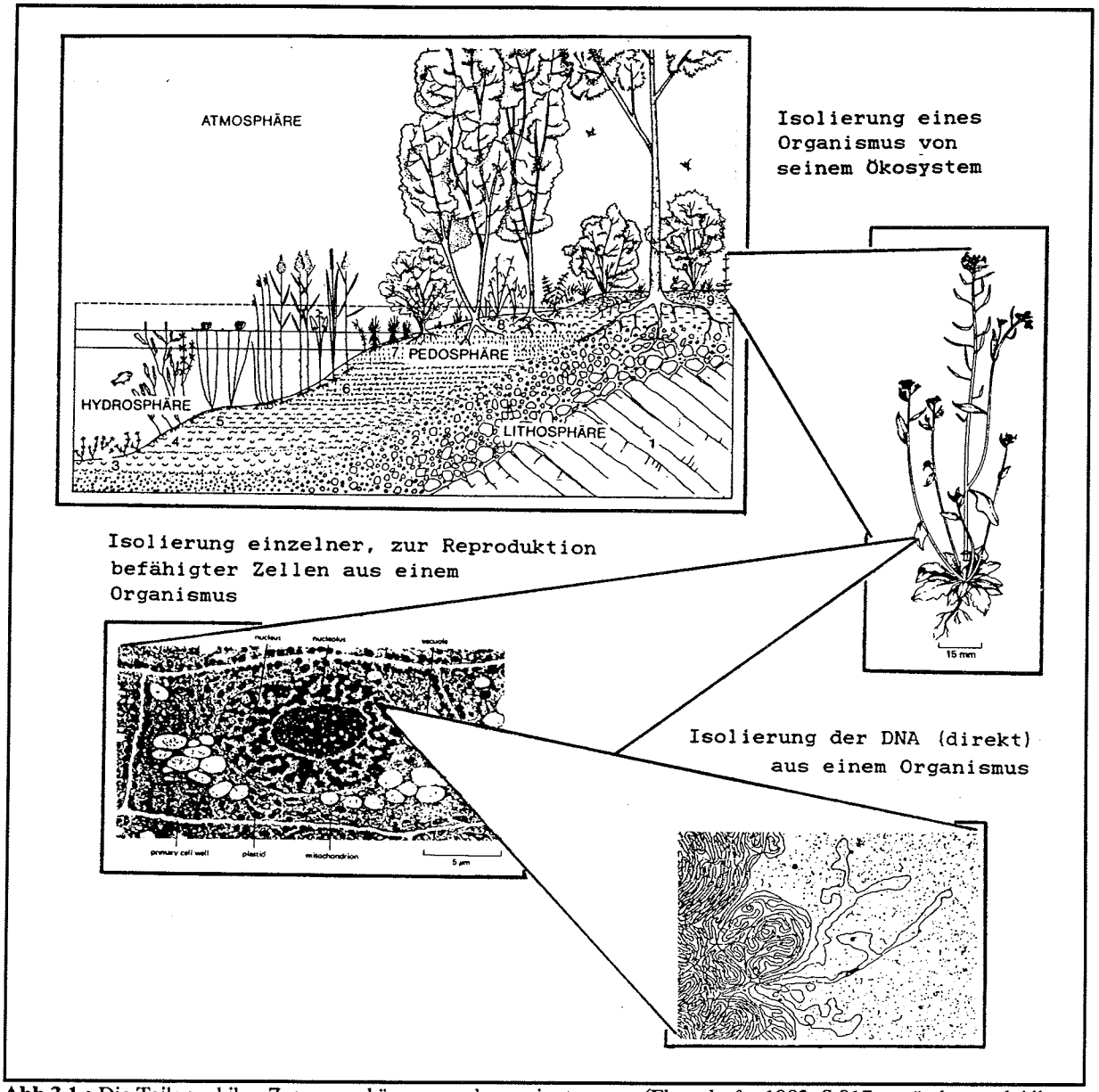

Abb.3.1.: Die Teile und ihre Zusammenhänge, aus denen sie stammen (Ehrendorfer 1983, S.917, verändert und Alberts et al. 1989, S.200, S.1139 und S.1184, verändert).

Durch Isolierung und Zergliederung der Phänomene werden die natürlichen Zusammenhänge zwischen den Teilen eines Gesamtsystems größtenteils *zerstört*. So kommt es, daß "der Biologe bei der Erforschung elementarer Lebensvorgänge, zum Beispiel auf der molekularen Ebene, verfährt, als ob er nicht wisse, daß es den ganzen Organismus gibt, in dem sie stattfinden ..." (Jonas H. 1984, S.136). Allerdings ermöglicht diese Isolierung, Objekte "einem *von außen auferlegten Zwang*" zu unterwerfen (Feyerabend P. 1976 nach Detschey S. 1990, S.57). Durch diesen unter natürlichen Bedingungen nicht ausübbaren Zwang kann man die "Loslösung eines Prozesses von seiner natürlichen Zweckbestimmtheit" und seine "freie

Veränderung und Gestaltung für die Zwecke des Menschen" erreichen (Detschey S. 1990, S.57).[10]

"In einem weiteren Schritt – der *Synthese* – wird dann aus den Teilen, den vorgefaßten Gesetzen und Hypothesen entsprechend, wieder ein Ganzes konstruiert ..." (ebd.). Im Falle der Gentechnik haben wir es mit der Isolierung einzelner *Gene*[11] aus ihrem Zusammenhang in der *Zelle* sowie ihrer gezielten Veränderung zu tun. Die Zelle ihrerseits ist nur ein Teil eines ganzen *Organismus*. Der Organismus wiederum ist ein wechselwirkender Bestandteil des *Ökosystems*, aus dem er stammt (siehe Abb.3.1.). Der Synthese–Schritt (Gentransfer) besteht nun darin, daß das isolierte und unter Umständen veränderte Gen mit einem anderen Organismus zu einem *neuen Ganzen* kombiniert wird.

Mit der Gentechnologie ist die *"fortschreitende Atomisierung der Naturphänomene"* (ebd.) an der "unteren Grenze der Biologie" angelangt. Sie ist dort an die Grenze zur Chemie gestoßen und hat somit die Natur hierarchisch bis in die kleinstmöglichen Subsysteme, die noch "biologische Information" tragen, zerlegt.

3.2. Systematik der GELs

Entsprechend diesem Trend zur Isolierung und Manipulation lassen sich die im Projekt behandelten GELs wie folgt in eine *Hierarchie von Eingriffsebenen* einordnen (siehe dazu Abb.3.2. u. Tab.3.1.)[12]:

Eingriffsebene: Ökosystem:

- Auf der Ebene der *Ökosysteme* – sozusagen die makroskopische Ebene der Umwelt – greift der Mensch in zweifacher Art gezielt in Lebensprozesse ein. Einerseits wird ein Teil der Umwelt durch die Platzbeanspruchung des sozioökonomischen Systems *verdrängt* (Städtebau, Industrieanlagen, Verkehrswege, ...). Anderseits *gestaltet* er in bewußter Weise bestimmte Aspekte von Ökosystemen *um*, indem er natürliche Prozesse für seine Zwecke nutzt (Land– und Forstwirtschaft, Wasserkraftwerke, Flußregulierungen) (Haberl H. 1991, Kap.5.).

Eingriffsebene: Organismus:

- Die *Isolierung* von *"leidensfähigen Organismen"* unterbricht ihre artgemäße Interaktion

---

[10] Die analytische Zergliederung der Phänomene geht außerdem einher "... mit einem *Verlust von Werten*, die ja immer nur in einem Gesamtzusammenhang erkennbar und wirksam sind." Überdies hat sie zur Folge – und hierfür ist die Genetik ein Musterbeispiel –, daß es zu einer "... Explosion des Wissens und zur Produktion von *Spezialisten* [kommt], die nicht mehr in der Lage sind, über den Tellerrand ihres Fachgebietes hinauszuschauen" (ebd., S.57f).

[11] bzw. allgemein: von DNA–Sequenzen.

[12] Die Folgewirkungen sind naturgemäß nicht auf eine der Ebenen beschränkt.

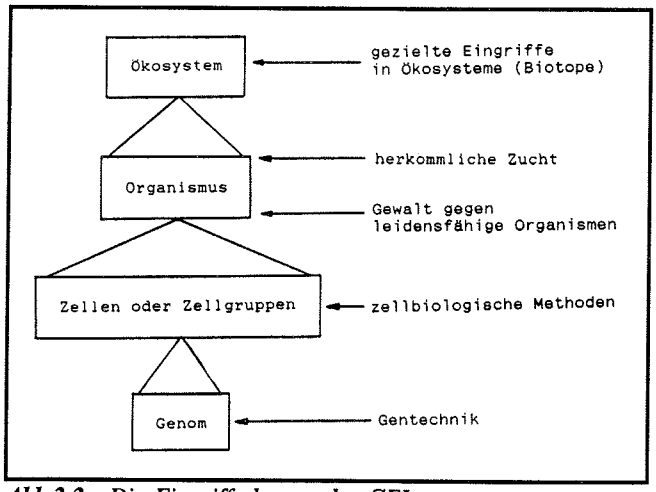

Abb.3.2.: Die Eingriffsebenen der GELs

mit dem für sie relevanten Ausschnitt der Umwelt. Dadurch sowie durch direkte *Gewaltanwendung* wird *Tierleid* verursacht (Haberl H. 1991, Kap.6.).

- Von ihrer Umgebung isolierte *Organismen* können durch *herkömmliche Zuchtmethoden* verändert werden. Dabei werden die genotypischen Eigenschaften eines Organismus, auf die aufgrund phänotypische Merkmale geschlossen wird, in einer *iterativen Art* entlang einer Kette von Vermehrungszyklen des Organismus verändert. Bei jedem einzelnen Vermehrungsschritt werden nur bestimmte Individuen, welche die gewünschten Merkmale tragen, zur Reproduktion zugelassen.[13]

Eingriffsebene: Zellen oder Zellgruppen

- Die modernen *zellbiologischen Methoden* (z.B. in-vitro Fertilisation, Klonierung, etc.) basieren auf einem weiteren Isolierungsschritt, und zwar dem Herauslösen von zur sexuellen oder asexuellen Reproduktion befähigten *Zellen oder Zellgruppen* aus dem Zusammenhang des Organismus, weiters ihrer Vermehrung und Manipulation in-vitro und unter Umständen ihrer Rückführung in den Ausgangsorganismus bzw. einer Regeneration des ganzen Organismus aus einzelnen Zellen.[14]

Eingriffsebene: Genom

- *Gentechnik* - die Isolierung von DNA-Sequenzen, ihre Veränderung und ihr Transfer in andere Organismen - ist die Konsequenz des Hinabsteigens auf die *hierarchisch tiefste Ebene* lebender Systeme, die noch das Attribut "biologisch" verdient. Sie drängt die Kette der iterativen Teilschritte eines Zuchtexperiments zusammen auf einen *einzigen Manipulationsschritt* direkt im Genom. Während die herkömmliche Zucht bislang gezwungen war, vom Phänotyp auf den Genotyp zu schließen, dreht die Gentechnologie den Spieß um und verändert durch die Manipulation des Genotyp den Phänotyp eines Organismus.

---

[13] Der Bereich der traditionellen Zucht wurde im Rahmen des Projekts bislang noch nicht bearbeitet.

[14] Auch die zellbiologischen Methoden wurden noch nicht behandelt.

Eingriffs-ebene	*Lebenspro-zeß, in den primär ein-gegriffen-wird*	*Beschreibung d. Eingriffs*	*unmittelbar bewirkte Veränderung*	*Zweck des Eingriffs*
Ökosystem	alle denk-baren	Anlegen von Straßen, Fel-dern, Nutzwäl-dern, Betrie-ben, Städten	Verdrängung durch das Wirtschafts-system, Umgestaltung d. Ökosystems	Verkehr, landw.Pro-duktion, industri-elle Pro-duktion, Wohnen
Organismus	artgemäße Interak-tion von leidens-fähigen Organismen mit ihrer natürli-chen Um-welt	Isolation des Organismus v. seiner natür-lichen Umwelt u. Einbringen in künstliche Umwelt, direk-te Gewaltan-wendung	Einschränkung d. Bewegungs-Freiheit, Ma-nipulierbar-keit d. Orga-nismus	Produktion v. tieri-schen Pro-dukten, Na-turerlebnis (Haustiere) wiss. Er-kenntnisse (Versuchs-tiere)
Organismus	Reproduk-tionsbio-logie der Organismen	Auswahl von Organismen, die zur Repro-duktion zuge-lassen werden (Zucht)	Änderung der Häufigkeiten von Genotypen innerhalb einer Art	nutzbrin-gende Ände-rung des Phänotyps
Zellen od. Zellgrup-pen	Reproduk-tionsbio-logie ein-zelner Zel-len oder Zellgrup-pen	(a)sexuelle Vermehrung ei-nes Zelltyps, Regeneration d. ganzen Orga-nismus, in-vitro Selek-tion, Herstel-lung von Vari-anten	Änderung der Häufigkeiten von Genotypen innerhalb ei-ner Art (ef-fektiver als Zucht)	nutzbrin-gende Ände-rung des Phänotyps, (massenhaf-te) Vermeh-rung, Pro-duktion von Stoffen
Genom	DNA-Sequen-zen	Transfer von beliebigen DNA-Sequenzen zwischen be-liebigen Orga-nismen (Gen-technologie)	Änderung d. Informations-gehalts des Genoms (Genotyp)	wissen-schaftl. Erkenntn., nutzbrin-gende Än-derung des Phänotyps

Tab.3.1.: Wichtige Charakteristika der GELs im Überblick.

Beim Hinabsteigen in obiger Hierarchie der Eingriffsebenen fällt auf, daß das Verhältnis von *Aufwand des Eingriffs* zu *möglicher Veränderung kleiner* wird (vgl. Kap.4.2.).[15] Das Eindringen in immer fundamentalere natürliche Prozesse *erhöht* also die (potentielle) *Wirkungsreichweite* des Eingriffs.

[15] Der Bereich "Tierleid" entzieht sich allerdings einer derartigen Beurteilung.

3.3. Abgrenzung der Gentechnik gegenüber zellbiologischen Methoden

In der *öffentlichen Diskussion* werden die Methoden der Gentechnik oft mit zellbiologischen Methoden vermischt (Stichwort "in-vitro Fertilisation"), obwohl es sich um zwei prinzipiell unterschiedliche Arten von Eingriffen in lebende Systeme handelt. Zur *Abgrenzung* des Themas "Gentechnologie" für die weitere Diskussion im Rahmen des Projekts soll deshalb nochmals kurz auf den wesentlichen Unterschied eingegangen werden (vgl. Kap.1.).

Zellbiologische Methoden können - im Gegensatz zur Gentechnik - größtenteils nur Veränderungen hervorrufen, die auch unter natürlichen Bedingungen möglich sind. Die *kleinsten Einheiten*, mit denen hantiert werden kann, sind einzelne *Zellen* eines Organismus, wohingegen die Gentechnik mit subzellulären Einheiten (DNA) arbeitet.[16] Die Veränderungen am Genom, die von dieser zellulären Ebene aus bewirkt werden können, sind im Gegensatz zur Gentechnik entweder *nicht gezielt*[17], oder sie betreffen das *Genom als ganzes*.[18] Zellbiologische Methoden dienen im wesentlichen der *massenhaften Vermehrung* ganz bestimmter Zellen und der *Regeneration ganzer Organismen* aus einzelnen Zellen.

Hier eine Liste wichtiger zellbiologischer Methoden[19]:

Tiere:

- tierische Gewebekulturen - KLONIERUNG
- Kryokonservierung von Samen und Embryos
- künstliche Besamung
- Embryotransfer ("Leihmutterschaft")
- in-vitro Fertilisation
- mikrochirurgisches Teilen von frühen Embryonalstadien (Zwillingsproduktion)
- Fusion entkernter Oozyten mit diploiden Embryonalzellen
- Produktion von homozygoten Diploiden durch Parthenogenese
- Bildung von Chimären
- "Sexen" von Embryonen (Auswahl d. Embryonen nach dem Geschlecht)
- Mutagenese durch Bestrahlung
- gezielte Mutagenese (auch mit gentechnolog. Mitteln)
- künstliche Polyploidisierungen
- Zellfusion tierischer Zellen (z.B. Hybridomazellen)

---

[16] Die kleinste Einheit einer gentechnischen Manipulation ist ein Nukleotid.

[17] z.B. Mutagenese durch Bestrahlung.

[18] z.B. künstliche Polyploidisierungen oder die Herstellung von haploiden Pflanzen.

[19] zu den versch. Methoden siehe z.B.: Tiere: Idel A., Kamphausen R. 1986 und Schellander K. 1990; Pflanzen: Ruckenbauer P. 1990; Wenzel G. 1989; Holzapfel W.H., Hammes W.P. 1989; Meussdoerfer F., Hirsinger F. 1989.

Pflanzen:

- pflanzliche Gewebekulturen, inkl. somatischer Regeneration oder Embryogenese ganzer Pflanzen (z.B. Meristem-, Kallus-, Suspensionskulturen) - KLONIERUNG
- Antheren-, Pollen- u. Embryosackkulturen zur Haploidenproduktion
- Protoplastenfusion zweier auch herkömmlich kreuzbarer Arten
- künstliche Polyploidisierungen
- Mutagenese durch Bestrahlung
- gezielte Mutagenese (auch mit gentechn. Mitteln)
- somatoklonale Variation

Die ***Klonierung*** ist ein integrativer Bestandteil gentechnischer Methoden und wird infolgedessen bei der Entwicklung von Indikatoren zu berücksichtigen sein.

Die sogenannte ***"Zell- oder Protoplastenfusion"*** nimmt eine Art *Zwitterstellung* zwischen zellbiologischen und gentechnologischen Methoden ein. Es handelt sich dabei um die Verschmelzung ganzer Zellen zweier verschiedener (Pflanzen)-Arten. Manchmal lassen sich aus derartigen Verschmelzungsprodukten ganze Organismen regenerieren[20]. Da auch in diesem Fall - so wie bei der Gentechnik - Gene über Artgrenzen hinweg miteinander kombiniert werden können (vgl. Kap.4.4.), liegt es nahe, auch die Protoplastenfusion zweier unter natürlichen Bedingungen *nicht* miteinander kreuzbaren Arten in die weiteren Überlegungen mit einzubeziehen.

3.4. Wann zählt ein gentechnischer Eingriff als GEL?

Nach der Abgrenzung der Gentechnologie gegenüber zellbiologischen Methoden ist es nun notwendig, aus der Fülle der Teilgebiete und Methoden der Gentechnik die *projektrelevanten gentechnischer Methoden* herauszugreifen.

Einer der Schwerpunkte der Anwendung liegt in der molekularbiologischen *Grundlagenforschung*. Hier steht die Charakterisierung der Strukturen und Funktionen von Genen und Proteinen im Vordergrund. Der mit gentechnischen Methoden mögliche *Informationsgewinn* wird dazu verwendet, Modelle subzellulärer biologischer Funktionsmechanismen aufzustellen, indem biologische Mechanismen auf molekulare Zusammenhänge zurückgeführt werden. Dabei stehen Fragen wie die Steuerung der Zellteilung, die Organisation und Regulation der Genexpression und des Stoffwechsels sowie der Mechanismen, welche die Entwicklung eines ganzen Organismus ermöglichen, im Vordergrund. Für diese Art der Forschung existiert ein *Methodenarsenal*, das auf der *Herstellung transgener Organismen* - vor allem des Bakteriums

---

[20] wie z.B. aus der Verschmelzung von Tomaten- und Kartoffel-Protoplasten. Die resultierende Pflanze wird "Tomoffel" genannt.

E.coli und der Bäckerhefe Saccharomyces cerevisiae[21] – *für die Zwecke der Gentechnik oder der Molekularbiologie* beruht. GEOs dieses Typs werden in allen gentechnisch arbeitenden Labors *routinemäßig* "produziert" und verwendet. Sie dienen dazu, gewisse DNA-Stücke zu vervielfachen oder die Expression bestimmter Gene zu erreichen. Nachdem sie diesen Zweck erfüllt haben, werden sie entsorgt. Zuvor sollten sie laut den allgemein akzeptierten Sicherheitsrichtlinien *abgetötet* werden (Enquete-Kommission 1990, S.381ff).

Weiters lassen sich zwei wesentliche Bereiche *angewandter gentechnologischer Forschung* ausmachen. Hier dient der Gentransfer in Organismen nicht nur der Ausführung obiger grundlegender Methoden, sondern ebenso der Produktion von GEOs, die für *andere Zwecke* als die der Gentechnik eingesetzt werden sollen.

Ein Hauptanwendungsgebiet besteht in der Herstellung von GEOs, die innerhalb *geschlossener Systeme* in der *gentechnischen Produktion* eingesetzt werden (vgl. Kap.1.). Das Fremdgen, welches in einen GEO transferiert worden ist, dient zur Produktion von *Proteinen* oder bestimmter Enzyme, welche die Synthese *anderer Stoffe* steuern. Um die erwünschten Produkte zu isolieren, werden solche GEOs *abgetötet*.

Das zweite wesentliche Anwendungsfeld liegt in der *absichtlichen Freisetzung* von GEOs in die Umwelt (vgl. Kap1.). Sie sollen:
- im Falle landwirtschaftlich genutzter Arten bessere Erträge erbringen,
- im Falle gewisser Viren als Lebendimpfstoffe eingesetzt werden oder
- ganz allgemein in bestimmte ökosystemare Prozesse in einer aus menschlicher Sicht vorteilhaften Weise eingreifen.

Worin besteht nun der *von außen auferlegte Zwang* (vgl. Kap.3.1.), dem ein von der Umwelt isolierter Teil der Natur im Falle der Gentechnik ausgesetzt wird? Es ist dies die *künstliche Kombination von Genen verschiedener Arten* innerhalb einer aus einem Organismus isolierten Zelle, aus der anschließend meist wieder ein ganzer Organismus regeneriert wird. Darunter fallen der *Gentransfer von einem Spender- auf einen Empfängerorganismus* bzw. die *Zell- oder Protoplasten-Fusion* zweier miteinander nicht kreuzbarer Arten. Das resultierende Produkt, ein *einzelner* GEO, wird darüber hinaus – zumeist mittels *Klonierung* – noch vervielfacht.

In vielen Fällen, wie z.B. in der Grundlagenforschung oder der gentechnischen Produktion, sollten die GEOs nicht in die Umwelt außerhalb geschlossener Systeme gelangen. Doch *erst dann, wenn* GEOs die Grenze sozioökonomisches System/Umwelt passieren, liegt ein "Gezielter Eingriff in Lebensprozesse" im Sinne des Projekts vor. Denn im Rahmen des

---

[21] Andere häufig transformierte Organismen sind z.B. die Hefeart Schizosaccharomyces pombe, der Tabak Nikotiana, die Taufliege Drosophila, Säugetier-Zellkulturen, Mäuse sowie eine Reihe anderer Arten.

Projekts sind nur diejenigen Teilgebiete der Gentechnik relevant, die zu einer *Veränderung der Umwelt*[22] in Folge einer *Abgabe* von (biologischem) Material durch das sozio-ökonomische System führen *können*. Bei herkömmlichen Emissionen ist die Abgabe von Stoffen *an sich* der Verursachungsprozeß, welcher weitere Folgewirkungen hervorrufen kann. Da Gentechnik von der Umgebung isolierte Organismen manipuliert, liegt in diesem Fall ein ***zweistufiger Verursachungsprozeß*** vor. Er besteht aus zwei voneinander unabhängigen Ereignissen, des *gentechnischen Eingriffs*[23] und der *Freisetzung* (Abgabe an die Umwelt), die *beide* eintreten müssen, um einen Veränderungsprozeß (oder auch Schädigungsprozeß) *in der Umwelt* in Gang zu setzen.

Für die Entwicklung von Indikatoren werden wir uns somit auf nachstehende *methodische Aspekte* der Gentechnik beschränken[24]:

- ***Gentransfer zwischen einem Spender- und Empfängerorganismus,***
- ***Zell- oder Protoplasten-Fusion zweier nicht kreuzbarer Arten***[25]***,***
- ***Klonierung des GEO*** (vgl. Kap.3.3.),

jedoch immer unter der *Voraussetzung*,

- ***daß die GEOs in die Umwelt gelangen.***[26]

---

[22] "Naturveränderungen", vgl. Kap.3.5.

[23] "Initialereignis", vgl. Kap.3.5.

[24] Im Entwurf zum Gentechnikgesetz werden die gentechnischen Methoden, die durch dieses Gesetz erfaßt werden sollen, folgendermaßen von anderen zell- oder molekularbiologischen Verfahren unterschieden:
- "DNS-Rekombinationstechniken, bei denen Vektorsysteme eingesetzt werden [...].
- Verfahren, bei denen in einen Mikroorganismus direkt Erbgut eingeführt wird, das außerhalb des Mikroorganismus hergestellt wurde [...].
- Zellfusion oder Hybridisierungsverfahren [...] anhand von Methoden [...], die unter natürlichen Bedingungen nicht vorkommen."

Nicht in den Geltungsbereich des Gesetzes sollen die folgenden Verfahren fallen, "... unter der Voraussetzung, daß sie nicht mit dem Einsatz von rekombinanten DNS-Molekülen oder genetisch veränderten Mikroorganismen verbunden sind."
- "In-vitro-Befruchtung.
- Konjugation, Transduktion, Transformation oder jeder andere natürliche Prozeß.
- Polyploidie-Induktion." (BMGSK 1991, Anhang IA)

Darüber hinaus sollen die folgenden Verfahren der genetischen Veränderung vom Gesetz ausgenommen werden, "... vorausgesetzt, daß sie nicht den Einsatz genetisch veränderter Mikroorganismen als Empfänger- oder Ausgangsorganismen implizieren."
- "Mutagenese. [Anm.: das schließt auch Mutagenese mit Hilfe von gentechnologischen Methoden mit ein.]
- Der Aufbau und die Verwendung somatischer tierischer Hybridoma-Zellen [...].
- Zellfusion (einschließlich Protoplastenfusion) von Zellen von Pflanzen, bei der die entstehenden Organismen auch mit herkömmlichen Züchtungstechniken erzeugt werden können.
- Selbst-Klonierung nichtpathogener in der Natur vorkommender Mikroorganismen, die Kriterien der Gruppe I [Anm.: die weniger gefährlichen] für Empfängerorganismen erfüllen." (ebd., Anhang IB).

Die im Rahmen des Projektteils "Gentechnologie" behandelten gentechnologischen Eingriffe decken sich somit weitgehend mit den in den Geltungsbereich des geplanten Gesetzes fallenden Fällen.

[25] Die Zell- oder Protoplasten-Fusion zweier unter natürlichen Bedingung ohnehin kreuzbaren Arten wird (auch im Gentechnik-Gesetzesentwurf) nicht zur Gentechnik gezählt (vgl. auch Kap.3.3.).

[26] Dabei werden tote GEOs oder von GEOs produzierte Stoffe - insbesondere Proteine - *nicht* mit berücksichtigt.

Diese Einschränkungen stellen eine *beträchtliche Reduktion* des von Indikatoren dokumentierbaren *Ausschnitts* der Gentechnik dar. Damit wird beispielsweise eine vermutlich *sehr große* Anzahl routinemäßiger gentechnischer Experimente im Bereich der Grundlagenforschung ausgeklammert, sofern die resultierenden GEOs tatsächlich in geschlossenen Systemen verbleiben. Ebensowenig kann der überaus brisante Bereich der Gentechnik, der in *unmittelbarer Weise* den Menschen selbst betrifft, erfaßt werden. Es handelt sich hierbei im wesentlichen um Methoden der *"genetischen Selbsterkenntnis"* (Markl H. 1991, S.82)[27] und um die prinzipielle Möglichkeit, auch die Erbanlagen des Menschen zu manipulieren[28].

3.5. Betrachteter Ausschnitt der Natur

Die von wirtschaftlichen Aktivitäten verursachten Veränderungen oder Schäden an der Umwelt dienen als Referenz für die Definition von Verursachungsprozessen, die bestimmten Verursachergruppen (Teilen des sozioökonomischen Systems) zugeordnet werden. Der Begriff *"Umwelt"*, wie er in diesem Zusammenhang verwendet wird, wird anhand des Bezugssystems *"sozioökonomisches System"* abgegrenzt. Für die Entwicklung Gentechnik-spezifischer Indikatoren ist nun eine spezielle, funktionell ausgerichtete Grenzziehung nötig. Neben der Umwelt im Sinne des "common sense" werden sinnvollerweise zwei weitere Bereiche der Natur in die Betrachtung mit einbezogen.

Im Anschluß an die Behandlung der "Gewalt gegen leidensfähige Organismen" sollten gentechnische Eingriffe in das Genom *leidensfähiger Organismen* (Wirbeltiere) auch dann erfaßt werden, wenn sie in Gefangenschaft gehalten werden.[29] Im wesentlichen handelt es sich dabei um Tiere in der *Landwirtschaft* und in (gentechnologischen) *Labors*.

Des weiteren erscheint es sinnvoll, den *Menschen* – und zwar seinen *Körper* – zu berücksichtigen, und zwar im Sinne eines möglichen *Milieus* zur Vermehrung von transgenen Bakterien und Viren.[30] Eine Infektion von Personen mit transgenen Keimen ist praktisch

---

[27] *Gendiagnose* (Problem Datenschutz!), insbesondere *pränatale* Gendiagnose.

[28] Je nachdem welche Körperzellen von einer genetischen Manipulation betroffen sind, unterscheidet man die *somatische Gentherapie* und die *Keimbahntherapie*. Letztere soll allerdings laut des Gentechnik-Gesetzesentwurfs verboten werden (BMGSK 1991, §6, Abs.1) (für weitere Informationen zum Thema vgl. z.B. Bundesminister für Forschung und Technologie 1991).

[29] Im Bericht der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages werden auch die größtenteils in Gefangenschaft gehaltenen Wirbeltiere ("größere Tiere") – wie z.B. Kühe, Schweine etc. – in der *Freisetzungsdiskussion* berücksichtigt (Enquete-Kommission 1990, S.213ff).

[30] Laborsicherheit und eine Entstehung neuer pathogener Mikroorganismen durch genetische Manipulation sind ein wesentlicher Bestandteil der Gentechnik-Diskussion (siehe z.B. Enquete-Kommission 1990, S.194-213). Diese Gefahr besteht insbesondere bei Arbeiten mit Retroviren. Sie werden als Vektoren verwendet, um Gene in höhere Tiere (Vögel, Säugetiere) einzuschleusen (vgl. Kollek R. 1986). Am Pariser Institut Pasteur werden die Todesfälle mehrerer Wissenschaftler untersucht, die mit selbstklonierten, krebserregenden Viren experimentiert hatten (Weidenbach T., Tappeser B. 1989, S.24).

gleichbedeutend mit ihrem Austritt aus dem geschlossenen System eines gentechnischen Labors in die Umwelt, da nachfolgend eine Kontrolle über die weitere Ausbreitung mehr als fraglich ist.

Alle Veränderungen desjenigen Ausschnitts der Natur, der durch Indikatoren erfaßt werden soll ("Umwelt", leidensfähige Organismen, menschlicher Körper), bezeichnen wir möglichst "wertneutral" als *"Naturveränderungen"*. Unter *"Naturschäden"* verstehen wir die unter einem vorläufig offen gehaltenen Gesichtspunkt als negativ bewerteten Naturveränderungen. Die unmittelbar von einem gentechnischen Eingriff verursachte Veränderung im Genom wollen wir *"Initialereignis"* nennen, um es von den *Folgewirkungen* – den Naturveränderungen oder Naturschäden in der Umwelt –, die eine Abgabe von GEOs an die Umwelt nach sich ziehen könnte, zu differenzieren.

3.6. Freisetzung von GEOs

Der Übertritt des GEO vom sozioökonomischen System in die Umwelt wird "Freisetzung" genannt. Prinzipiell fallen drei unterschiedliche Szenarien der *Abgabe* von GEOs an die Umwelt unter diesen Begriff:

- die ***absichtliche Freisetzung*** des GEO an seinen Bestimmungsort in der Umwelt,
- die ***unbeabsichtigte Freisetzung*** aus gentechnischen Anlagen[31] (routinemäßig und unfallartig) und
- die ***Infektion von Personen*** mit gentechnisch manipulierten pathogenen Keimen in gentechnischen Anlagen.

Eigentlich handelt es sich *nur* bei der absichtlichen Freisetzung um einen *"Gezielten Eingriff in Lebensprozesse"* im engeren Sinn. Eine unbeabsichtigte Freisetzung sowie eine Infektion von Personen sind *"unbeabsichtigte Nebeneffekte"* im Zuge von Arbeiten in gentechnischen Anlagen. Sie haben daher emissionsartigen Charakter. Dieser Sichtweise steht die Tatsache gegenüber, daß das gentechnische Initialereignis (Herstellung des GEO) auch im Fall unbeabsichtigter Freisetzungen ein gezielter Eingriff ist, allerdings nur im Rahmen einer gewissen Präzision, welche durch die Methode und den Stand des Wissens begrenzt wird (siehe Kapitel 4.2.1). Gezielte und nicht gezielte, von der Gentechnik hervorgerufene Veränderungen müssen somit für beide Stufen des Verursachungsprozesses angenommen werden.

---

[31] gentechnische Labors und Produktionsanlagen (siehe Kap.1.).

3.7. Verursacher im Bereich der Gentechnik

So wie der Verursacher einer "herkömmlichen" Emission gemäß der pragmatischen Position des Projekts (Fischer-Kowalski M. et al. 1991a, Teil I, Kap.2.4.) der *Emittent* ist, also

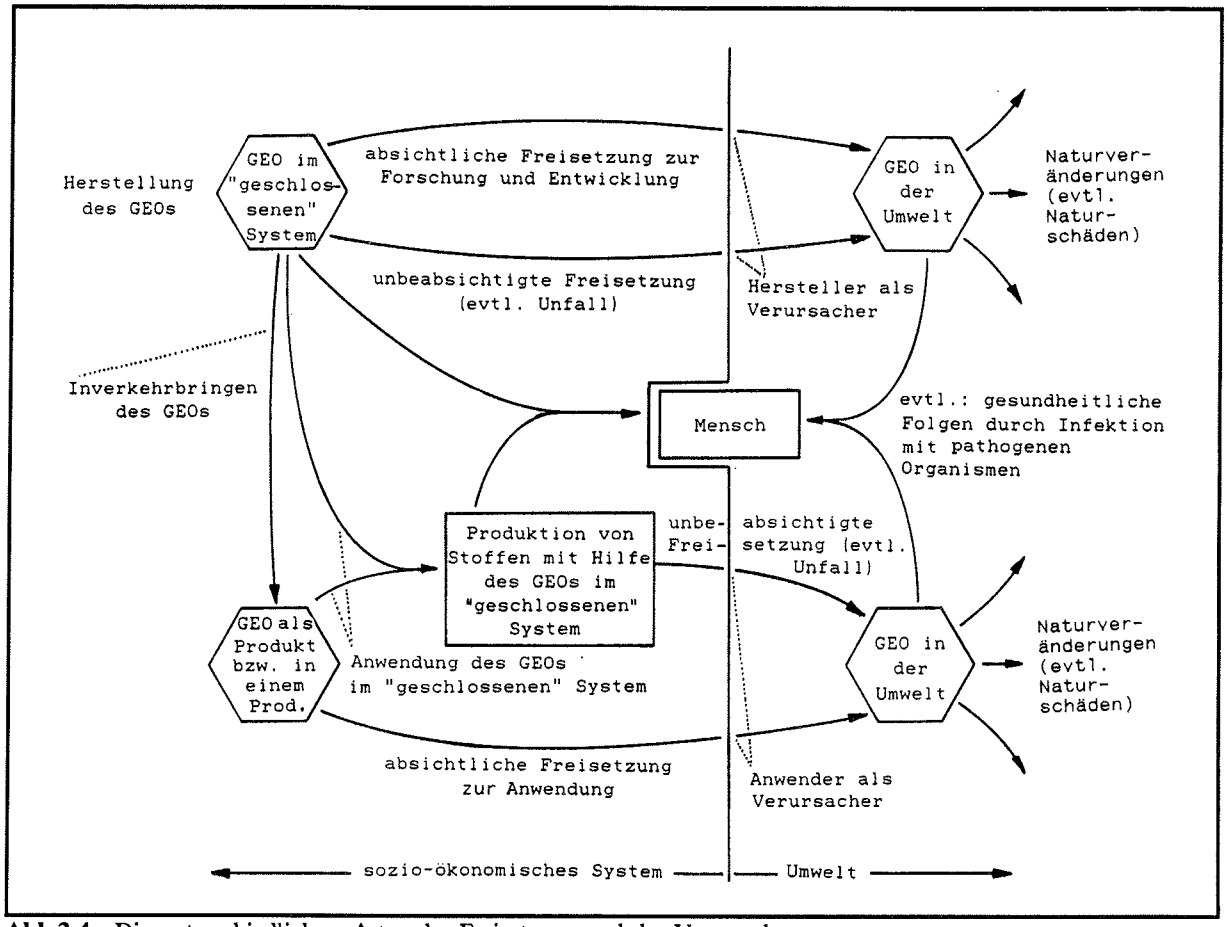

Abb.3.4.: Die unterschiedlichen Arten der Freisetzung und der Verursacher.

derjenige, der auf eine unmittelbare Weise bewirkt, daß die Emission die Grenze zur Umwelt überschreitet, soll auch im Bereich der Gentechnik derjenige als Verursacher gelten, der die *Freisetzung* eines GEOs in die Umwelt *unmittelbar veranlaßt*. Der Begriff "Verursacher" bezieht sich also *nicht* auf denjenigen, der einen genetischen Eingriff *durchführt*. *Der Verursacher ist vielmehr der "Freisetzer"*. Abbildung 3.4. faßt die unterschiedlichen Wege der Freisetzung sowie die verschiedenen Verursacher zusammen.

3.7.1. Verursacher absichtlicher Freisetzungen

Mit dem zu erwartenden weiteren Aufschwung der Gentechnik und der Zulassung von Produkten, die GEOs enthalten, wird sich der Schwerpunkt der Verursacher von absichtlichen Freisetzungen vermutlich von der *Hersteller*- auf die *Anwender*-Seite verlagern. Der Großteil der GEOs wird aller Voraussicht nach nicht mehr zu *Testzwecken* von den Herstellern absichtlich in die Umwelt freigesetzt werden, sondern könnte in Form von GEOs-enthaltenden

Produkten auf den *Markt* kommen. Derjenige, welcher dann letztendlich den Übertritt der GEOs in die Umwelt verursacht, wäre als der *eigentliche Verursacher* anzusehen.

Produkte, die GEOs enthalten, sollen laut Gesetzesentwurf genehmigungspflichtig sein. In dem Moment, in dem der Hersteller einen GEO an Dritte (Händler oder Anwender des GEO) abgibt, ist er verpflichtet, die Zustimmung der Behörde einzuholen. Der Akt der Abgabe an Dritte wird auch als *"Inverkehrbringen"*[32] bezeichnet und ist an gewisse Auflagen gebunden. In Verkehr gebrachte GEOs oder Produkte, die GEOs enthalten, sollen dann zur *Anwendung (absichtlich) in die Umwelt freigesetzt* werden können.[33]

Verursacher von "absichtlichen Freisetzungen" können also
- ***Hersteller von GEOs*** (*Betreiber von gentechnischen Anlagen*, welche sie zu Testzwecken absichtlich freisetzen) oder
- ***Anwender von GEOs in der Umwelt*** (im Prinzip *jede beliebige Person bzw. Branche*) sein.

3.7.2. Verursacher unbeabsichtigter Freisetzungen

Unbeabsichtigte Freisetzungen umfassen das routinemäßige oder unfallartige Austreten von GEOs aus gentechnischen Anlagen. Als *Verursacher* kommen somit alle
- ***Hersteller von GEOs*** und
- ***Anwender von GEOs in der gentechnischen Produktion*** innerhalb geschlossener Systeme in Frage.

Das sind alle denkbaren *Betreiber von gentechnischen Anlagen*.

3.7.3. Verursacher von Gesundheitsschäden

Gesundheitliche Schäden durch GEOs sind sowohl als Folge einer Infektion von Personen mit transgenen Bakterien oder Viren innerhalb von gentechnischen Anlagen, als auch einer Infektion nach einer absichtlichen oder unbeabsichtigten Freisetzung von GEOs denkbar. Infolgedessen kommen alle gerade diskutierten Verursachergruppen in Betracht:

---

[32] "Inverkehrbringen im Sinne dieses Gesetzes ist die Abgabe an Dritte oder die Verwendung für Dritte einschließlich dem diesen Tätigkeiten vorangehenden Einführen, Ausführen, Vorrätighalten, Feilhalten und Ankündigen" (BMGSK 1991, §2, Abs.11).

[33] "Anwendung eines Produktes im Sinne dieses Gesetzes ist jedes absichtliche Freisetzen eines Produkts, das in den Verkehr gebracht worden ist. Die Person, die dies vornimmt, wird als 'Anwender' bezeichnet" (BMGSK 1991, §2, Abs.12).

- ***Hersteller von GEOs,***
- ***Anwender von GEOs in der gentechnischen Produktion*** sowie
- ***Anwender von GEOs in der Umwelt.***

Dies können also alle *alle denkbaren Personen und Branchen* sein.

4. Wesentliche Charakteristika der Gentechnik

4.1. Ein Überblick

Eine kaum überschaubare Menge sowohl an genetischer Fachliteratur als auch an kritischer Literatur reflektiert in anschaulicher Weise die breite Palette der möglichen Anwendungsbereiche. Für die Entwicklung Gentechnik-spezifischer Indikatoren ist jedoch eine *Betrachtungsweise* nötig, welche sich auf die *grundsätzlichen Aspekte*, die alle betrachteten gentechnischen "Aktivitäten" betreffen, beschränkt.

Nach der Einschränkung auf den projektrelevanten *methodischen Ausschnitt* der Gentechnik - *Gentransfer, Protoplastenfusion und Klonierung* (siehe Kap.3.4.) - sollen deshalb in einem zweiten Schritt die *wesentlichen Charakteristika* dieser gentechnischen Methoden anhand der *prinzipiellen Unterschiede zur herkömmlichen Zucht* herausgearbeitet werden. Letztere lassen sich unserer Meinung nach *schwerpunktmäßig* in die folgenden *drei Aspekte* gliedern:

- die besonderen Charakteristika des ***Genoms***, in das direkt eingegriffen wird: ***"die Steuerzentrale des Lebens"***,
- die Art des Eingriffs: ***die Durchbrechung zwischenartlicher Isolationsbarrieren*** und
- die ***Vervielfachung*** des Produkts des Eingriffs: ***die Klonierung des GEO***.

4.2. Eingriff in die "Steuerzentrale Genom"

Gene sind hierarchisch organisierte, wechselwirkende Einheiten der Steuerung des Stoffwechsels der Zelle und der Entwicklung jedes Organismus. Man könnte deshalb das Genom auch als *"Steuerzentrale des Lebens"* bezeichnen. Es wird oft behauptet, daß nun, da im Gegensatz zur herkömmlichen Züchtung ein *direkter Eingriff* in diese *Steuerzentrale* möglich ist, die Eigenschaften von Organismen in *gezielter Weise* verändert werden könnten.

Der Einzug einer solchen Art von "Ingenieursmentalität" in die Biologie findet im Begriff *"synthetische Biologie"* (Winnacker E.L. 1990) seinen Ausdruck, der eine Ausdehnung der Konzepte der synthetischen Chemie auf die Biologie signalisieren soll. So wie in der synthetischen Chemie Moleküle aus ihren Bestandteilen, den Atomen, zusammengesetzt werden, sollen nun Organismen aus Gen-Kombinationen "synthetisiert" werden.

4.2.1. "Präzision" eines gentechnischen Eingriffs

Ein häufig verwendetes Sicherheitsargument betrifft die "Präzision" gentechnischer Methoden.[34] Dieser von Kritikern *sehr wenig* behandelte Aspekt[35] verdient einige Aufmerksamkeit.

Gene werden mit Hilfe von Restriktionsenzymen aus der DNA herausgeschnitten (siehe Kap.1.). Der springende Punkt ist nun, daß man bei der Isolierung eines Gens an das Vorhandensein von Sequenzen, die von einem verfügbaren Restriktionsenzym erkannt werden, *gebunden* ist. Die solcherart gewonnenen DNA-Fragmente enthalten also neben dem erwünschten Gen noch mehr oder weniger lange *"flankierende Sequenzen"*, je nachdem wie nahe die Schnittstellen am Gen liegen. Diese undefinierten Anteile werden bei der Transformation mit in den Wirtsorganismus übertragen und dort kloniert. "Von einer Isolierung eines bestimmten reinen 'Genmoleküls' kann also keine Rede sein" (Chargaff E. 1989, S.147).

Soll ein bislang *unbekanntes* Gen isoliert werden, ist die Vorgangsweise mit noch größerer Unsicherheit behaftet. Es wird das *gesamte Genom* durch Restriktionsenzyme zerschnitten. Die so entstehenden, gänzlich uncharakterisierten DNA-Fragmente werden in Bakterien übertragen und dort auf die gesuchte Genfunktion getestet.[36]

Ein dritter Einwand soll die *Unschärfe der Genübertragung* dokumentieren. Essentielle Voraussetzung für die erfolgreiche Übertragung eines Gens in einen Wirtsorganismus, seine Expression und Weitervererbung ist in vielen Fällen, insbesondere bei höheren Organismen (Eukaryonten), seine *Integration* (Einbau) ins Wirtsgenom. Dieser Vorgang ist nur bedingt steuerbar. Meistens ist man darauf angewiesen, daß die Integration *spontan* an einer *zufälligen* Stelle passiert. Der *Regulationszusammenhang* im Chromosom, in den das Gen dadurch gerät, ist also nicht vorhersehbar.[37]

4.2.2. "Selbsttätigkeit" lebender Systeme

Neben der nicht in jeder Hinsicht gegebenen Präzision der *Methode* sind es vor allem die Charakteristika lebender Organismen – der *Systeme*, in die eingegriffen wird –, die einen

---

[34] vgl. z.B. OTA 1988, Ch.5, S.87; Winnacker E.L. 1990, S.372; Tiedje J.M. et al. 1988, S.12.

[35] Hinweise finden sich bei Chargaff E. 1989, S.147. Eine ausführlichere Diskussion bei Herbig J. 1978, S.121.

[36] Dieses Verfahren wird als Herstellung einer Genbank bezeichnet und ist gewöhnlich der erste Schritt zur Isolierung eines neuen Gens.

[37] Zur Bedeutung des chromosomalen Regulationszusammenhanges für die Genfunktion schreibt Regine Kollek: "Schon die Tatsache, daß Gene aus ihren durch natürliche Evolution entstandenen Nachbarschaftsbeziehungen herausgenommen und in andere chromosomale Umgebungen verpflanzt, daß sie also ver-rückt werden, reicht aus, um Eigenschaftsveränderungen von Organismen hervorzurufen (Kollek R. 1990a, S.389, vgl. auch Kollek R. 1986 und 1990b).

gentechnischen Eingriff prinzipiell problematisch erscheinen lassen.

Hans Jonas weist, indem er die Gentechnologie[38] mit der Technik oder "Ingenieurskunst" vergleicht, auf die besonderen Charakteristika lebender Organismen hin: Bei der mechanischen Konstruktion ist "die Struktur des Ganzen wie jedes seiner Teile [...] beliebig vom Plane her erzeugt; vorgegeben ist nur die formlose Materie." Demzufolge ist "bei totem Stoff [...] der Hersteller der *allein Handelnde* gegenüber dem passiven Material." Im Gegensatz dazu ist biologische Technik *"kollaborativ* mit der *Selbsttätigkeit* eines aktiven 'Materials'", nämlich der Organismen. Sie konstruiert nicht, sondern sie ist eine Form der *"Intervention"*. Die "Autonomie" des Organismus wird als "aktiver Partner" für die Erzielung der gewünschten Veränderung in Anspruch genommen.

Gentechnologie "..., die sich umplanend auf die 'Pläne' von Lebensarten erstreckt, ..." führt eine "neue Determinante" in die Steuerzentrale eines Organismus ein. "Diese wird ihm *aufgenötigt*, aber auch *ausgeliefert*. Ihre Integrierung mit dem Ganzen der ursprünglichen Determinanten ist bereits Sache des Systems selbst ..." (Jonas H. 1987, S.164f). Aus der Tatsache, daß das *Genom* vom Eingriff betroffen ist, resultieren besondere Konsequenzen:

Zahl der Unbekannten:

Es ist erst ein Bruchteil der syntaktisch-funktionellen Zusammenhänge im Genom verstanden. Somit wird "für den biologischen 'Ingenieur', der die überwältigende Komplexität vorhandener und z.T. verborgener Determinanten mit ihrer selbsttätigen Dynamik gleichsam 'unbesehen' übernehmen muß, [...] die *Zahl der Unbekannten* im Gesamtplan *riesig*" (Jonas H. 1987, S.166).

Hierarchische Ebene:

Das Genom stellt die *tiefste*, noch als biologisch zu bezeichnenden Ebene der Hierarchie lebender Systeme dar (vgl. Kap.3.2.). Die infolgedessen für einen genetischen Eingriff notwendigen Isolierungsschritte von Teilen aus ihren natürlichen Zusammenhängen korrespondieren mit einer gleich großen Anzahl von *Synthese- oder Koppelungsschritten* (vgl. Kap.3.1.)[39] bei der Rückführung der manipulierten Komponenten in die Ausgangssysteme. Der letzte, ganz entscheidende Koppelungsschritt ist dabei die *Freisetzung* des GEO in die Umwelt. Bei jedem Koppelungsschritt wird aus zwei *nicht in allen Parametern beschreibbaren Systemen* ein neues System gebildet, dessen Eigenschaften sich aus dem *Wechselspiel* der Eigenschaften der Komponenten ergeben.[40] Die letzt-

---

[38] Er spricht von "biologischer Technik" im allgemeinen, jedoch sind die folgenden Aussagen im speziellen für die Gentechnologie relevant.

[39] Im wesentlichen handelt es sich bei der Gentechnik um die Koppelungen: *Gen-Vektor*, *Konstrukt* (Vektor+Insert)-*Organismus* und *GEO-Ökosystem* (vgl. Perrow C. o.A. nach Altner G. 1990, S.185).

[40] Der Begriff *"Fulguration"*, der von Lorenz geprägt wurde, beschreibt den Zusammenschluß zweier oder mehrerer Systeme zu einer neuen Einheit, die qualitativ andere Eigenschaften aufweist (Riedl R. 1981, S.211).

endliche Unsicherheit wird gewissermaßen durch die *Vielstufigkeit* der Koppelungsschritte *potenziert*.

In Summe führt der Eingriff auf einer so fundamentalen Ebene also zu einem *Verlust an Berechenbarkeit* der Folgewirkungen auf der Ebene des Organismus und des Ökosystems, in das er freigesetzt wird.[41] Indem Gentechnik Organismen auf *diese Weise* verändert, und die *Kriterien* für die Veränderungen andere sind, als in der Natur (Rifkin J. 1991, S.3), läßt sie die im Laufe von Jahrmillionen bzw. -milliarden *gewachsenen* und *erprobten* natürlichen Prozesse hinter sich. Daher muß damit gerechnet werden, daß aus der Kombination eines *Fremdgens* mit der *Selbsttätigkeit* des Wirtsorganismus neuartige, nicht vorhersehbare Veränderungen resultieren *könnten*, die nach der Freisetzung des GEO möglicherweise Naturschäden verursachen.

4.3. Vervielfachung des GEO - Klonierung

Hat man einmal - unter Umständen mit großem technischen und zeitmäßigen Aufwand - einen Organismus erfolgreich transformiert, so liegt es nahe, diesen GEO unter Zuhilfenahme *zellbiologischer* Methoden zu vermehren, anstatt die gleiche Prozedur des Gentransfers zu wiederholen. Im Falle von Mikroorganismen und Pflanzen geschieht dies vor allem durch *Klonierung* des GEO.[42] Dadurch wird der Genotyp des GEO *identisch* repliziert, was in der Natur bei höheren, sich sexuell fortpflanzenden Organismen ein eher *seltener* Prozeß ist[43]. Wird eine derartig *genetisch homogenisierte* GEO-Population freigesetzt, so könnte es zu einer *Verdrängung* anderer Organismen der gleichen Art durch den massenhaft auftretenden Genotyp des GEO kommen.

Die Vervielfachung des GEO birgt somit das *Potential* in sich, den größtenteils unbekannten "Schatz der genetischen Vielfalt und genetischen Optionen" der Art (Weizsäcker E.U.v. 1990, S.28) auf den Genotyp, der das transferierte Fremdgen enthält, *einzuengen*. Eine *"genetische Nivellierung"* innerhalb der Art wäre die Folge. Sie könnte für die Art längerfristig eine *Beschneidung* der Fähigkeit, sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen, bedeuten. Die *evolutive Breite* und das *adaptives Potential* für die Zukunft würden so eingeschränkt. Das Forum österreichischer Wissenschaftler für den Umweltschutz fordert dementsprechend: "Neben der *Artenvielfalt* muß auch die innerhalb der derzeit noch existierenden Arten bestehende *Allelvielfalt* geschützt werden ..." (Forum österr. Wissenschaftler f. d. Umwelt-

---

[41] Das mangelhafte Wissen von der Realisierung des Phänotyps aus dem Genotyp sowie den Prozessen in Ökosystemen vergrößert weiter die Unschärfe möglicher Prognosen.

[42] Bei höheren Tieren werden überwiegend die Methoden der herkömmlichen Zucht zur Vermehrung von GEOs verwendet.

[43] Ausnahmen existieren vor allem unter den Pflanzen. Manche Sippen haben Methoden entwickelt, sich asexuell (=vegetativ) fortzupflanzen (z.B. Ausläufer von Erdbeeren, Kartoffelknollen, ...).

schutz 1990, S.7).

4.4. Biologische Interpretation des Eingriffs - der evolutionäre Kontext

Anhand evolutionärer Mechanismen soll die biologische Bedeutung gentechnischer Eingriffe diskutiert werden.

4.4.1. Reproduktive Isolation

Neben der Gentechnik versucht auch die *herkömmliche Zucht* die Genome bestimmter Spezies in einer gezielten Weise zu verändern. Jedoch bewegen sich sämtliche traditionellen züchterischen Methoden unweigerlich im Rahmen einer von der Natur gesteckten *Grenze*. Die Genome zweier Organismen lassen sich nämlich nur dann durch sexuelle Fortpflanzung miteinander *kombinieren*, d.h. in einem neuen Organismus vereinen, wenn sie ein und derselben Art angehören. Sie müssen miteinander *kreuzbar* sein. Den Evolutionsmechanismus der *zwischenartlichen oder reproduktiven Isolation*[44], der die genetischen Kombinationsmöglichkeiten und damit den Spielraum der genetischen Variation *einschränkt*, können klassische Zuchtverfahren nicht überwinden. Sie können nur die Häufigkeiten innerhalb einer Art *bereits vorhandener Allele* in eine Richtung *verschieben*. Reproduktive Isolationsbarrieren beschränken möglicherweise die genetischen Kombinationsmöglichkeiten auf eine *"verträgliche Breite"* (Tappeser B. 1989, S.36). Sie sind "Schranken, in denen eine *Widerständigkeit* der Naturobjekte gegen beliebiges Handeln und Umgehen mit ihnen aufscheint" (Weingarten M. 1985, S.13).

Durch das Hinabsteigen auf die tiefste Ebene lebender Systeme *"untergräbt"* Gentechnik die Barriere der reproduktiven Isolation. Indem sie Gene *beliebiger* anderer Spezies einführt, weitet sie die Möglichkeiten der Art, neue Genkombinationen herzustellen, *qualitativ* aus. Gentechnik ist nicht mehr länger darauf angewiesen, "*Tendenzen oder Latenzen* in der Natur selbst" aufzugreifen. Vielmehr betrachtet sie die Natur als ein *Arsenal von untereinander unverbundenen Teilen, die man beliebig kombinieren kann* (Gleich A.v. 1985 nach Weingarten M. 1985, S.11).

4.4.3. Horizontaler Gentransfer

Horizontaler Gentransfer ist die Übertragung einzelner Gene zwischen zwei Arten, die

---

[44] Sie ist der entscheidende Schritt in der Evolution, der die Entstehung einer neuen biologischen Art besiegelt (vgl. z.B. Futuyma D.J. 1990 oder Ayala F.J. 1988).

voneinander reproduktiv isoliert sind. Es handelt sich also um die natürliche *Entsprechung* dessen, was gentechnische Methoden bewirken. Demzufolge wird er häufig als Grundlage für das Argument "Gentechnik tut nichts anderes als die Natur auch" verwendet.

Allerdings sind seine tatsächliche *Häufigkeit* in der Natur – bislang wurde er vor allem unter idealisierten Laborbedingungen untersucht (Stotzky G., Babich H. 1986) – und seine *Relevanz* als Evolutionsmechanismus weitgehend unbekannt.

5. Wege zur Indikatorenentwicklung

5.1. Vergleich mit Emissionen

Ein grundsätzliches Kriterium für die Indikatorenentwicklung ist, daß Schädigungsprozesse und nicht Naturschäden erfaßt werden sollen. Methodisch sind das Ziel der Untersuchung zwei Verflechtungsmatrizen.[45] Die daraus resultierende emissionsseitige Betrachtung erweist sich jedoch für die Gentechnik als schwierig.

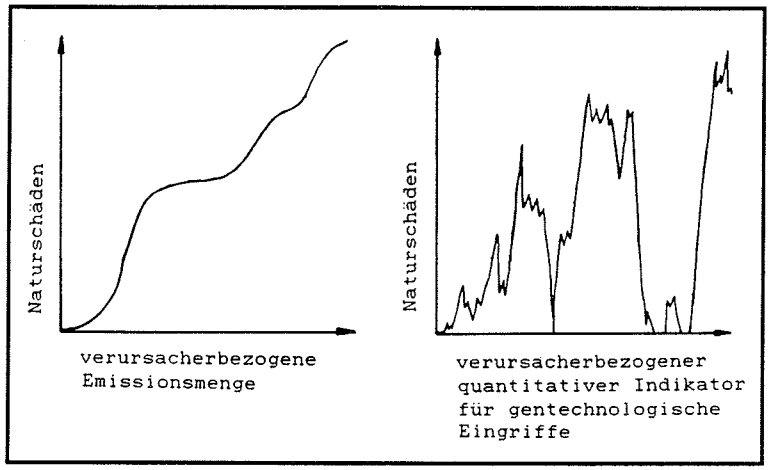

Abb.5.1.: Hypothetische Zusammenhänge zwischen Verursachungsprozessen und Naturveränderungen/schäden. Vergleich zwischen Emissionen und Gentechnik.

Bei chemischen und physikalischen Emissionen wird ein kausaler Zusammenhang zwischen Menge an emittierter Substanz und Umweltschäden als – zumindest theoretisch – gegeben vorausgesetzt. Trägt man die Emissionsmenge gegen einen beliebigen Schädigungsparameter auf, ist das zu erwartende Resultat eine Kurve mit positivem Anstieg (Abb.5.1.).

Analog zu den Emissionen sollen für die Gentechnik Verursachungsprozesse beschrieben werden. Wir haben an anderer Stelle versucht, einen Verursachungsprozeß in obigem Sinn zu definieren.[46] Diese Definition ist im weiteren die Grundlage für die Indikatorenentwicklung.

Für GEL–Indikatoren ist im Unterschied zu Emissionen der Zusammenhang zu Naturschäden/–veränderungen eigens zu begründen. Gefordert werden "gesicherte wissenschaftliche Ergebnisse, die einen starken Zusammenhang zwischen dem Indikator und den entsprechenden Naturveränderungen nahelegen" (Haberl H. 1991, S.32). Die Schwierigkeiten für die

---

[45] "Verursacher" mal "Verursachungsprozesse" und "Verursachungsprozesse" mal "Naturveränderungen" (Haberl H. 1991, S.21)

[46] Verursachungsprozeß = Initialereignis und Freisetzung vgl. Kap.3.4 und Kap.3.5.

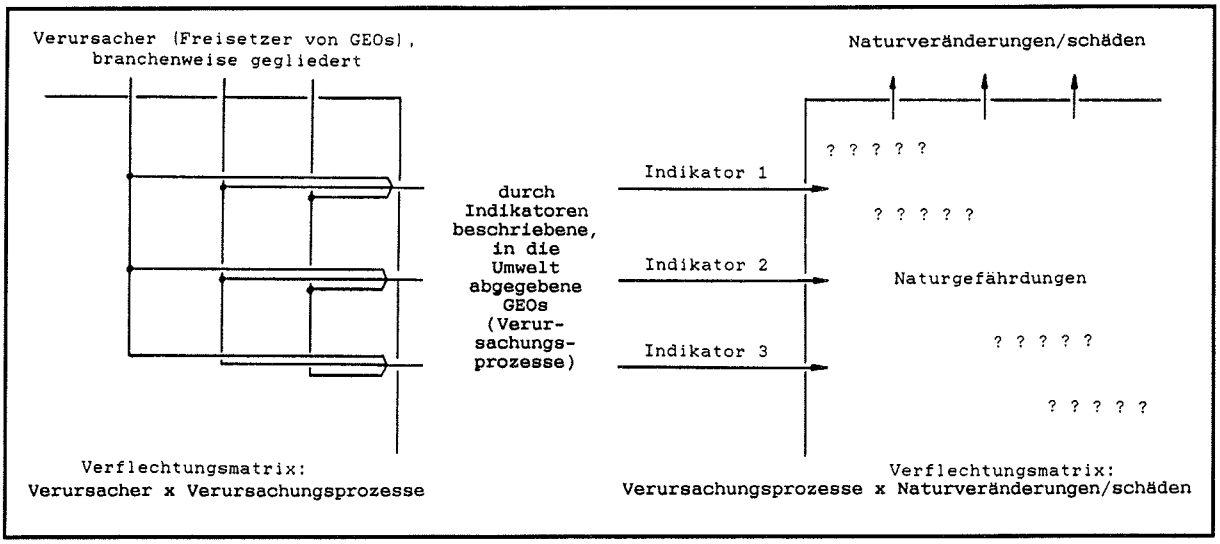

Abb.5.2.: Darstellung der beiden Verflechtungsmatrizen in Bezug auf die Gentechnik.

Gentechnik bestehen nun darin, daß gesicherte wissenschaftliche Ergebnisse über die Beziehung zwischen gentechnischen Eingriffen und entsprechenden Naturschäden/veränderungen vollständig fehlen. Theoretische Überlegungen weisen darauf hin, daß es sich um prinzipiell unstetige Korrelationen handelt.[47] Um es methodisch zu formulieren: Die Verflechtungsmatrix Verursachungsprozesse x Naturveränderungen/schäden muß für die Gentechnik vorerst als "black - box" betrachtet werden (Abb.5.2.). Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich im wesentlichen auf die Matrix Verursacher x Verursachungsprozesse.

Die Frage, was mit emissionsseitigen Indikatoren eigentlich ausgesagt werden kann, ist also für die Gentechnik neu zu stellen.

5.2. Vergleich mit den übrigen GELs

Mit GEL-Indikatoren sollen, im Gegensatz zu allen übrigen Projektbereichen, geplante und beabsichtigte Eingriffe in Lebensprozesse dargestellt werden und nicht unbeabsichtigte Nebenwirkungen. Die Gentechnik entspricht also nur zum Teil der Definition eines GEL. Der Aspekt ihrer unbeabsichtigten Folgewirkungen, ihr Risikopotential, wäre nach dieser Logik nicht zu berücksichtigen.

Zwar haben alle als GEL definierten Aktivitäten "Sekundärwirkungen, die unbeabsichtigt waren" (Haberl H. 1991, S.5). Für die Gentechnik sind jedoch die Sekundärwirkungen von unvergleichlich größerer Bedeutung, kurz zusammengefaßt aus dem folgenden Grund: Die mit der Gentechnik assoziierten Risken haben eine spezifische und präzedenzlose Qualität.

---

[47] vgl. Regal P.J. 1988; Stotzky G., Babich H. 1986, Kollek R. 1986.

Theoretische Überlegungen und neuere experimentelle Daten weisen auf ein der Gentechnik inhärentes Risiko hin (Kollek R. 1986). Begriffe wie hypothetisches (Häferle W.1974) und biologisches Risiko (Enquete-Kommission 1990) werden verwendet, um diese Besonderheiten zu beschreiben. Die Risikofrage war von Anfang an *das* zentrale Thema der Gentechnikdebatte (Berg P. et al. 1974) und der Bereich mit der größten politischen Brisanz (Herbig J. 1978). Eine Ausschließung des Risikos würde also einen in mehrfacher Hinsicht zentralen Aspekt der Gentechnik betreffen.

5.3. Zusammenfassung der getroffenen Vorentscheidungen

Die projektrelevanten Aspekte der Gentechnik wurden folgendermaßen definiert:

Methodisch:
- Gentransfer
- Protoplastenfusion
- Klonierung

In Abgrenzung zur Zucht:
- Eingriff ins Genom
- Durchbrechung der Artgrenzen

Das Produkt:
- Ein lebender GEO, der beabsichtigt oder unbeabsichtigt in die Umwelt gelangt (zweistufiger Verursachungsprozeß)

5.4. Trennung in Eingriffsintensität und Risiko

Es erscheint uns sinnvoll, die Einteilung in "gezielte Eingriffe" und "unbeabsichtigte Nebenwirkungen" für die Gentechnik aufrecht zu erhalten und beide Aspekte getrennt durch verschiedene Indikatoren abzubilden, und zwar durch Eingriffsintensitäts- und Risikoindikatoren.

Eingriffsintensitätsindikatoren:

Ein GEO ist das Produkt eines Gentransfers. Biologisch gesehen ist er eine neue genetische Varietät, die allerdings unter natürlichen Bedingungen nicht entstehen könnte. Die durch die Gentechnik hervorgerufene Veränderung ist also primär die Schaffung neuer Genotypen. Eine erste Gruppe von Indikatoren soll die Intensität dieses Eingriffs dokumentieren. Wir nennen sie dementsprechend Eingriffsintensitätsindikatoren. Sie sollen ein Maß für die Veränderung am Eingriffsort - am Genom - darstellen. Die Frage der konkreten Folgewirkungen bleibt dabei unberücksichtigt. Die Veränderung des Genoms im geschlossenen System kann, aber muß sich nicht nach der Freisetzung auf die

Lebensprozesse im Ökosystem auswirken. Der Begriff Intensität bezieht sich also nur auf den Organismus. Oder anders ausgedrückt: Er soll Grad und Ausmaß der Veränderung aus der Sicht des Organismus dokumentieren. Ausgangspunkt ist nicht die Frage: was kann passieren wenn Sicherheitsvorkehrungen versagen, sondern die Frage: was passiert routinemäßig durch den Einsatz der Gentechnik?

Risikoindikatoren:

Der Prozeß der Transformation bewirkt neben den beabsichtigten auch eine Reihe nicht beabsichtigter und zum Großteil unerkannter Veränderungen im Wirtsorganismus (vgl. Kap.4.). Im Zuge der Freisetzung tritt der GEO in Interaktion mit einem Ökosystem. Die Koppelung zweier komplexer, nur unvollständig definierter Systeme (GEO und Ökosystem) führt zu nicht prognostizierbaren Wechselwirkungen. Daher ist in diesem Ereignis ein Risiko eines Naturschadens zu sehen. Der potentielle Schaden ist sehr groß, die Eintrittswahrscheinlichkeit möglicherweise gering, aber sicher größer Null (low probability – high risk Ereignis, Rifkin J. 1991). Dieses Schadenspotential der Gentechnik soll durch Risikoindikatoren dokumentiert werden. Sie beziehen sich auf die unbeabsichtigten Nebenwirkungen der Gentechnik, auf die Möglichkeit einer Störung des Normalbetriebes, die zu einem Naturschaden führt, also auf den Katastrophenfall.

Diese Trennung in die Aspekte Risiko und Eingriffsintensität macht eine Parallele zu zwei wesentlichen Faktoren sichtbar, die für die Evolution von entscheidender Bedeutung sind, nämlich genetische Variation und Selektion. Bestimmte Varianten werden durch die Umwelt gefördert, andere hingegen gehemmt. Mit den Eingriffsintensitätsindikatoren wollen wir Ausmaß und Umfang der durch die Gentechnik erzeugten Varianten erfassen, die von einer prinzipiell anderen Qualität sind als in den bisherigen 3 oder 3,5 Milliarden Jahren biologischer Evolution. Gentechnisch veränderte Organismen unterliegen, sobald sie in die Umwelt gelangen, gleichermaßen der Selektion wie natürliche Organismen. Die Risikoindikatoren sollen die Möglichkeit beschreiben, daß es durch selektive Förderung freigesetzter GEOs auf Kosten anderer Organismen zu Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes kommt.

5.5. Ansatzpunkte für Indikatoren und weitere Vorgangsweise

Eine schematische Darstellung der projektrelevanten gentechnischen Eingriffe und deren Wirkungspotentiale gibt Abb.5.1. wieder und setzt sie in Bezug zu möglichen Indikatoren.

5.5.1. Gentechnischer Eingriff

In einem ersten Schritt werden Organismen aus ihrer natürlichen Umgebung isoliert und in ein zumindest prinzipiell geschlossenes System gebracht (Labor oder Produktionsstätte). Hier

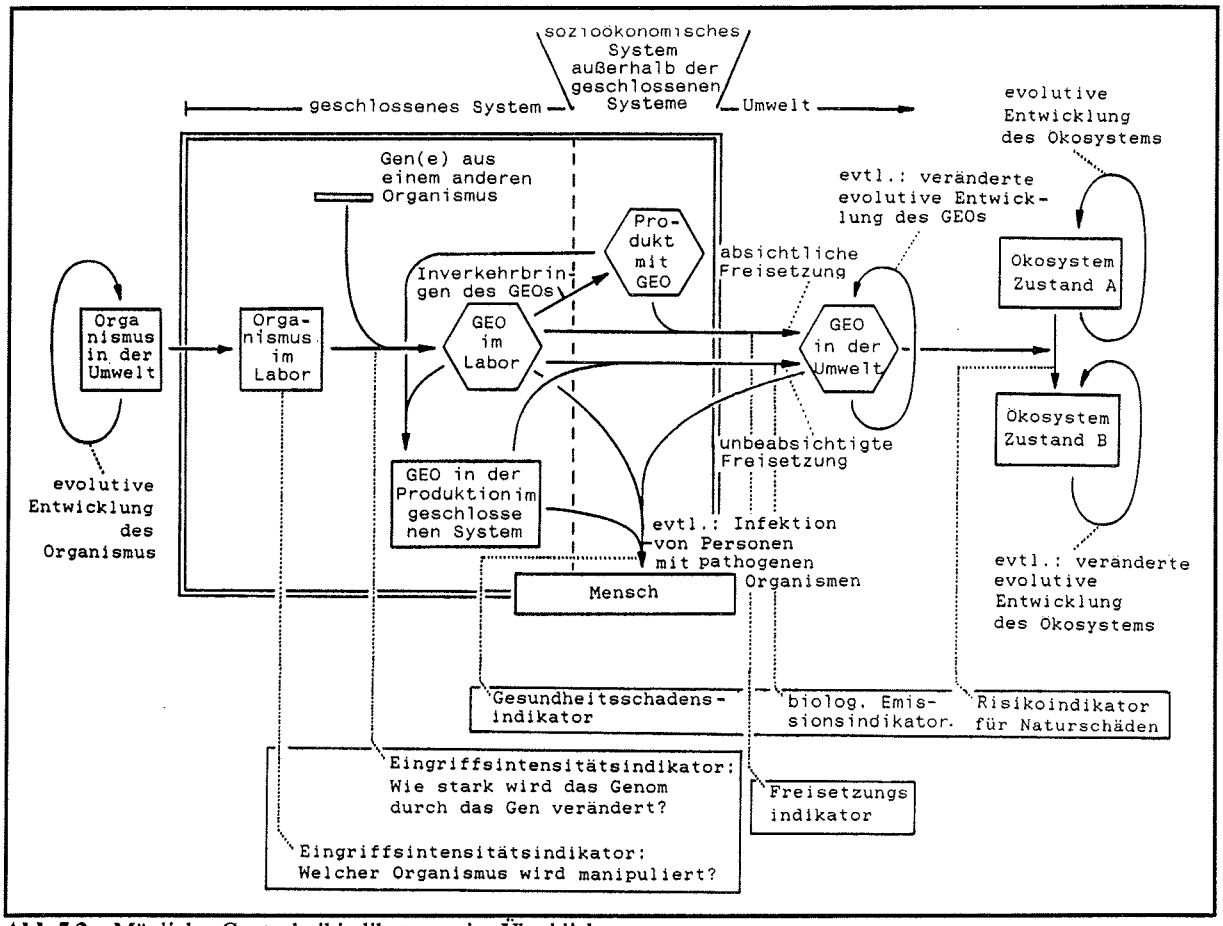

Abb.5.3.: Mögliche Gentechnikindikatoren im Überblick.

wird der Organismus unter definierten Bedingungen mit einem oder mehreren Fremdgenen transformiert.[48] Das Produkt dieser Transformation ist ein GEO. Er bleibt entweder im geschlossenen System (Grundlagenforschung, Produktion) oder er gelangt in die Umwelt (Freisetzung). Nur wenn *das* geschieht, kann sich sein Veränderungspotential auswirken.

Es gibt prinzipiell unterschiedliche Wege, auf denen GEOs freigesetzt werden können:
- absichtliche, direkte Freisetzung
- absichtliche, indirekte Freisetzung als Bestandteil von Produkten, z.B. Lebensmitteln
- unbeabsichtigte, direkte Freisetzung, z.B. Laboremissionen aus gentechnischen Anlagen
- unbeabsichtigte, indirekte Freisetzung durch den Menschen

5.5.2. Wirkungspotentiale

Schäden können entstehen durch die Störung von Ökosystemen bzw. für den Menschen durch Infektion mit pathogenen Keimen. Darüber hinaus sind durch den beschriebenen Prozeß

[48] bzw. durch Protoplastenfusion verändert. Im folgenden werden unter dem Begriff Gentransfer beide Methoden der Manipulation zusammengefaßt.

zeitlich verzögerte Auswirkungen, insbesondere evolutive Veränderungen zu erwarten und zwar sowohl für die GEO-Population als auch eventuell für das gesamte Ökosystem .

5.5.3. Vorschläge für Gentechnikindikatoren

Im Sinne einer möglichst umfassenden Betrachtung der Gentechnik ist ein System von Indikatoren anzustreben. Auf Basis der diskutierten Vorentscheidungen ergeben sich folgende Ansätze:

5.5.3.1. Eingriffsintensitätsindikatoren

Ansatzpunkt ist das Initialereignis der Gentechnik, also der Gentransfer. Als erstes müßte ein Modell entwickelt werden, genetische Variabilität, wie sie durch die Gentechnik erzeugt wird, zu beschreiben und die Stärke des Eingriffs am Genom zu messen.

Zweitens muß berücksichtigt werden, daß die Transformation ein gerichteter Prozeß ist. Gene werden von einem Spender- auf einen Empfängerorganismus übertragen. Das Ergebnis einer Genübertragung vom Menschen auf E.coli ist grundlegend anders zu beurteilen als das Ergebnis einer Genübertragung von E.coli auf den Menschen. Der *Prozeß* der Transformation ist prinzipiell (nicht methodisch!) einheitlich, das *Ergebnis* ist es nicht. Ein Modell zur Abbildung der Eingriffsintensität muß daher beides abbilden, den Gentransfer und Charakteristika des Wirtsorganismus.

Diese Modelle müssen weiters auf ihre biologische Aussagekraft und auf ihre Konsistenz mit geltenden wissenschaftlichen Vorstellungen geprüft werden. Wie bei allen anderen Indikatoren ist schließlich die Datenlage zu berücksichtigen.

5.5.3.2. Freisetzungsindikator

Der Begriff der Eingriffsintensität, wie er hier skizziert wurde, bezieht sich auf den einzelnen, im Labor manipulierten Organismus. Wir haben an anderer Stelle erläutert, daß durch die Gentechnik hervorgerufene Veränderungsprozesse von zwei getrennten Ereignissen abhängig sind, die beide eintreten müssen: Manipulation im Labor und Freisetzung (vgl. Kap.3.4.). Daher müssen die für den einzelnen Organismus ermittelten Werte letztendlich auf die freigesetzte GEO-Population bezogen werden. Damit würde auch der methodische Aspekt der Klonierung mit einfließen. Wir bezeichnen diese Bezugsgröße oder, anders ausgedrückt, diesen notwendigen Korrekturfaktor vorerst als Freisetzungsindikator. Er sollte sich für absichtliche Freisetzungen aus den im Gentechnik-Gesetzesentwurf geforderten melde-

pflichtigen Daten leicht erheben lassen.

5.5.3.3. Risikoindikatoren

Der Vorschlag von Risikoindikatoren enthält die implizite Annahme, daß es spezifische, der Gentechnik inhärente Risken gibt. Da die Risikofrage innerhalb der Biologie vollkommen unterschiedlich beurteilt wird, muß diese Annahme zunächst begründet werden. Die Risikodiskussion kann überzeugend nur auf einem sehr fachlichen Niveau geführt werden und wird dementsprechend breiten Raum einnehmen. Wissenschaftliche Modelle für ein "risk assessment" sind zur Zeit nicht vorhanden und vermutlich auch prinzipiell schwer zu entwickeln. Herkömmliche Modelle zur Risikoanalyse sind auf die Gentechnik nicht anwendbar. Praktikabel erscheint eigentlich nur der Ansatz, Daten zu finden, die in einer groben Annäherung mit dem Risiko korrelieren.

Die in der Grafik dargestellte Unterteilung der Risikoindikatoren in Gesundheitsschadensindikator, biologischer Emissionsindikator und Risikoindikator für Naturschäden bezieht sich auf die verschiedenen Wege der Freisetzung und mögliche Schäden und hat vor allem praktische Gründe. Zur Zeit gibt es für keinen der drei Bereiche Daten. Die Einteilungen, wie sie in verschiedenen Gentechnikgesetzen vorgenommen werden, legen jedoch den Schluß nahe, daß, *falls* Erhebungen durchgeführt werden, die genannten Bereiche getrennt erfaßt werden. So ist es durchaus vorstellbar, daß einmal Gesundheitsdaten über das Personal in gentechnischen Labors regelmäßig erhoben werden oder daß routinemäßig Laboremissionen gemessen werden.[49]

Konkretere Überlegungen für Risikoindikatoren gehen dahin, in Anlehnung an die ÖSIs Haftpflichtversicherungsprämien heranzuziehen. Das würde eine vom Gesetzgeber vorgeschriebene Versicherungspflicht voraussetzen, wie sie z.B. vom GEN-ETHISCHEN NETZWERK gefordert wird (Gen-Ethisches Netzwerk (Ö) 1991).

Eine zweite Überlegung besteht darin, Faktoren zu finden, die das Risiko erhöhen bzw. erniedrigen. Solche Faktoren wären z.B.:

- Anzahl der Labors
- Höhe der Sicherheitsstufen
- Ausbildung des Personals
- Einhaltung der Sicherheitsrichtlinien
- Anzahl und Umfang von Freisetzungen
- Kulturvolumina, mit denen gearbeitet wird, etc.

---

[49] vgl. Forum österreichischer Wissenschaftler f. d. Umweltschutz 1990, S.7.

Daraus könnte man geeignete Daten auswählen und als "relative" Indikatoren verwenden, die zumindest Tendenzen aufzeigen und jährliche bzw. Branchenvergleiche erlauben.

5.6. Beiträge der Indikatoren zur Gentechnikdebatte

Die Grundidee dieses Indikatorensystems ist die Trennung in die zwei Bereiche Risiko und Eingriffsintensität.

Die Gentechnologiedebatte ist bis heute im wesentlichen eine Risikodebatte geblieben. Unabhängig von der wissenschaftlichen Argumentation sind Informationen über diesen Bereich aus demokratiepolitischen Überlegungen heraus zu fordern. In der Studie "Gentechnologie im Österreichischen Recht" wird auf diesen Zusammenhang hingewiesen: "Es ist ein Kernstück des demokratischen Rechtsstaates, daß der Bürger Experte für seine Lebensgestaltung ist, für deren Werte und Ziele, und wenn er diese Kompetenz an den Wissenschaftler abgibt, wird letztlich unsere politische Ordnung in Frage gestellt" (Luf G.,Potz R. 1990, S.396). Voraussetzung dafür ist allerdings der Zugang zu Informationen. Entscheidungen darüber, welchen Risken Bevölkerung und Umwelt ausgesetzt werden dürfen, können nur von einer "informierten Bürgschaft" getroffen werden (Herbig J. 1978 S.147).

Eine einseitige Risikobetrachtung vernachlässigt jedoch andere, insbesondere langfristige Aspekte. Die Erzeugung neuer biologischer Varianten und ihre massenhafte Ausbringung in die Umwelt wird eine neue Qualität des Eingriffs in die Evolution darstellen.[50] Die Dimension dieser Veränderungen ist noch nicht abzusehen. Für manche Autoren ist jedoch diese Frage bedeutender, als die Gefahr einer akuten Katastrophe.[51] Der Vorschlag eines Eingriffsintensitätsindikators hat zunächst einmal den Zweck, über den "aktuellen" Aspekt hinausgehend einen "evolutionären" Aspekt des gentechnischen Eingriffs zu beschreiben und damit eine grundsätzliche Frage neu zur Diskussion zu stellen: "Was verstehen wir von biologischen Zusammenhängen und mit welchen radikalen Mitteln greifen wir in diese Zusammenhänge ein?" (Kollek R. 1986, S. 169).

Für die Gentechnik sehen wir darin einen ersten Schritt in Richtung Projektziel, nämlich zu erfahren "wie wir uns gegenüber der Umwelt verhalten. Ob einzelne Verhaltensweisen großen, kleinen oder gar keinen Schaden anrichten, wird immer eine Streitfrage bleiben und

---

[50] "Es entsteht eine neue Qualität – auch wenn Wissenschaftler Mechanismen verwenden, die den natürlichen ähnlich sind – und dies ist anders zu bewerten" Sippel A.E. 1986, S.172/173.

[51] "Ich betrachte es als durchaus möglich, daß diese Art von Forschung eine große Gefahr darstellt, nicht so sehr im Hinblick auf sofortige Epidemien – aber auch dies ist nicht ausgeschlossen –, sondern weil wir da einen Eingriff in das Evolutionsgleichgewicht machen, der in Zukunft weitgehende Folgen haben kann" (Chargaff E. 1989, S.92). "Aus ökologisch–evolutionstheoretischer Sicht liegt die Gefahr der Gentechnik weniger in ihren Unfällen und Mißerfolgen als in ihrem flächendeckenden Erfolg" (Weizsäcker E.U.v. 1986, S.160); vgl. auch Conrad J. 1989, S.185, Herbig J. 1978, S.128ff, Weizsäcker E.U.v. 1988.

nicht nur vom gewählten Referenzrahmen, sondern auch sehr stark von den Veränderungen unseres Wissens über natürliche Zusammenhänge beeinflußt sein" (Fischer-Kowalski M. et al. 1991a, S.III).

Literatur

ALBERTS B., BRAY D., LEWIS J., RAFF M., ROBERTS K., WATSON J.D. (1989): Molecular Biology of the Cell. Garland Publishing Inc. (second edition), New York - London.

ALTNER G. (1990): Die nachgebesserte Schöpfung - philosophische und ethische Aspekte der Gentechnik. In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Gentechnik in Biotechnologie, Land- und Forstwirtschaft, Möglichkeiten und Folgeabschätzungen, S.178-193. Wien.

AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN L 117 (1990): Richtlinie des Rates vom 23. April 1990 über die Anwendung genetisch veränderter Mikroorganismen in geschlossenen Systemen, 90/219/EWG und Richtlinie des Rates vom 23. April 1990 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt, 90/220/EWG.

AYALA F.J. (1988): Mechanismen der Evolution. In: Evolution - Die Entwicklung von den ersten Lebensspuren bis zum Menschen, S.20-31. Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg.

BERG P. et al. (1974): Potential Biohazards of Recombinant DNA Molecules. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, Vol.71, Nr.7, S.2593-2594

BUNDESMINISTER FÜR FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE (Hrsg.) (1991): Die Erforschung des menschlichen Genoms - Ethische und soziale Aspekte. Campus-Verl., Frankfurt am Main.

BUNDESMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT, SPORT UND KONSUMENTENSCHUTZ (BMGSK) (1991): Vorblatt zu einem Bundesgesetz über Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit des Menschen einschließlich seiner Nachkommenschaft und der Umwelt vor Schäden durch gentechnologische Eingriffe (Gentechnikgesetz - Stand: 1.Feb.1991). Wien.

BUNDESMINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND FORSCHUNG (BMWF) (1988): Biotechnologie in Österreich, Wien

CHARGAFF E. (1989): Unbegreifliches Geheimnis: Wissenschaft als Kampf für und gegen die Natur. Luchterhand Literaturverl., Frankfurt am Main.

COMETTA (1986): In: Swiss Biotech 4 (86), S.16-20. Zit nach: BMWF 1988.

CONRAD J. (1989): Risiko, Ritual und Politik. In: Schmidt M. (Hrsg.): Leben in der Risikogesellschaft: Der Umgang mit modernen Zivilisationsrisiken, S.179-204. Verl. C.F.Müller Gmbh, Karlsruhe.

DETSCHEY S. (1990): Sind Naturwissenschaften unser Schicksal? In: Wechselwirkungen Nr.45/46, Dez.90, S.56-60.

EHRENDORFER F. (1983): Geobotanik. In: Straßburger E. (Begr.): Lehrbuch der Botanik, S.916-1041. Fischer-Verl. (32.Aufl.), Stuttgart.

ENQUETE-KOMMISSION DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES. CATENHUSEN W.M., NEUMEISTER H. (Hrsg.) (1990): Chancen und Risken der Gentechnologie: Dokumentation des Berichts an den Deutschen Bundestag. Campus-Verl. (2.Aufl.), Frankfurt am Main.

FEYERABEND P. (1976): Wider den Methodenzwang, Skizze einer anarchistischen Erkenntnistheorie. Frankfurt am Main. Zit. nach Detschey S. 1990.

FISCHER-KOWALSKI M., HABERL H., PAYER H., STEURER A., VYMAZAL R. (1991a): Verursacherorientierte Umweltinformationen, Zwischenbericht, IFF, Wien.

FISCHER-KOWALSKI M., HABERL H., PAYER H., STEURER A., ZANGERL-WEISZ H. (1991b): Verursacherbezogene Umweltindikatoren-Kurzfassung, Endbericht Teil I, IFF, Wien.

FORUM ÖSTERREICHISCHER WISSENSCHAFTLER FÜR UMWELTSCHUTZ (1990): Forderungskatalog zur Anwendung

der Gentechnik in Österreich. Wien.

FUTUYMA D.J. (1990): Evolutionsbiologie. Birkhäuser-Verl., Basel - Bosten - Berlin.

GEN-ETHISCHES NETZWERK (Ö) (1991): ...die Kritik - Erste Stellungnahme des Gen-ethischen Netzwerks zum Vorentwurf des Gentechnikgesetzes. In: Gen Dialog Nr.1/91, S.5-11. Wien.

GLEICH A.v. (1985): Risiken und Probleme der Gen- und harten Biotechnologie. In: Kommune 9/85, S.49-64. Zit. nach Weingarten M. 1985.

HABERL H. (1991): Gezielte Eingriffe in Lebensprozesse. IFF, Wien.

HÄFELE W. (1974): Hypotheticality and the new challenges: The pathfinder rol of nuclear energy. Minerva, 3, 1974, S.302-322. Zit. nach Kollek R. 1990.

HERBIG J. (1978): Die Gen Ingenieure. Carl Hanser Verlag, München, Wien.

HIEN W. (1990): Die Regulierung des Unregulierbaren. In: Wechselwirkungen Nr.45/46, Dez.90, S.52-55.

HOLZAPFEL W.H., HAMMES W.P. (1989): Die Bedeutung der modernen biotechnischen Methoden für die Lebensmittelherstellung. In: Biotechnologie in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, S.47-64. Parey Verlag, Hamburg - Berlin.

IDEL A., KAMPHAUSEN R. (1986): Angepaßte Landrassen - oder Nutztiere aus der Retorte? - Der fragwürdige Beitrag der Gentechnologie zur Tierzüchtung. In: Kollek R., Tappeser B., Altner G. (Hrsg.): Die ungeklärten Gefahrenpotentiale der Gentechnologie, Dokumentation eines öffentlichen Fachsymposiums vom 7.-9. März 1986, S.136-152. Schweitzer-Verl., München.

JONAS H. (1984): Das Prinzip Verantwortung. Suhrkamp Taschenbuch 1085.

JONAS H. (1987): Technik, Medizin und Ethik. Zur Praxis des Prinzips Verantwortung. Insel Verl. (2. Auflage), Frankfurt am Main.

JUNGK R., MUNDT H.J. (1988): Das umstrittene Experiment: Der Mensch. 27 Wissenschaftler diskutieren die Elemente einer biologischen Revolution. J. Schweitzer Verlag, Reihe Gentechnologie, Band 16, München.

KOLLEK R. (1986): Sicherheitsaspekte der experimentellen Arbeit mit Retroviren. In: Kollek R., Tappeser B., Altner G. (Hrsg.): Die ungeklärten Gefahrenpotentiale der Gentechnologie, Dokumentation eines öffentlichen Fachsymposiums vom 7.-9.März 1986, S.49-69. Schweitzer-Verl., München.

KOLLEK R. (1990a): "Ver-rückte Gene: die inhärenten Risiken der Gentechnologie und die Defizite der Risikodebatte. In: Herbig J., Hohlfield R. (Hrsg.): Die zweite Schöpfung - Geist und Ungeist in der Biologie des zwanzigsten Jahrhunderts, S.386-401. Carl.Hanser-Verl, München, Wien

KOLLEK R. (1990b): Das Risiko das sich selbst vermehrt. Zum Umgang mit der Gentechnologie. In: Schaeffer R. (Hrsg.) Ist die technisch wissenschaftliche Zukunft demokratisch beherrschbar. Schriftreihe der Heinrich Böll Stiftung e.V., in Zusammenarbeit mit der Zeitschrift "Kommune", Bonn/Frankfurt

LUF G., POTZ R. (1991): Probleme der Verrechtlichung der Gentechnologie. In: Gentechnologie im österreichischen Recht, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung, S.396 Wien.

MARKL H. (1991): Wir können noch nicht, was wir können müßten. Zum Verhältnis von Genetik und Ethik. In: Fischer P., Schleuning W.D. (Hrsg.): Vom richtigen Umgang mit Genen. Piper-Verl., München.

MEUSSDORFER F., HIRSINGER F. (1989): Neue Chancen für die Landwirtschaft durch biotechnologische Methoden und Verfahren im Bereich nachwachsender Rohstoffe. In: Biotechnologie in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, S.65-79. Parey Verlag, Hamburg - Berlin.

NIH-GUIDELINES (1986): NIH-Guidelines for Research Involving Recombinant DNA Molecules. U.S. Ferderal Register, 7. Mai 1986.

OECD (1989): Biotechnology: Economics and Wider Impacts, Paris

OFFICE OF TECHNOLOGY ASSESSMENT (OTA) (1988): New Developments in Biotechnology: Field-Testing Engineered Organisms: Genetic and Ecological Issues. OTA-Publication No. BA-350.

PERROW C. (o.A.): Zit. nach Altner G. 1990.

POLT W. (1989): Ökonomische Aspekte der neuen Biotechnologien. In: Menschen nach Maß - Gene am Fließband. Inst. f. berufsbezogene Erwachsenenbildung a.d. Johannes Kepler Universität Linz.

POLT W. (1991): Gentechnik-induzierte Strukturwandelprozesse und erwachsender rechtlicher Handlungsbedarf an ausgewählten Beispielen. In: Spangenberg J., Leskien D. et. al.: Gesetzliche Regelungen zur Gentechnik in Europa. Studienteil der Studie "Gen- und Biotechnologie" im Auftrag d. BMUFJ, Wien.

REGAL P.J. (1985): The Ecology of Evolution: Implications of the Individualistic Paradigm. In: Halvorson H.O., Pramer D., Rogul M.: Engineered Organisms in the Environment: Scientific Issues, S.11-19. American Society for Microbiology, Washington D.C.

REGAL P.J. (1988): The Adaptive Potential of Genetically Engineered Organisms in Nature. In: TREE Vol.3, No.4; TIBTECH Vol.6, No.4 (April 88), S.S36-S38, Elsevier Publications, Cambridge.

RIEDL R. (1981): Biologie der Erkenntnis: Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft. Verl. Paul Parey (3.Aufl.), Berlin - Hamburg.

RIFKIN J. (1991): "Ökologisches Roulette", Interview. In: Profil 20/91, Wien. (Zitiert aus der ausführlichen Version des Interviews, Gen-Ethisches Netzwerk, Wien.)

RUCKENBAUER P. (1990): Gentechnik in der Pflanzenzüchtung. In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Gentechnik in Biotechnologie, Land- und Forstwirtschaft, Möglichkeiten und Folgeabschätzungen, S.117-132. Wien.

RUIS H. (1990): Gentechnik: Prinzipien, Chancen, Risken. In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Gentechnik in Biotechnologie, Land- und Forstwirtschaft, Möglichkeiten und Folgeabschätzungen, S.117-132. Wien.

RUSSELL P.J. (1983): Genetik -Eine Einführung. Springer-Verl., Berlin, Heidelberg.

SCHELLANDER K. (1990): Gentechnik in der Tierzucht. In: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.): Gentechnik in Biotechnologie, Land- und Forstwirtschaft, Möglichkeiten und Folgeabschätzungen, S.110-116. Wien.

SCHLEGEL H.G. (1985): Allgemeine Mikrobiologie. Thieme-Verl. (5.Aufl.), Stuttgart.

SIPPEL A.E. (1986): In: Kollek R., Tappeser B., Altner G. (Hrsg.): Die ungeklärten Gefahrenpotentiale der Gentechnologie, Dokumentation eines öffentlichen Fachsymposiums vom 7.-9.März 1986, S.111-135. Schweitzer-Verl., München.

STOTZKY G., BABICH H. (1986): Survival of, and Genetic Transfer by, Genetically Engineered Bacteria in Natural Environments. In: Advances in Applied Microbiology, Vol.31/86, S.93-138.

TAPPESER B. (1989): Gentechnik in der Pflanzenzüchtung. In: Öko-Mitteilungen (Feb.89), S.34-38.,Freiburg

Tiedje J.M. et al. (1988): The planned introduction of genetically engineered organisms: Ecological considerations and recommendations. The Ecological Society of America. Washington DC

WEIDENBACH T., TAPPESER B. (1989): Der achte Tag der Schöpfung - Die Gentechnik manipuliert unsere Zukunft.

Verl. Kiepenheuer & Witsch, Köln.

WEINGARTEN M. (1985): Frankensteins Monster... - oder: die Natur der Reproduktion und die Reproduktion der Natur. In: Forum Wissenschaft 4/85, S.11-13.

WEIZSÄCKER CH.V., WEIZSÄCKER E.U.V. (1986): Fehlerfreundlichkeit als evolutionäres Prinzip und ihre mögliche Einschränkung durch die Gentechnologie. In: Kollek R., Tappeser B., Altner G. (Hrsg.): Die ungeklärten Gefahrenpotentiale der Gentechnologie, Dokumentation eines öffentlichen Fachsymposiums vom 7.-9.März 1986, S.153-161. Schweitzer-Verl., München.

WEIZSÄCKER E.U.V. (1988): Die Gefahren des Erfolges. In: Die Zeit, 29.4.1988.

WEIZSÄCKER E.U.V. (1990): Gentechnologie und Politik. In: Biotechnologie - Das Jahr- und Adreßbuch, S.24-33. Polycom Verlagsgesellschaft, Braunschweig.

WENZEL G. (1989): Landwirtschaftliche Pflanzenproduktion. In: Biotechnologie in der Agrar- und Ernährungswirtschaft, S.96-106. Parey Verlag, Hamburg - Berlin.

WINNACKER E.L. (1990): Synthetische Biologie. In: Herbig J., Hohlfield R. (Hrsg.): Die zweite Schöpfung - Geist und Ungeist in der Biologie des zwanzigsten Jahrhunderts, S.369-385. Carl.Hanser-Verl, München, Wien.

SCHRIFTENREIHE SOZIALE ÖKOLOGIE

Band 1*
Umweltbelastungen in Österreich als Folge menschlichen Handelns. Forschungsbericht gem.m. dem Österreichischen Ökologie-Institut. Fischer-Kowalski, M., Hg. (1987)

Band 2
Environmental Policy as an Interplay of Professionals and Movements - the Case of Austria. Paper to the ISA Conference on Environmental Constraints and Opportunities in the Social Organisation of Space, Udine 1989. Fischer-Kowalski, M. (1989): 22 S., öS 70,-

Band 3
Umwelt & Öffentlichkeit. Dokumentation der gleichnamigen Tagung, veranstaltet vom IFF und dem Österreichischen Ökologie-Institut in Wien, 1990. 186 S., öS 80,-

Band 4*
Umweltpolitik auf Gemeindeebene. Politikbezogene Weiterbildung für Umweltgemeinderäte.
Lackner, Ch. (1990)

Band 5*
Verursacher von Umweltbelastungen. Grundsätzliche Überlegungen zu einem mit der VGR verknüpfbaren Emittenteninformationssystem. Fischer-Kowalski, M., M.Kisser, H.Payer, A.Steurer (1990)

Band 6*
Umweltbildung in Österreich, Teil I: Volkshochschulen. Fischer-Kowalski, M., U.Fröhlich, R. Harauer, R.Vymazal (1990)

Band 7
Amtliche Umweltberichterstattung in Österreich. Fischer-Kowalski, M., Ch.Lackner, A. Steurer (1990): 48 S., öS 110,-

Band 8
Verursacherbezogene Umweltinformationen. Bausteine für ein Satellitensystem zur österr. VGR. Dokumentation des gleichnamigen Workshop, veranstaltet vom IFF und dem Österr. Ökologie-Institut, Wien 1991. 167 S., öS 70,-

Band 9
A Model for the Linkage between Economy and Environment. Paper to the Special IARIW Conference on Environmental Accounting, Baden 1991. Dell'Mour, R., P. Fleissner, W. Hofkirchner, A. Steurer (1991): 15 S., öS 60,-

Band 10
Verursacherbezogene Umweltindikatoren - Kurzfassung. Forschungsbericht gem. mit dem Österr. Ökologie-Institut. Fischer-Kowalski, M., H. Haberl, H. Payer, A. Steurer, H. Zangerl-Weisz (1991): 66 S., öS 110,-

Band 11
Gezielte Eingriffe in Lebensprozesse. Vorschlag für verursacherbezogene Umweltindikatoren. Forschungsbericht gem. m. dem Österr.Ökologie-Institut. Haberl, H. (1991): 129 S., öS 220,-

Band 12
Gentechnik als gezielter Eingriff in Lebensprozesse. Vorüberlegungen für verursacherbezogene Umweltindikatoren. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut. Wenzl, P., H. Zangerl-Weisz (1991): 48 S., öS 105,-

Band 13
Transportintensität und Emissionen. Beschreibung österr. Wirtschaftssektoren mittels Input-Output-Modellierung. Forschungsbericht gem. m. dem Österr.Ökologie-Institut. Dell'Mour, R., P.Fleissner, W.Hofkirchner, A.Steurer (1991): 82 S., öS 155,-

Band 14
Indikatoren für die Materialintensität der österreichischen Wirtschaft. Forschungsbericht gem. m. d. Österr.Ökologie-Institut. Payer, H., unter Mitarbeit von K. Turetschek (1991): 56 S., öS 120,-

Band 15
Die Emissionen der österreichischen Wirtschaft. Systematik und Ermittelbarkeit. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Ökologie-Institut. Payer, H., H. Zangerl-Weisz, unter Mitarbeit von R.Fellinger (1991): 132 S., öS 225,-

Band 16
Umwelt als Thema der allgemeinen und politischen Erwachsenenbildung in Österreich.
Fischer-Kowalski M., U. Fröhlich, R. Harauer, R. Vymazal (1991): 82 S., öS 155,-

Band 17
Causer related environmental indicators - A contribution to the environmental satellite-system of the Austrian SNA. Paper for the Special IARIW Conf. on Environmental Accounting, Baden 1991. Fischer-Kowalski, M., H. Haberl, H.Payer, A. Steurer (1991): 11 S., öS 55,-

Band 18
Emissions and Purposive Interventions into Life Processes - Indicators for the Austrian Environmental Accounting System. Paper to the ÖGBPT Workshop on Ecologic Bioprocessing, Graz 1991. Fischer-Kowalski M., H. Haberl, P. Wenzl, H. Zangerl-Weisz (1991): 10 S., öS 55,-

Band 19
Defensivkosten zugunsten des Waldes in Österreich. Forschungsbericht gem. m. dem Österr. Institut für Wirtschaftsforschung. Fischer-Kowalski, M., R. Hess, M. Krott, F. Mitterböck, H. Payer, R. Vymazal (1991): 62 S., öS 125,-

Band 20*
Basisdaten für ein Input/Output-Modell zur Kopplung ökonomischer Daten mit Emissionsdaten für den Bereich des Straßenverkehrs.
Steurer A. (1991)

Band 21
Drinnen und Draußen. Reflexionen zur Ordnung der Räume. Macho, Th.H. (1991). In: B.Perchinig / W.Steiner (Hg.): Kaos Stadt. Möglichkeiten und Wirklichkeiten städtischer Kultur, Wien (Picus-Verlag) 1991, 107-123; sowie in: B. Krondorfer/W. Müller-Funk (Hg.): Die Kunst zu existieren. Lebensstil & Politik (= Konkursbuch 26), Tübingen (Claudia Gehrke), 93-103. (Autorenexemplare)

Band 22
A Paradise for Paradigms - Outlining an Information System on Physical Exchanges between the Economy and Nature. Fischer-Kowalski, M., H. Haberl, H. Payer (1992): 27 S., öS 75,-

Band 23
Purposive Interventions into Life-Processes - An Attempt to Describe the Structural Dimensions of the Man-Animal-Relationship. Paper to the International Conference on "Science and the Human-Animal-Relationship", Amsterdam 1992. Fischer-Kowalski, M., H. Haberl (1992): 19 S., öS 65.-

Band 24
Purposive Interventions into Life Processes: A Neglected "Environmental" Dimension of the Society-Nature Relationship. Paper to the 1. Europ. Conference of Sociology, Vienna 1992. Fischer-Kowalski, M., H.Haberl (1992): 32 S., öS 85,-

Band 25
Informationsgrundlagen struktureller Ökologisierung. Beitrag zur Tagung "Strategien der Kreislaufwirtschaft: Ganzheitlicher Umweltschutz / Integrated Environmental Protection", Graz 1992. Steurer, A., M. Fischer-Kowalski (1992): 13 S., öS 55,-

Band 26
Stoffstrombilanz Österreich 1988. Steurer, A. (1992): 26 S., öS 75,-

Band 27
Ökologische Dimensionen wirtschaftlicher Entwicklung. Payer, H. (1992). In: "Wirtschaftspolitische Blätter" 3/1992. (Autorenexemplare)

Band 28
Naturschutzaufwendungen in Österreich. Gutachten für den WWF Österreich. Payer, H. (1992). (Autorenexemplare)

Band 29
Indikatoren der Nachhaltigkeit für die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung - angewandt auf die Region. Payer, H. (1992). In: KudlMudl Sondernummer 1992: Tagungsbericht über das Dorfsymposium "Zukunft der Region - Region der Zukunft?". (Autorenexemplare)

Band 30
Umweltindikatoren für die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung - angewandt auf die Region. Payer, H. (1992). In: Raum 8/1992 - Österreichische Zeitschrift für Raumplanung und Regionalpolitik. (Autorenexemplare)

Band 31
Wiedervereinigungsphantasien. Überlegungen zum ersten Jahrestag des Golfkriegs. Macho, Th.H. (1992). In: Ulrich Sonnemann (Hrsg.): Nation (= Konkursbuch 27), Tübingen (Claudia Gehrke), 141-152. (Autorenexemplare)

Mit * gekennzeichnete Bände sind derzeit nicht erhältlich. (Alle Preise exclusive Versandkosten)

Bestellungen der Schriftenreihe Soziale Ökologie an:

IFF - Abt. Soziale Ökologie, A-1070 Wien, Seidengasse 13
Tel.: 0222-526 75 01-33 FAX: 0222-523 58 43