

**HGF-Strategiefondsvorhaben**

**Global zukunftsfähige Entwicklung –  
Perspektiven für Deutschland**

**Zwischenbericht**

**2000**

**Juni 2001**



FZK, DLR, FZJ, GMD, UFZ



# Vorhaben „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“

## Zwischenbericht

01.01.2000 – 31.12.2000

Förderkennzeichen: 01SF9913/4

Laufzeit: 01.07.1999 – 30.06.2002

### Zuwendungsempfänger:

Forschungszentrum Karlsruhe

- Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

- Abteilung für Systemanalyse und Technikbewertung / Institut für Technische Thermodynamik
- Hauptabteilung Verkehrsforschung

GMD-Forschungszentrum Informationstechnik

- Forschungsinstitut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik Systemanalyse und Simulation
- Institut für Autonome intelligente Systeme

Forschungszentrum Jülich

- Programmgruppe Mensch, Umwelt, Technik
- Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung

Assoziierte Forschungseinrichtungen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum

Umweltforschungszentrum Leipzig

- Projektbereich Naturnahe Landschaften und ländliche Räume

Juni 2001



FZK, DLR, FZJ, GMD, UFZ



# Inhalt

<b>Kurzbeschreibung des Projekts .....</b>	<b>3</b>
<b>Kurzfassung .....</b>	<b>5</b>
<b>LANGFASSUNG .....</b>	<b>11</b>
I.   Arbeitspaket: Analysen auf der nationalen Ebene <u>Teilarbeitspaket</u> : Indikatoren und Szenarien .....	11
<i>J. Kopfmüller, R. Coenen, G. Sardemann</i>	
II.   Arbeitspaket: Analysen auf der nationalen Ebene <u>Teilarbeitspaket</u> : Die politisch-institutionelle Dimension.....	39
<i>R. Eich</i>	
III.  Arbeitspaket: Flächendeckende Erfassung der Aktivitätsfelder in quantitativer Form.....	45
<i>U. Klann, V. Schulz</i>	
IV.  Arbeitspaket: Aktivitätsfeld »Mobilität« .....	63
<i>H. Keimel, C. Ortman; M. Pehnt</i>	
V.   Arbeitspaket: Aktivitätsfeld »Bauen und Wohnen« .....	85
<i>J. Jörissen, V. Stelzer</i>	
VI.  Arbeitspaket: Aktivitätsfeld »Ernährung und Landwirtschaft«.....	101
<i>Ch. Rösch, M. Heincke</i>	
VII. Arbeitspaket: Nachhaltige Landnutzung in der Kulturlandschaft .....	125
<i>H. Mühle, R. Backhaus</i>	
VIII. Arbeitspaket: Schlüsseltechnologie »Biotechnologie: Innovation und nachhaltige Entwicklung« .....	137
<i>P. Wiedemann, C. Karger, A. Brüggemann, W.-D. Fugger</i>	
IX.  Arbeitspaket: Mikrostrukturtechnik und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologien.....	151
<i>T. Fleischer</i>	
X.   Arbeitspaket: Schlüsseltechnologie »Regenerative Energien« .....	157
<i>J. Nitsch, C. Rösch</i>	
XI.  Arbeitspaket: Nachhaltigkeit und Risiko.....	169
<i>W. Hennings, J. Mertens</i>	
XII. Arbeitspaket: Schlüsseltechnologien »Information und Kommunikation« .....	181
<i>P. Dippoldsmann, M. Paetau, A. Poppenborg</i>	
XIII. Arbeitspaket: GLOBALSIM – Simulationsmodelle zur Entwicklung und Analyse von Nachhaltigkeitsstrategien.....	197
<i>H. Rosé, A. Hoheisel, P. Frank, T. Asselmeyer-Maluga, B. Kwella, M. Jugel, A. Sydow</i>	



## Kurzbeschreibung des Projekts

Das Strategiefondsprojekt „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“ übersetzt die gesellschaftliche Wahrnehmung, dass gegenwärtiges Wirtschaften teilweise massive Defizite in Bezug auf Zukunftsfähigkeit zur Folge hat, in ein Forschungsprogramm, das sich mit der Konkretisierung des Leitbilds der Nachhaltigkeit in die verschiedenen Politikfelder und der Frage nach konkreten Zielen, Strategien oder Handlungsprioritäten für Deutschland befasst. Es geht darum, Orientierungs- und Handlungswissen für die gesellschaftlichen Akteure bereitzustellen, die bei der Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung in Deutschland mitwirken. Die Diskussion um das Für und Wider eines nationalen Nachhaltigkeitsplanes, aber auch um eine eventuelle konkrete Ausgestaltung soll durch das Projekt neue Impulse erhalten. Antworten auf folgende, wissenschaftlich und gesellschaftlich umstrittene Fragen sollen gegeben werden:

- Wo liegen in Deutschland die größten Nachhaltigkeitsdefizite?
- Welches sind die stärksten Hindernisse für mehr Nachhaltigkeit?
- Wo liegen die größten Potentiale für mehr Nachhaltigkeit?
- Welches sind geeignete und wirksame erste, zweite und dritte Schritte zu mehr Nachhaltigkeit?

Diese Fragen werden auf zwei Ebenen beantwortet: (1) auf der Ebene menschlicher und gesellschaftlicher Bedürfnisse und Aktivitäten (*Aktivitätsfelder-Ansatz*) und (2) auf der Ebene von bestimmten zukunftsrelevanten *Schlüsseltechnologien*.

(1) Durch den Aktivitätsfelder-Ansatz wird die Nachhaltigkeitsthematik direkt an die Lebenswelt der betroffenen gegenwärtigen und zukünftigen Generationen angebunden werden. Auf diese Weise können sowohl Folgen nicht-nachhaltiger Wirtschaftsweisen als auch Implikationen nachhaltigkeitsorientierter Umsteuerungen für die konkreten Lebensverhältnisse verdeutlicht werden. Es werden die gesellschaftlichen Aktivitätsfelder Mobilität, Wohnen und Bauen, Ernährung und Landwirtschaft sowie Freizeit und Tourismus einer vertieften Analyse unterzogen. Für diese Aktivitätsfelder werden auf *nationaler* Ebene unter Berücksichtigung der *internationalen* Verflechtung bestehende und absehbare Nachhaltigkeitsdefizite und Zielkonflikte analysiert. Es werden Ziel- bzw. Richtungsvorgaben für mehr Nachhaltigkeit formuliert und Maßnahmen und Instrumente für nachhaltigkeitsorientierte Umsteuerung entwickelt. Dabei werden sowohl spezifische Teilstrategien entwickelt als auch ihre Wechselwirkungen zu anderen Aktivitätsfeldern analysiert.

(2) Schon vorhandene und zukünftige *Schlüsseltechnologien* werden daraufhin analysiert, inwieweit und unter welchen Bedingungen sie zur Erreichung der Ziele einer nachhaltigen Entwicklung beitragen können oder ihnen eventuell zuwiderlaufen. Einer vertiefenden Betrachtung werden regenerative Energietechnologien, Bio- und Gentechnologie, Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Mikrosystem- und Nanotechnologie unterzogen. Eine besondere Rolle spielen dabei die Implementationsbedingungen dieser Technologie in verschiedenen Anwendungsfeldern sowie die dabei zu erwartenden Folgen. Risiken großtechnischer Anlagen werden eigens unter Nachhaltigkeitsaspekten untersucht.

Das Projekt „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“ steht im Kontext anderer nationaler und internationaler Forschungen, Diskussionsprozesse und Institutionalisierungen um Nachhaltigkeit. In Deutschland sind hier zur Zeit vor allem zu nennen das Projekt „Nachhaltiges

Deutschland II“ des Umweltbundesamtes und die Aktivitäten des Rates für Nachhaltige Entwicklung beim Bundeskanzler ([www.nachhaltigkeitsrat.de](http://www.nachhaltigkeitsrat.de)).

## **Kurzfassung**

### **AP Analysen auf der nationalen Ebene**

Im Berichtszeitraum wurde eine projektübergreifende Indikatorenliste erstellt und abgesprochen. Mit der Festlegung von Nachhaltigkeitszielen wurde begonnen. Die erarbeitete Indikatorenliste stellt zum einen ein abgeschlossenes, eigenständiges Ergebnis der Projektarbeiten dar. Verstanden als Auswahlmenu bietet sie zum anderen eine wesentliche Orientierung für die weiteren Analysen auf der nationalen Ebene, in den Aktivitäts- und Technologiefeldern (mit dort jeweils zu spezifizierenden Indikatoren) sowie für die Konstruktion von Szenarien und die Bewertung von Handlungsoptionen. Dem Grundgedanken des integrativen Konzepts folgend sind die Indikatoren nicht – wie üblicherweise – den Dimensionen (Ökonomie, Ökologie, Soziales, Institutionelles), sondern den nach substantiellen Was- und instrumentellen Wie-Regeln differenzierten Nachhaltigkeitsregeln des HGF-Projekts zugeordnet. Neben den Nachhaltigkeitsregeln (Top-down-Vorgehen) orientiert sich die Auswahl der Indikatoren an den in Wissenschaft und Öffentlichkeit diskutierten Problemfeldern sowie an den vorhandenen Indikatorensystemen unterschiedlichen Typs (Bottom-up-Vorgehen).

Weiterhin wurde die Verwendung von Szenarien im Projekt geklärt und es wurden, aufbauend auf einer Aufarbeitung existierender Szenarien, Festlegungen für die Projektarbeit getroffen. Szenario-Analysen bieten die Möglichkeit, robuste Elemente für Nachhaltigkeitsstrategien zu identifizieren und Elemente von Nachhaltigkeitsstrategien nach ihren Realisierungswahrscheinlichkeiten zu klassifizieren und bilden ein Element einer gemeinsamen Orientierung für die einzelnen Analysen in den Aktivitäts- und Technologiefeldern. Im HGF-Projekt wird mit drei Szenarien gearbeitet, die ausreichend differenziert sind, aber Extrementwicklungen ausschließen. Diese lassen sich mit den folgenden Stichworten charakterisieren:

- starke Globalisierungstrends, Steuerung weitgehend nur über den Markt
- proaktive nationale und globale Politik für Umwelt und soziale Gerechtigkeit
- deutliche Veränderungen gesellschaftlicher Wertvorstellungen in Richtung Umweltbewahrung und soziale Solidarität.

### **AP Quantitative Analysen**

Aufgabe ist eine Bestandsaufnahme von Nachhaltigkeitsindikatoren für die einzelnen Aktivitätsfelder mittels Input-Output-Analysen. Für Deutschland sind konsistente und flächendeckende Datensysteme zu erzeugen, die die Werte der Indikatoren über die jeweilige Vorleistungskette liefern und erkennen lassen, welche Bedeutung einzelnen Vorleistungen zukommt. Dabei sind die Außenhandelsbeziehungen Deutschlands zu berücksichtigen. Um eine konsistente Erfassung der Aktivitätsfelder zu erreichen und deren innere Struktur zu untersuchen, wurden neue Methoden der Input-Output-Analyse entwickelt. Diese neuen Methoden wurden in Verbindung mit Standardmethoden angewandt, um konsistente und flächendeckende Datensysteme zur zeitliche Entwicklung von 1980 bis 1993 und zum Zustand im Jahr 1993 zu erzeugen. Die Abgrenzung der Aktivitätsfelder durch Zuordnung von Bestandteilen der Endnachfrage, von industriellen Kernbereichen und Vorleistungen mittels der Daten der Input-Output-Analyse zu den einzelnen Aktivitätsfeldern wurde abgeschlossen. Für das Jahr 1993 wurden für alle Aktivitätsfelder Datensysteme für folgende Indikatoren errechnet:

*Ökologische Indikatoren:* Primärenergieverbrauch, Energieverbrauch nach einzelnen Energieträgern, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> (Treibhausgase), SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> (Versauerungsgase), CO, Staub, NMVOC, Wasserverwendung, Abwasseraufkommen, Abfall zur Beseitigung, besonders überwachungsbedürftiger Abfall

*Ökonomische/soziale Indikatoren:* Arbeitnehmer, Erwerbstätige, Bruttowertschöpfung zu Marktpreisen (zerlegt in Abschreibungen, Einkommen aus unselbständiger Arbeit, Einkommen aus Unternehmertätigkeit und Vermögen zuzüglich Produktionssteuern abzüglich Subventionen)

## **AP Mobilität**

Das Aktivitätsfeld Mobilität umfasst die Bereiche Produktion von Verkehrsmittel, die Verkehrsnachfrage aus privaten und ökonomischen Motiven, sowie die Errichtung und den Unterhalt der Verkehrsinfrastruktur. Die Arbeit im Aktivitätsfeld Mobilität hat zum Inhalt möglichst alle in diesen Bereichen anfallenden Tätigkeiten zu erfassen, die Wirkungen dieser Aktivitäten auf Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft zu analysieren und anhand eines Kriterien- und Zielkatalogs hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten.

Aufbauend auf den Ergebnissen des Arbeitspaketes „Flächendeckende Erfassung der Aktivitätsfelder in quantitativer Form“, dass das Aktivitätsfeld Mobilität in besonderem Maße zum Energieverbrauch und den Emissionen von Luftschadstoffen beiträgt und dies in erster Linie durch den Straßenfahrzeugbau und den Kraftstoffverbrauch für Verkehrsbewegungen - jeweils einschließlich der Vorleistungen - verursacht wird, wurde auf diese Teilgebiete und diese Aspekte des Aktivitätsfeldes Mobilität näher eingegangen. In einem ersten Schritt wurden die beiden Teilbereiche und ihre Wirkungen hinsichtlich Energieverbrauch und Emissionen einer detaillierten Betrachtung mittels Bottom-up-Analysen unterworfen, zumal technologische Verbesserungen von Verkehrsmitteln und Kraftstoffen sowie Beeinflussung der Verkehrsnachfrage als wesentliche Maßnahmen im Aktivitätsfeld Mobilität zur Entwicklung in Richtung Nachhaltigkeit identifiziert wurden. Mögliche Entwicklungspfade der technischen Entwicklung bei Kraftstoffen und den einzelnen Verkehrsmitteln wurden – den einzelnen Szenarien entsprechend – am Beispiel der Personenkraftwagen dargestellt und ihre Herleitung begründet.

## **AP Bauen und Wohnen**

Angesichts der zentralen Funktion, die dem Bereich Bauen und Wohnen in der nationalen und internationalen Debatte zugemessen wird, ist, wie die im Berichtszeitraum erfolgte Bestandsaufnahme gezeigt hat, die Operationalisierung des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung im Vergleich zu anderen Aktivitätsfeldern weit fortgeschritten. Neben wissenschaftlichen Studien und politischen Absichtserklärungen und Vereinbarungen gibt es hier auch zahlreiche Initiativen zur konkreten Umsetzung in der kommunalen Praxis sowie Forschungs- und Förderprogramme, die diese Umsetzung erleichtern sollen. Diese Bestandsaufnahme erlaubt die Identifizierung der offenen Fragen, welche sich insbesondere in ungelösten Zielkonflikten manifestieren.

Da das Aktivitätsfeld „Bauen und Wohnen“ neben dem Hoch- und Ausbau auch den Bereich Tiefbau und Infrastruktur, die Einrichtung von Gebäuden sowie die mit der Nutzung von Gebäuden verbundene Nachfrage (Energiebedarf, Wasserverbrauch, Müllentsorgung etc.) umfasst, mussten die in früheren Studien erarbeiteten Basisdatensätze entsprechend der neuen Abgrenzung verändert und ergänzt werden. Diese methodischen Arbeiten sind inzwischen weitgehend abgeschlossen.

## **AP Landwirtschaft und Ernährung**

Das Ziel dieses Vorhabens ist eine umfassende interdisziplinäre Betrachtung des Bedürfnisfeldes Ernährung einschließlich vor- und nachgelagerter Bereiche. Die gesamte Prozesskette, von der landwirtschaftlichen Erzeugung über den Transport, die Verarbeitung, den Handel, dem Verbrauch und die Entsorgung der Nahrungsmittel wird in die Analyse einbezogen. Bestehende Nachhaltigkeitsdefizite sollen anhand von Nachhaltigkeitszielen und -indikatoren identifiziert werden.

Die Arbeiten wurden Mitte 2000 aufgenommen (zu der Sondersituation vgl. Punkt 5). Auf der Grundlage der Auswertung des Literaturbestandes und aktueller Forschungsergebnisse der einschlägigen Wissenschaftsdisziplinen (z. B. Agrarwissenschaft, Wirtschaftswissenschaft, Handel, Ökologie, Sozialwissenschaften, Ernährungsökologie, Ernährungsmedizin) wurde im Berichtszeitraum eine umfassende interdisziplinäre Problemanalyse ausgearbeitet. Diese beinhaltet die ökonomischen, ökologischen, gesundheitlichen und sozialen Herausforderungen im Bereich Ernährung.

## **AP Regionale Analysen**

Dieses Arbeitspaket gehört nicht zum HGF-Strategiefondsprojekt (zu der Sondersituation vgl. Punkt 5). Ziel des Projekts ist, die Nachhaltigkeit der Landnutzung – unter Zuhilfenahme von Qualitätszielen, Qualitätsstandards und Indikatoren(systemen) – anhand ihres Anpassungsgrades an das Leitbild zu überprüfen. Das Ziel einer nachhaltigen Landnutzung kann nur erreicht werden, wenn gesicherte Kenntnisse über die Landschaftsstruktur und ihre Prozesseigenschaften gewonnen und für die Anforderungen in der Praxis aufbereitet werden. In der z.Zt. laufenden ersten Projektphase wurden von den beiden Projekt-Partnern die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Evaluierung und Zusammenstellung der verfügbaren regionalen Datensätze
- Recherche über verfügbare aktuelle und historische Satelliten- und Luftbildaufnahmen
- Zusammenstellung und Ableitung vorläufiger regionaler Leitbilder
- Evaluierung und Zusammenstellung der gängigen funktionalen Indikatoren unter Berücksichtigung der vorhandenen Datensätze
- Recherche und Aufbau einer Datenbank der aktuellen Veröffentlichungen über die Anwendung von funktionalen und strukturellen Indikatoren in etablierten Fachzeitschriften und Projekten der geographischen Landschaftsforschung.
- Recherche über verfügbare dynamische Modelle und deren Anwendbarkeit im Projekt.

Nach Abschluss der Datenzusammenstellung wird die Aufstellung eines Datenkatalogs und die Aufbereitung der Daten für die GIS-Integration erfolgen. Darauf aufbauend wird in der zweiten Projektphase die Auswahl und Entwicklung relevanter Indikatoren und Bewertungsmodelle Schwerpunkt sein.

## **AP Schlüsseltechnologien**

### *Regenerative Energien (REG)*

Die in Deutschland technisch und wirtschaftlich nutzbaren Optionen regenerativer Energien einschließlich der Importoptionen wurden dargestellt. Dies beinhaltet die wesentlichen einzeltechnologischen Kennwerte der Wandlungstechnologien hinsichtlich technischer Leistungsfähigkeit und Potenziale, die derzeitigen und zukünftigen Kosten, die energetischen und stofflichen Herstellungsaufwendungen und ökologische Aspekte. Die abgeleiteten Eckdaten sind Grundlage für die Beurteilung des Beitrags der REG zur Erreichung verschiedener Nachhaltigkeitsziele im Energiebereich. Von besonderem Interesse ist dabei die Frage, welche Erfordernisse, Herausforderungen und Folgen mit der Realisierung der Potentiale regenerativer Energien verbunden sind. Darüber hinaus wurde diskutiert, auf welche Weise die Integration und Etablierung der als „nachhaltig“ einzustufenden REG-Technologien in den Strom-, Wärme- und Kraftstoffmarkt am zweckmäßigsten erreicht werden kann.

Die gesamtsystemaren Wirkungen eines stetigen REG-Ausbaus in der Energieversorgung Deutschlands wurden mittels eines „Orientierungsszenarios“ dargestellt. Das Szenario beschreibt auf der Basis der ermittelten differenzierten Technologie- und Kostenpotenziale sowie der infrastrukturellen Erfordernisse die Integration eines repräsentativen REG-Technologiemixes in die deutsche Energieversorgung über einen Zeitraum von fünf Jahrzehnten. Die Eckdaten für die gesamte Energieversorgung bis 2050 (Bevölkerung, BIP-Wachstum, Anzahl Haushalte, Gebäude und Wohn- bzw. Nutzflächen, Fahrzeuge und Fahrleistungen u.a.) wurden Trendentwicklungen entnommen.

### *Bio- und Gentechnologie*

Per Definition befinden sich „Emerging Technologies“ wie die Bio- und Gentechnologie noch weitgehend im Vorfeld technischer Anwendungen bzw. in einem Entwicklungsprozess, der immer wieder neue Möglichkeiten eröffnet. Somit bestehen erhebliche Unsicherheiten darüber, welche Möglichkeiten diese Technologien haben werden, wo sie zum Einsatz kommen und welche Folgen resultieren, und wie dies zu bewerten ist. In der Nachhaltigkeitsbewertung ist daher entscheidend, wie Chancen und Risiken beurteilt werden, wie diese Urteile begründet werden und welches Maß an Urteilsunsicherheit damit verbunden ist. Im Berichtszeitraum wurde auf der Basis des Forschungsstandes zur Risikokommunikation ein Verfahren entwickelt, in einer Folge von Analyseschritten diese Fragen zu explizieren. Dazu werden Experten unterschiedlicher Werthaltungen in einen Reflexionsprozess einbezogen, der nicht nur Chancen- und Risikourteile, sondern insbesondere die Basis der Urteile offen legt. Dies erfolgt in den Feldern gentechnisch veränderter Nutzpflanzen und der Xenotransplantation. Der Expertenpluralismus soll gewährleisten, die gesamte Bandbreite von Argumenten zu erfassen. Bislang wurden Evidenzkriterien erfasst, es wurde ein Interviewleitfaden erstellt und erste Experteninterviews wurden durchgeführt.

### *Risikobewertungen energietechnischer Anlagen*

Dieser Beitrag soll aufzeigen, welche Forderungen sich aus dem Kontext „Nachhaltigkeit“ für die Abschätzung und Analyse von Störfallrisiken technischer Anlagen ergeben. Im Berichtszeitraum wurden Bestandsaufnahmen und Literaturrecherchen zur Methodik der Risikobewertung durchgeführt. Diese erstreckten sich insbesondere auf interdisziplinäre Projekte der Risikoforschung, auf Konzeptionen der Sozialverträglichkeit und Fehlerfreundlichkeit und auf das Life Cycle Assessment (LCA). Diese Arbeiten sollen dazu beitragen, die Anwendung der Regel 4 („Technische Großrisiken mit

möglicherweise katastrophalen Auswirkungen auf die Umwelt sind zu vermeiden“) zu ermöglichen. Dies erfordert eine Definition und Konkretisierung der verwendeten Begriffe:

- Ab wann sind Auswirkungen „katastrophal“?
- Ab wann sind Risiken „Großrisiken“?
- Was gehört zu „technischen“ Risiken und was nicht?

Durch diese Fragestellungen sind die nächsten Schritte skizziert.

### *Informations- und Kommunikationstechnologie*

In diesem Arbeitspaket geht es um die Analyse der *informations- und kommunikationstechnologischen* Potentiale für eine nachhaltige Entwicklung. In der gegenwärtigen gesellschaftspolitischen Auseinandersetzung wird zivilgesellschaftlichen Netzwerken zugetraut, hierbei eine zentrale Rolle zu übernehmen. Die Potentialanalysen werden in zwei Untersuchungsfeldern durchgeführt, deren Auswahl in jeweils inhaltlichen, strukturellen und iuk-technischen Begründungszusammenhängen steht. Diese Bereiche sind „Selbsthilfenetzwerke im Gesundheitswesen“ und „Kommunale Netzwerke im Rahmen lokaler Agenda 21-Prozesse“.

Die exemplarische Untersuchung, die Erkenntnisse über Möglichkeiten und Ansatzpunkte für eine perspektivische Veränderung des gesellschaftlichen Status Quo im Sinne von Sustainable Development gewinnen will, ist darauf angewiesen, problemorientiert vorzugehen. Die Untersuchung bereits existierender Gesundheitsnetzwerke zur Selbstorganisation und Selbsthilfe der PatientInnen gibt über sozio-technische Netzwerk-Bedingungen einer gelingenden Information und Kommunikation, einer sozio-technischen Generierung, Verfügbarkeit und Verteilung von Wissen sowie auf die Art und Weise ihrer Institutionalisierung Aufschluss.

Geplant sind in der nächsten Phase drei Workshops, die professionell moderiert und begleitet werden und deren Ergebnisse protokolliert und zusammenfassend beschrieben werden. Die Ergebnisse der Workshops und der sekundäranalytischen Untersuchung der Selbsthilfenetzwerke im Gesundheitswesen sollen transferiert und Handlungsempfehlungen hinsichtlich forschungspolitischer Entscheidungen zur Förderung von Informations- und Kommunikationstechnik erarbeitet werden, die vor allem die institutionelle Dimension der Gestaltung einer Nachhaltigen Entwicklung unterstützen.

### *Nanotechnologie und Mikrosystemtechnik*

Eine generalisierte Diskussion von Chancen und Risiken der Nanotechnologie – so wie sie in jüngerer Zeit in den Medien, zunehmend aber auch in der Politik geführt wird –, erscheint nicht geeignet und nicht problemadäquat. Vielmehr können Potentiale und Probleme von Nanomaterialien und -technologien in Bezug auf die Dimensionen der Nachhaltigkeit nur bei konkreten Produktinnovationen und deren Nutzung in spezifischen Anwendungsfeldern detaillierter betrachtet werden. Für die Auswahl der Anwendungsfelder bietet sich deshalb zunächst eine Konzentration auf die in der Studie vertieft behandelten Aktivitätsfelder an. Von diesen ausgehend soll dann – nach dem Versuch einer kurzen Übersicht über die gesamte inhaltliche Breite des Feldes ‚Nanotechnologie‘ – vorrangig eine vertiefte Betrachtung der für diese Aktivitätsfelder relevanten Entwicklungen erfolgen.

Im bisherigen Projektverlauf wurden - auf der Basis von Literatursauswertungen - zunächst ausgewählte Entwicklungspfade im Bereich der Nanotechnologie und der Mikrosystemtechnik beschrieben. Zugleich wurde der Versuch einer Zuordnung zu möglichen Produkt- und Anwendungsfeldern unternommen. Als problematisch für den Projektfortgang erweist sich dabei, dass für zwei Bereiche,

in denen ein großes Einsatzpotential von Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie erwartet wird – Medizintechnik und Gesundheitswesen sowie Komponenten für die Informations- und Kommunikationstechnik – im Projekt kaum aktivitätsbezogene Untersuchungen vorgenommen werden. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind jedoch gerade in diesen Bereichen wichtige Auswirkungen in Bezug auf die Nachhaltigkeitsregeln sowie potentielle Sekundäreffekte – in anderen Technologiefeldern, aber auch in nichttechnischen Bereichen – zu erwarten. Hier muss noch geklärt werden, wie dieser Tatsache im weiteren Projektverlauf Rechnung getragen werden kann.

## **AP Modellierung und Simulation**

Die modernen Methoden der IuK-Technologie bieten heute erstmals die Chance durch komplexe Real World Simulationen unserer Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft neue Lösungswege, Visionen und Strategien für eine zukunftsfähige Entwicklung zu finden. In diesem AP wird ein entsprechendes interaktives Simulationstool auf der Basis wissenschaftlicher Modelle entwickelt.

Im Berichtszeitraum wurde maßgeblich das Design des interaktiven multidisziplinären Simulationsframeworks zur Entwicklung und Analyse von Nachhaltigkeitsstrategien erarbeitet und das Konzept der *M3-Simulation* entwickelt. Grundlegend ist dabei die Idee der Einbettung wissenschaftlich fundierter Simulationsmodelle in ein Virtual Reality Environment (VR), das reale menschliche Akteure in die Simulation involviert. Die vier entscheidenden Grundfunktionalitäten des Frameworks umfassen: *Modellierung und Datenmanagement* von Real World Systemen durch Simulationsmodelle und generalisierte Datenbank, *Visualisierung und Information* durch intuitive Darstellung als Virtual Environment, *Kommunikation und Interaktion* durch aktive Einbeziehung realer Akteure in die Simulation sowie *Evolution und Erweiterung* durch ein einheitliches Application Programming Interface. Diese Funktionen werden durch folgende Komponenten realisiert: *Multi-Purpose Graphical User Interface* zur Visualisierung der Simulierten Welt in spezifischen Darstellungen – *Views* – angepasst an die verschiedenen Anwendergruppen (Akteure, Experten, Entscheidungsträger, Öffentlichkeit); *Multi User Virtual Environment (MUVE)* als logische Repräsentation der Simulierten Welt; *Modellserver* als verteiltes Netzwerk von wissenschaftlichen Modellen und die *Messdatenbank* zur Verwaltung der Parameter, Messdaten und Referenzkonfigurationen des realen zu simulierenden Systems.

# **LANGFASSUNG**

## I. Arbeitspaket

### **Analysen auf der nationalen Ebene**

Teilarbeitspaket: Indikatoren und Szenarien

**J. Kopfmüller, R. Coenen, G. Sardemann**

Forschungszentrum Karlsruhe,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse



Ziel der Arbeiten des Arbeitspakets 1 ist es, das im Rahmen des vorangegangenen Projekts<sup>1</sup> erarbeitete, global ausgerichtete integrative Konzept nachhaltiger Entwicklung auf der nationalen Ebene für Deutschland zu konkretisieren und zu operationalisieren. Dies umfasst die Auswahl geeigneter Indikatoren, die auf die einzelnen, in dem erwähnten Projekt erarbeiteten Nachhaltigkeitsregeln bezogen werden, sowie die Festlegung quantitativer oder qualitativer Ziele bzw. Richtungsvorgaben für diese Indikatoren. Damit soll eine wesentliche Basis zum einen für die vorgesehenen Analysen auf der nationalen Ebene (angesprochen ist hier insbesondere das Arbeitspaket 2), zum anderen für die in weiteren Arbeitspaketen stattfindenden Analysen bezogen auf Aktivitätsfelder und Technologiebereiche geliefert werden. Darüber hinaus sind die Grundlinien für Szenarien zu erarbeiten, mit denen mögliche künftige Entwicklungen in diesen Analysefeldern skizziert und bewertet werden sollen.

Ergänzend hierzu wurden im Berichtszeitraum weiterführende Arbeiten zur detaillierteren Begründung, Erläuterung und theoretischen Fundierung des Grundkonzepts des integrativen Ansatzes wie auch einiger der Nachhaltigkeitsregeln durchgeführt. So wurde beispielsweise im Zusammenhang mit der Auswahl von Indikatoren die Notwendigkeit der Überarbeitung oder besseren Begründung einiger dieser Regeln deutlich.

## **1. Funktionen und Modelle von Indikatoren**

### **Funktionen von Indikatoren im HGF-Projekt**

Nach der Formulierung von generellen Zielen und Regeln für eine nachhaltige Entwicklung stellt die Entwicklung bzw. die Auswahl von auf diese Regeln bezogenen Nachhaltigkeitsindikatoren einen weiteren Schritt zur Operationalisierung des Leitbilds der nachhaltigen Entwicklung im Rahmen des HGF-Strategiefondsprojekts dar. Generell sollen Nachhaltigkeitsindikatoren Aussagen darüber ermöglichen, wie es um die Nachhaltigkeit der Entwicklung eines Landes, einer Region oder einer Kommune bestellt ist und ob mögliche Strategien und Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung greifen werden. Im HGF-Projekt sollen Nachhaltigkeitsindikatoren zunächst dazu dienen, zu prüfen, ob die formulierten Nachhaltigkeitsregeln in Deutschland verletzt oder eingehalten werden.

Dies bedeutet, dass für jede Regel Indikatoren gefunden werden müssen, die den in der jeweiligen Regel angesprochenen Sachverhalt in angemessener Weise abbilden. Der Satz von Nachhaltigkeitsregeln bildet damit das sogenannte Indicator-Framework, d.h. den Ordnungsrahmen für das Indikatorensystem des HGF-Projekts. Im weiteren Verlauf des Vorhabens werden die Indikatoren dazu dienen, mögliche gesellschaftliche Entwicklungspfade (Szenarien) im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit zu bewerten sowie die im Rahmen des Vorhabens zu entwickelnden Optionen zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung auf ihre Auswirkungen hin beurteilen zu können.<sup>2</sup> Für die Aktivitätsfeldernanalysen ist das für die nationale Ebene entwickelte Indikatorensystem durch aktivitätsfelderspezifische Indikatoren zu ergänzen bzw. zu spezifizieren.

---

<sup>1</sup> „Untersuchung zu einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung - Bestandsaufnahme, Problemanalyse, Weiterentwicklung“, BMBF-Förderkennzeichen: 07 OWI12

<sup>2</sup> In diesem Zwischenbericht werden nur die Funktionen von Nachhaltigkeitsindikatoren im Rahmen des Projektes angesprochen. Darüber hinaus dienen sie u.a. aber auch der Kommunikation zwischen Wissenschaft und Politik und allgemeiner Öffentlichkeit über zentrale Nachhaltigkeitsfragen sowie internationalen Vergleichen (zu den Funktionen von Nachhaltigkeitsindikatoren siehe im einzelnen Coenen 1999).

## Anforderungen an Nachhaltigkeitsindikatoren

An Nachhaltigkeitsindikatoren bzw. Indikatoren allgemein werden verschiedene Anforderungen gestellt, die sich in wissenschaftliche, funktionale, nutzerbezogene und praktische Anforderungen unterscheiden lassen und in *Abbildung 1* aufgelistet sind.

<b>Anforderungen an Nachhaltigkeitsindikatoren</b>	
<b>Wissenschaftliche Anforderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Repräsentativität und Adäquanz bezüglich der jeweiligen ökologischen, ökonomischen und sozialen Zusammenhänge und Probleme</li> <li>- Transparenz</li> <li>- Reproduzierbarkeit der Ergebnisse</li> <li>- Nachvollziehbarkeit der Aggregation</li> <li>- Nachvollziehbarkeit der Auswahlkriterien</li> <li>- Datenqualität, Transparenz über die Unsicherheit von Daten</li> </ul>
<b>Funktionale Anforderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensitivität gegenüber Änderungen im Zeitablauf</li> <li>- Eignung zur Erfassung von Trends</li> <li>- Frühwarnungsfunktion</li> <li>- internationale Kompatibilität</li> <li>- Sensitivität gegenüber ökonomischen, ökologischen und sozialen Wechselwirkungen</li> </ul>
<b>Anforderungen aus der Sicht von Nutzern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zielfähigkeit, Richtungssicherheit</li> <li>- Adressaten-adäquate Verdichtung von Information</li> <li>- politische Steuerbarkeit</li> <li>- Verständlichkeit für Politik und Öffentlichkeit</li> <li>- gesellschaftlicher Mindestkonsens über Eignung eines Indikators zur Abbildung von Zusammenhängen und über den Deutungskontext</li> </ul>
<b>Praktische Anforderungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Datenverfügbarkeit</li> <li>- Möglichkeit regelmäßiger Aktualisierung</li> <li>- vertretbarer Aufwand der Datenbeschaffung</li> </ul>

Quellen: Walz et al. 1996; SRU, 1998; Opschoor, Reijnders 1991; Lüdeke, Reusswig 1999; UK Department of the Environment 1996; eigene Ergänzungen

**Abbildung. 1: Anforderungen an Nachhaltigkeitsindikatoren**

An dieser Stelle soll nicht im einzelnen auf diesen Anforderungskatalog eingegangen, sondern nur auf diejenigen Anforderungskriterien hingewiesen werden, die für die Auswahl für das Indikatorensystem des HGF-Projekts von besonderer Bedeutung waren:

- die Angemessenheit der Abbildung der in den Regeln angesprochenen Sachverhalte,
- die Repräsentativität bezüglich der wesentlichen Nachhaltigkeitsprobleme in Deutschland,
- die internationale Kompatibilität (insbesondere im Hinblick auf vergleichbare Industriestaaten),
- die Zielfähigkeit bzw. Richtungssicherheit, d.h. es muss eindeutig sein, in welche Richtung sich der Indikator im Sinne von mehr Nachhaltigkeit bewegen sollte,

- die Datenverfügbarkeit<sup>3</sup>.

### **Indikatorenmodelle**

Im Bereich von Umweltindikatorensystemen hat sich zunehmend das Pressure-State-Response-Indikatorenmodell der OECD (PSR-Modell) durchgesetzt. Dieses Modell unterscheidet zwischen Belastungsindikatoren (pressure), die die Belastung der Umwelt durch menschliche Aktivitäten indizieren, Zustandsindikatoren (state), die die Qualität der Umwelt beschreiben, sowie Reaktionsindikatoren (response), die gesellschaftliche Reaktionen auf die Umweltprobleme erfassen<sup>4</sup>. Beispiele für solche Indikatoren im Falle der Klimaproblematik wären die CO<sub>2</sub>-Emissionen oder die Emissionen von Treibhausgasen insgesamt (aggregiert über Global Warming-Potentiale) als Pressureindikatoren, die gegenwärtige atmosphärische Konzentrationen von Treibhausgasen oder die globale Mitteltemperatur als State-Indikator und die Forschungsausgaben zur Erhöhung der Energieeffizienz bei der Nutzung fossiler Energieträger als ein Beispiel für einen Responseindikator.

Ein Vorteil des PSR-Systems besteht darin, dass es einen geeigneten Rahmen für die Formulierung von Qualitätszielen (bezogen auf state-Indikatoren) und für Handlungsziele (bezogen auf Pressure- und Response-Indikatoren) bildet.

Einige der vorliegenden Systeme von Nachhaltigkeitsindikatoren (siehe Abschnitt 2) basieren implizit oder explizit auf dem Pressure-State-Response-Modell der OECD, so insbesondere auch das System der UN Commission for Sustainable Development (CSD) mit seinem Driving force-State-Response (DSR)-Ansatz. Generell zeigt sich aber, dass sich das für Umweltindikatoren entwickelte PSR-Modell nicht nahtlos auf die ökonomische, soziale und institutionelle Dimension übertragen lässt. So ist es selbst der CSD in vielen Fällen nicht gelungen, dieses Konzept durchzuhalten und Indikatoren aller drei Typen zu formulieren. Generell scheint der DSR-Ansatz zu einfach, um die komplexen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Dimensionen abzubilden. Aus diesem Grund wurde hier auf eine derartige Untersuchung der Indikatoren verzichtet.

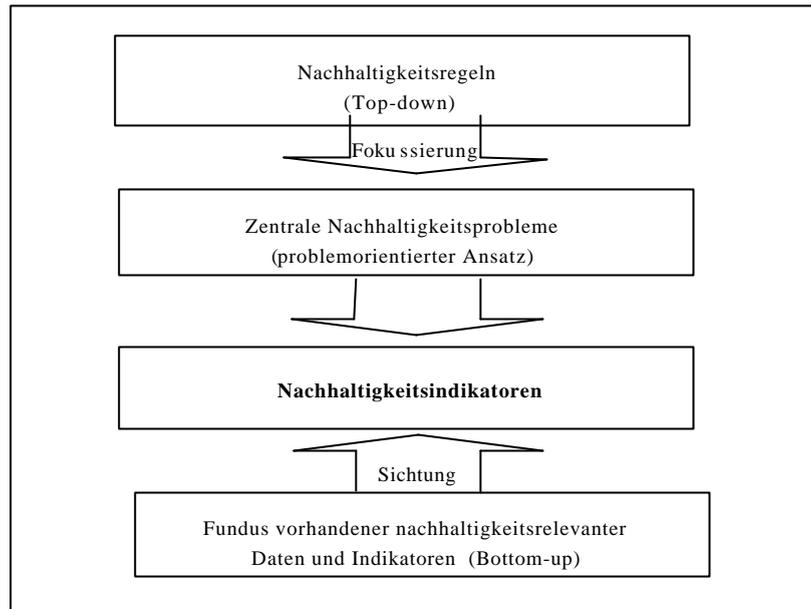
### **Zum Vorgehen bei der Indikatorenbildung im HGF-Vorhaben**

Zur Entwicklung eines Indikatorensystems wurde im HGF-Vorhaben ein Top-down-Ansatz, ein problemorientierter Ansatz und ein Bottom-up-Ansatz verknüpft (siehe Abbildung 2).

---

<sup>3</sup> Die Anwendung dieses Kriteriums schließt jedoch nicht aus, dass auch Indikatoren vorgeschlagen werden, die wir zur Abbildung einiger Regeln für geeignet halten, für die jedoch bisher keine oder nur unzureichende Daten vorhanden sind.

<sup>4</sup> EUROSTAT, das Statistische Amt mit der Europäischen Gemeinschaft, hat das PSR-Modell noch erweitert, indem es in das Modell noch Driving force- und Impact-Indikatoren einfügt (Driving force-Pressure-State-Impact-Response-Modell/DPSIR).



**Abbildung 2: Vorgehen bei der Indikatorenbildung**

Der Top-down-Ansatz bedeutet, dass die in diesem Vorhaben entwickelten Regeln zur Nachhaltigkeit den inhaltlichen Rahmen des Indikatorensystems bilden. Das heißt, den Regeln wurden Indikatoren zugeordnet.

Der problemorientierte Ansatz diente der Fokussierung des Indikatorenansatzes auf zentrale in der Öffentlichkeit oder der Wissenschaft diskutierte Probleme der Nachhaltigkeit, d.h. eine Liste als zentral angesehener Nachhaltigkeitsprobleme wurden als Filter zur Reduktion der Komplexität und damit der Zahl der Indikatoren für das Indikatorensystem verwendet.

Der Bottom-up-Ansatz bedeutet, dass für die Auswahl der Indikatoren zunächst eine Sichtung des vorliegenden umfangreichen statistischen Materials aus der Wirtschafts-, Sozial- und Umweltberichterstattung sowie der vorliegenden Nachhaltigkeitsindikatorensysteme erfolgte (siehe folgenden Absatz) und dadurch gleichzeitig die Datenverfügbarkeit und der Aufwand der Datenbeschaffung geprüft wurden. Dies schließt nicht aus, dass durch das Top-down-Vorgehen auch ein Bedarf für Indikatoren deutlich werden kann, für die bisher keine geeignete Datenbasis vorliegt.

Das im Abschnitt 3 dargestellte und auf diese Weise entwickelte Indikatorensystem des HGF-Projekts umfasst in der jetzigen Form insgesamt 129 Schlüsselindikatoren und ca. 135 zusätzliche Indikatoren. Dieses Indikatorensystem ist als ein Fundus oder Auswahlmenu zu verstehen. Daraus können für die verschiedenen Analysen auf der nationalen, der Aktivitätsfelder-, der Schlüsseltechnologie- sowie der regionalen Ebene geeignete Indikatoren ausgewählt bzw. auf ihm aufbauend jeweils spezifischere Indikatoren formuliert werden.

## **2. Die vorliegenden Indikatorensysteme**

Mittlerweile existieren eine ganze Reihe von mehr oder weniger umfangreichen Indikatorensystemen auf globaler, nationaler und kommunaler Ebene, die geeignet sind, einen Beitrag zur Beschreibung von Entwicklungszuständen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu leisten. Diese aus unabhängig voneinander erhobenen, nicht-aggregierten Indikatoren bestehenden Systeme sind unterscheidbar zum einen in

solche, die alle Nachhaltigkeitsdimensionen (Ökonomie, Ökologie, Soziales, Institutionelles) abdecken und solche, die sich nur auf eine dieser Dimensionen beziehen. Zum anderen kann differenziert werden zwischen expliziten Nachhaltigkeits-Indikatorensystemen und solchen, die nicht unter dem Nachhaltigkeitsiegel firmieren. Diese Indikatorensysteme bildeten im wesentlichen die Basis für die Auswahl der in Kapitel 3 aufgelisteten Indikatoren für das HGF-Projekt. Nachfolgend werden die aus Sicht der Autoren wichtigsten mehr-dimensionalen Systeme kurz beschrieben:

– **CSD:**

orientiert an den 40 Kapiteln der Agenda 21 und strukturiert nach dem „driving force/state/response“-Schema wird hier die ökonomische, ökologische, soziale und institutionelle Dimension von Nachhaltigkeit durch eine Reihe von Indikatoren abgebildet. Ausgehend von einem ursprünglichen Set von 138 Indikatoren (davon 23 der ökonomischen, 38 der sozialen und 15 der institutionellen Dimension zugeordnet) wird derzeit in 20 ausgewählten Ländern eine praktische Erprobungsphase durchgeführt. In Deutschland geschieht dies unter der Federführung eines interministeriellen Arbeitskreises und unter Beteiligung gesellschaftlicher Gruppen und Verbände sowie eines wissenschaftlichen Expertenkreises. In einem Bericht an die Bundesregierung<sup>5</sup> wurde das Set zunächst noch auf 218 Indikatoren erweitert, um schließlich - nach den Planungen - in einem weiteren Schritt im Jahr 2001 auf 20-30 Kernindikatoren reduziert zu werden.

– **OECD:**

in Erweiterung des 1993 entwickelten Umwelt-Schlüsselindikatorensets werden in der 1998 erschienenen Publikation „Towards Sustainable Development. Environmental Indicators“ neben Umweltindikatoren auch rund 50 sozioökonomische Indikatoren vorgeschlagen zu den Bereichen: Wirtschaft (ausschließlich BIP-bezogen), Bevölkerung, Arbeitslosigkeit, Konsumausgaben (Staat/Private), Energie, Verkehr und Landwirtschaft.

– **US President´s Council on Sustainable Development/SDI Group:**

1996 legte der Rat im Rahmen der Studie „Sustainable America: A New Consensus for Prosperity, Opportunity and a Healthy Environment for the Future“ einen ersten Vorschlag von rund 50 Indikatoren vor, der von der U.S. Interagency Working Group on Sustainable Development Indicators (SDI Group) weiterentwickelt wurde. Vorgeschlagen wurden 13 Indikatoren für die ökologische Dimension, 28 für die soziale Dimension (Schulabschlussqualität, Internet-Zugangsrate, Einkommensverteilung, Armutsraten, Partizipation an Entscheidungsprozessen, Wahlbeteiligung, Kriminalitätsrate, Kindersterblichkeit usw.) und 10 für die ökonomische Dimension (z. B. BSP, AL-Rate, Export von Umwelttechnologien, „Kapital“-Investitionen in % des BSP, Ersparnis pro Kopf, Produktivität pro Kopf, Energie-Effizienz, Benutzung des ÖPNV).

– **Prof. H. Bossel/International Institute for Sustainable Development (IISD):**

Ausgehend von den sogenannten „Bellagio-Prinzipien“ zur Entwicklung und Verwendung von Nachhaltigkeitsindikatoren beruht diese systemanalytisch angelegte Studie „Indicators for Sustainable Development. Theory, Method, Applications“ von 1999 auf der These einer koevolutionären Beziehung zwischen Natur- und Sozialsystem. Wesentliches Kriterium für Nachhaltigkeit ist hier die Erhaltung und Verbesserung der Funktions- und Entwicklungsfähigkeit der Teil-

---

<sup>5</sup> erschienen im April 2000

systeme Humansystem (Sozialsystem + persönliche Entwicklung + Staat/ Verwaltung), Versorgungssystem (Infrastruktur + Wirtschaftssystem) und Natursystem (Umwelt und Ressourcen).

Diese „Funktions- und Entwicklungsfähigkeit“ wird beschrieben durch 7 Grundorientierungen bzw. Leitwerte: Umweltkompatibilität, Wirksamkeit, Handlungsfreiheit, Sicherheit, Anpassungsfähigkeit, Koexistenz und Befriedigung psychischer Bedürfnisse. Der Grad der Nachhaltigkeit wird dann über zwei Fragestellungen erhoben: Inwieweit werden die Leitwerte in den 3 Systemen erfüllt und inwieweit tragen sie zur Erfüllung der Leitwerte in den anderen beiden Systemen bei? Daraus entstand ein Basis-Set von 42 Indikatoren (3 Systeme x 2 Fragestellungen x 7 Leitwerte), das exemplarisch für die Region Oberösterreich und für Neuseeland vorgelegt wurde. Darüber hinaus wurde für die globale Ebene ein detaillierteres Set von rund 300 Indikatoren vorgelegt, in dem alle 6 Subsysteme mit durch jeweils mehrere Indikatoren beschrieben werden.

– **„Sustainable Community Indicators“ von M. Hart:**

In dieser in der zweiten Auflage 1999 erschienenen Studie<sup>6</sup> wird eine umfangreiche Liste von rund 500 Indikatoren zu den Themen Wirtschaft (103 Indikatoren), Bildung/Erziehung (41), Umwelt (95), Regierung (22), Gesundheit (38), Wohnen (31), Bevölkerung (5), öffentliche Sicherheit (22), Erholung/Freizeit (17), Ressourcennutzung (62), Gesellschaft (32) und Transport (38) präsentiert, die jeweils in einzelnen Unterthemenbereiche gegliedert sind.

– **Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft (F.E.S.T.):**

In einem ersten Schritt wurde hier 1997 für Heidelberg und den Rhein-Neckar-Kreis in einem diskursivem Prozess unter Beteiligung von gesellschaftlichen Gruppen und Experten ein 60 Indikatoren umfassendes System erarbeitet. Untergliedert wurde dieses in die drei Bereiche Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft/Soziales sowie jeweils sechs Themenfelder (bzw. Zielstellungen). Für den Bereich Wirtschaft wurden beispielsweise die folgenden Ziele formuliert: „Gleichmäßige Verteilung der Arbeit“ (Indikatoren: Arbeitslosen-Quote, AL-Anteil Frauen, Teilzeitschäftigungs-Quote), „Angemessenheit bei privatem Verbrauch und Haushaltsausstattung“ (Indikatoren: Wohnfläche pro Person, Pkw pro 1.000 Einw., Anteil überschuldeter Haushalte) oder „Gesunde Struktur der öffentlichen Haushalte“ (Indikatoren: Schulden der Kommune je Einw., Anteil der Personal-Ausgaben im kommunalen Haushalt).

Auf dieser Basis wurde ein Indikatorensystem zur Lokalen Agenda 21 - ebenfalls diskursiv - erstellt, das 2000 in jeweils vier Landkreisen (und dort in jeweils einer Kommune) in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Thüringen erprobt wurde. Dieses System umfasst die 4 Bereiche Ökologie, Ökonomie, Gesellschaft und Partizipation. Diese werden durch jeweils 6 Themenbereiche konkretisiert, für die jeweils ein Kern-Indikator und dazu jeweils drei Unter-Indikatoren festgelegt wurden.

– **Indikatorensystem der Stadt Seattle (Washington, USA):**

Das im Zuge des Konzepts „Sustainable Seattle“ entwickelte Indikatorensystem umfasst 42 Schlüsselindikatoren: 11 für den Umweltbereich, 8 für den Bereich Wirtschaft (AL-Rate und Beschäftigungskonzentration, Verteilung privaten Einkommens, notwendige Arbeit zur Befriedigung der Grundbedürfnisse, Bezahlbarkeit von Wohnraum, in Armut lebende Kinder, Kapitalstock der Gemeinde) sowie 23 für den sozialen Bereich (zu den Themen Bevölkerung, Jugend und Ausbildung, Gesundheit und Gemeindeleben) ausgewählt. Die ermittelten Daten werden der Bevölkerung regelmäßig zur Kenntnis gegeben.

---

<sup>6</sup> abrufbar unter der Internet-Adresse [www.sustainablemeasures.com](http://www.sustainablemeasures.com)

– **Weltbank:**

Das Indikatorensystem „World Development Indicators“ der Weltbank stellt das bei weitem umfassendste Set dar, dessen großer Vorzug darin besteht, dass Daten hierfür seit rund mehr als 40 Jahren weltweit für ungefähr 150 Staaten erhoben werden. Insgesamt rund 600 Indikatoren werden hier den folgenden 6 Kategorien zugeordnet:

- „World View“ (z. B. Wirtschaftsumfang und -struktur, geschlechtsbezogene Differenzen);
- „People“ (Bevölkerungsdaten, Arbeitsmarkt, Einkommensverteilung/Armut, Bildung, Gesundheit);
- „Environment“;
- „Economy“ (z. B. BIP; Struktur von Produktion, Exporte/Importe, Nachfrage, Investitionen; Geld, Preise, Zahlungsbilanz, Verschuldung);
- „States and Markets“ (z. B. Aktienmärkte, Steuerpolitik, staatl. Unternehmen, Verkehrsinfrastruktur, Wissenschaft/Technologie) sowie
- „Global links“ (z. B. Umfang/Struktur des Handels mit Gütern/DL, Finanzströme, Reise/Tourismus, ausländische Arbeitnehmer).

– **World Resources Institute:**

Im Rahmen des kontinuierlich erscheinenden Berichts „World Resources“ sollen hiermit die globalen Entwicklungstrends aufgezeigt werden. Neben ökologischen werden hier auch rund 20 der ökonomischen Dimension zugeordnete Indikatoren verwendet (Umfang/Struktur des BIP, Verschuldung, Preis-/Warenindices, Investitionen im/vom Ausland; Energie) sowie rund 80 Indikatoren für die soziale Dimension (zu den Bereichen Bevölkerung, Gesundheit, Stadtentwicklung, Landwirtschaft/Ernährung).

– **Lebensqualitäts- bzw. Fortschritts-Indikatoren Stadt Jacksonville (Florida, USA):**

Das erstmals 1985 erhobene System umfasst insgesamt ca. 90 Indikatoren bezogen auf neun Themenbereiche: Wirtschaft, Öffentliche Sicherheit, Gesundheit, (Aus)Bildung, Umwelt, Mobilität, Regierung/Politik, Soziale Umwelt sowie Kultur und Freizeit.

Nachfolgend sind die ein-dimensionalen Indikatorensysteme aufgeführt, die in das Auswahlverfahren einbezogen wurden:

- für die ökologische Dimension sind dies
  - die „Environmental Signals“ 2000 der Europäischen Umweltagentur,
  - die „Environmental Pressure Indicators“ von EUROSTAT,
  - der Bericht des Fraunhofer Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung für das Umweltbundesamt: „Weiterentwicklung von Indikatorensystemen für die Umweltberichterstattung“ von 1996,
  - das britische Indikatorensystem „Indicators of Sustainable Development“ von 1997 sowie
  - der Deutsche Umwelt-Index (DUX) des Umweltbundesamtes;
- für die soziale und ökonomische Dimension sind es
  - das vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) seit 1984 jährlich erhobene „Sozioökonomische Panel“ (SOEP),

- das seit 1978 vom WZB Berlin und vom ZUMA Mannheim erhobene Wohlfahrtssurvey bzw. das System Sozialer Indikatoren,
- das Sozialportrait Europas von EUROSTAT,
- der Aktionsplan für Kultur und Entwicklung, verabschiedet anlässlich einer UNESCO-Konferenz 1998
- OECD: Education at a Glance von 1997
- das Indikatorensystem der Deutschen Bundesbank,
- T. Fues: Indikatoren für die Nachhaltigkeit der deutschen Beziehungen zum Süden (INEF-Report Nr. 34/1998).

### **3. Liste der Indikatoren für das HGF-Projekt**

Wie schon angesprochen, beziehen sich die Indikatoren der nachfolgend aufgeführten Liste auf die einzelnen Nachhaltigkeitsregeln. Der konzeptionellen Kernidee des Ansatzes folgend sind diese Regeln in substantielle Was-Regeln und instrumentelle Wie-Regeln unterteilt. Dabei werden die Was-Regeln, die die Mindestbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung beschreiben sollen, auf die jeder Mensch heute und in Zukunft einen moralischen Anspruch hat, den drei generellen Zielen nachhaltiger Entwicklung zugeordnet: Sicherung der menschlichen Existenz, Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotentials sowie Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten einer Gesellschaft.

Wie oben schon angesprochen, orientierte sich die Indikatorenauswahl auch an den wichtigsten in Wissenschaft und Öffentlichkeit diskutierten Problemfeldern im globalen und nationalen Maßstab. Im ökologischen Bereich sind dies Themen wie Klima- und stratosphärische Ozonproblematik, Luftverschmutzung, Süßwasserknappheit, Wasserverschmutzung, Bodendegradation, Rückgang der Artenvielfalt oder die Abfallproblematik. Im sozialen, ökonomischen und institutionellen Bereich handelt es sich um die mangelnde Versorgung mit Grundgütern (Ernährung, Wohnung, Gesundheit usw.), Arbeitslosigkeit, Verletzung elementarer Menschenrechte auf gesellschaftliche Teilhabe, Staatsverschuldung, ungleiche Einkommensverteilung, abnehmende Finanzierbarkeit der sozialen Sicherungssysteme, Legitimitätsprobleme repräsentativer Demokratien oder nicht-adäquate Strukturen in Verwaltung und Planungsbehörden.

Bei einigen Regeln erfolgte die Zuordnung der Indikatoren strukturiert nach solchen Problemfeldern.

Dabei ist es im Prinzip in vielen Fällen weder möglich noch sinnvoll, Indikatoren nur einer Regel bzw. einem Problemfeld zuzuordnen. Gerade im Hinblick auf die Analyse von Verknüpfungen zwischen einzelnen Regeln oder Problemen können durch Mehrfachzuordnungen solche Wechselwirkungen (interlinkages) deutlich gemacht werden. In den Fällen, in denen dies hier praktiziert wurde, wurden Zweitzuordnungen in Kursivschrift gekennzeichnet.

<b>Regeln</b>	<b>Generelle Ziele</b>		
	<b>Sicherung der menschlichen Existenz</b>	<b>Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotentials</b>	<b>Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gewährleistung der Grundversorgung</li> <li>- Schutz der menschlichen Gesundheit</li> <li>- Selbständige Existenzsicherung</li> <li>- Gerechte Verteilung der Umweltnutzungsmöglichkeiten</li> <li>- Ausgleich extremer Einkommens- und Vermögensunterschiede</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen</li> <li>- Nachhaltige Nutzung nicht-erneuerbarer Ressourcen</li> <li>- Nachhaltige Nutzung der Umwelt als Senke</li> <li>- Vermeidung unvermeidbarer technischer Risiken</li> <li>- Nachhaltige Entwicklung der Sach-, Human- und Wissenskapitals</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Chancengleichheit im Hinblick auf Bildung, Beruf, Information</li> <li>- Partizipation an gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen</li> <li>- Erhaltung des kulturellen Erbes und der kulturellen Vielfalt</li> <li>- Erhaltung der kulturellen Funktion der Natur</li> <li>- Erhaltung der sozialen Ressourcen</li> </ul>

**Abbildung 3: Was-Regeln und ihre Zuordnung**

*Liste der Wie-Regeln:*

- Internalisierung der ökologischen und sozialen Folgekosten
- Angemessene Diskontrate
- Begrenzung der Staatsverschuldung
- Faire internationale Wirtschaftsbeziehungen
- Internationale Kooperation
- Resonanzfähigkeit gesellschaftlicher Institutionen
- Reflexivität gesellschaftlicher Institutionen
- Steuerungsfähigkeit
- Selbststeuerungsfähigkeit
- Machtausgleich
- Rechtssicherheit

### 3.1 Substantielle Was-Regeln

#### 3.1.1 Generelles Ziel: Sicherung der menschlichen Existenz

Regel	Indikatoren
<p><b>Grundversorgung:</b>                      „Für alle Mitglieder der Gesellschaft muss ein Mindestmaß an Grundversorgung (Wohnung, Ernährung, Kleidung, Gesundheit) sowie die Absicherung gegen zentrale Lebensrisiken (Krankheit, Invalidität) gewährleistet sein“</p>	<b>Sicherung der Existenz generell</b>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der in Armut lebenden Bevölkerung<sup>7</sup></li> <li>- objektiver Leitindikator: HPI-2<sup>8</sup></li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der Bevölkerung, der gesetzlich oder privat sozialversichert ist</li> <li>- subjektiver Indikator: Allgemeine Lebenszufriedenheit</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b>  <i>selbstst. Existenzsich.:</i> Zahl und Anteil der Sozialhilfeempfänger<sup>9</sup></p>
	<b>Gesundheit</b>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lebenserwartung</li> <li>- Kinder- und Müttersterblichkeit</li> <li>- Gesundheitszustand (z.B. Krebshäufigkeit, Herz u. Kreislauferkrankungen)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl der Ärzte pro Tausend Einwohner</li> <li>- Anteil Gesundheitsausgaben am BIP</li> <li>- Zufriedenheit mit der Gesundheitsversorgung (subjektiver Indikator)</li> <li>- Versorgungsqualität durch Krankenversicherung (z. B. Zuzahlungen)</li> <li>- Anteil der Gesundheitsausgaben für Prävention zu Anteil der Ausgaben für die Behandlung</li> </ul>
	<b>Ernährung</b>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil an Personen mit Übergewicht an der Bevölkerung (BMI<sup>10</sup> über 25)</li> <li>- Konsum an Obst und Gemüse pro Woche und Kopf in kg</li> <li>- Erreichbarkeit: Anteil der Gemeinden ab einer bestimmten Einwohnerzahl ohne Lebensmittelgeschäft</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Öffentliche Ausgaben für Ernährungsberatung und -erziehung</li> <li>- Unternehmenskonzentration im Lebensmittelhandel</li> <li>- Anteil der Ernährungsausgaben an gesamten Ausgaben der priv. Haushalte</li> </ul>
<b>Wohnen</b>	
<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der Ausgaben für Wohnung und Nebenkosten am verfügbaren Einkommen</li> <li>- Anzahl und Anteil der Obdachlosen in der Bevölkerung</li> <li>- Anzahl der Bezieher von Wohngeld</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wohnfläche pro Person (evtl. aufgeschlüsselt nach Bevölkerungsgruppen)</li> <li>- Qualität der Wohnumwelt (Lärmbelästigungen, gestörte Sozialbeziehungen)</li> <li>- Zufriedenheit mit Wohnbedingungen (subjektiver Indikator)</li> <li>- Ausgaben für (sozialen) Wohnungsbau in Prozent des Haushalts und absolut</li> </ul>	
<b>Bildung</b>	
<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausgaben für Bildung in Prozent des BIP</li> <li>- Anteil Erwachsener ohne ausreichende Schreib- und Lesefähigkeit (funktionale Analphabeten)</li> <li>- Anteil Jugendlicher ohne Schulabschluss</li> <li>- Anteil Jugendlicher ohne Berufsausbildung</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lehrer-Schüler-Quote</li> <li>- Zufriedenheit mit der Ausbildung (subjektiver Indikator)</li> </ul>	

<sup>7</sup> Armut ist wie folgt definiert: geringeres verfügbares Einkommen als x Prozent (x = 40%, **50%**, 60%) des Durchschnittseinkommens.

<sup>8</sup> Aggregierter UNDP-Index misst Armut in Industrieländern

<sup>9</sup> Als eigener Indikator ausgewiesen, weil der Bezug von Sozialhilfe häufig nicht in Anspruch genommen wird

<sup>10</sup> BMI: Body-Mass-Index [Körpergewicht (kg)/Körpergröße zum Quadrat (m<sup>2</sup>)]

Regel	Indikatoren
<p><b>Schutz der menschlichen Gesundheit:</b>                      „Gefahren und unvermeidbare Risiken für die menschliche Gesundheit durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl der Tage, an denen die Luftschadstoffbelastung in Ballungsräumen/ländlichen Gebieten die Richt-/Grenzwerte für PM<sub>10</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NMVOC, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> überschreitet</li> <li>- Anteil der Bevölkerung, für die ein vorgegebener mittlerer Lärmpegel überschritten wird</li> <li>- Konzentrationen von Schwermetallen (Cadmium, Blei, Quecksilber) im Gewebe von Menschen und Tieren</li> <li>- Konzentrationen gefährlicher, persistenter organischer Verbindungen (POPs: Dioxine; polychlorierte Biphenyle, PCB; Pentachlorphenol, PCP; polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, PAK) im Gewebe von Menschen und Tieren</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenraumbelastung</li> <li>- UVB: Zahl der Tage, an denen eine bestimmte Strahlungsintensität überschritten wird</li> <li>- PCB-Gehalt von Frauenmilch</li> <li>- Anzahl gemeldeter Salmonellenerkrankungen</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Selbständige Existenzsicherung:</b>                      „Für alle Gesellschaftsmitglieder ist die Möglichkeit einer Existenzsicherung (einschließlich Kindererziehung und Altersversorgung) durch frei übernommene Tätigkeit zu gewährleisten“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zahl und Anteil der Sozialhilfeempfänger</li> <li>- offizielle Arbeitslosenquote</li> <li>- Anzahl Langzeitarbeitsloser (1 Jahr und länger)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- erweiterte Arbeitslosenquote (einbeziehend: registrierte Arbeitslose, Stille Reserve)</li> <li>- Quotient aus Arbeitszeit für bezahlte und unbezahlte Arbeit</li> <li>- Anteil Voll-, Teilzeit- und geringfügig Beschäftigter sowie Selbständiger</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Verteilung der Umweltnutzung:</b>                      „Die Nutzung der Umwelt ist nach Prinzipien der Gerechtigkeit unter fairer Beteiligung aller Betroffenen zu verteilen“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf im internationalen Vergleich</li> <li>- Anzahl der ratifizierten internationalen Abkommen zur Verteilung der Umweltnutzung im Vergleich zur Gesamtzahl</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung der Energie- und Rohstoffproduktivität</li> <li>- ProKopf Energieverbrauch in Relation zum durchschnittlichen globalen Energieverbrauch pro Kopf</li> <li>- ProKopf Rohstoffverbrauch in Relation zum durchschnittlichen globalen Rohstoffverbrauch pro Kopf</li> <li>- Pro Kopf Wasserverbrauch in Relation zum durchschnittlichen globalen Wasserverbrauch pro Kopf</li> <li>- Fischfangmengen pro Kopf im internationalen Vergleich</li> <li>- Anzahl von Nichtregierungsorganisationen, die am Zustandekommen internationaler Abkommen beteiligt sind</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Einkommens- und Vermögensverteilung:</b></p> <p>„Extreme Unterschiede in der Einkommens- und Vermögensverteilung sind abzubauen“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gini-Koeffizient</li> <li>- Theil 1- bzw. Theil 2-Koeffizient<sup>11</sup></li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zahl/Anteil der Einkommens-/Vermögensmillionäre pro Bevölkerung</li> <li>- Relation zwischen oberstem und unterstem Einkommens-Quintil</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>Grundversorgung:</i> Anteil der in Armut lebenden Bevölkerung</p>

### 3.1.2 Generelles Ziel: Erhaltung des gesellschaftlichen Produktivpotentials

Regel	Indikatoren
<p><b>Erneuerbare Ressourcen:</b></p> <p>„Die Nutzungsrate erneuerbarer Ressourcen darf deren Regenerationsrate nicht überschreiten sowie die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des jeweiligen Ökosystems nicht gefährden“</p>	<p><b>Biodiversität, empfindliche Ökosysteme</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl gefährdeter und empfindlicher Arten</li> <li>- Artenverlust</li> <li>- Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Tag</li> <li>- Geschützte Land/Meeresflächen in Prozent der jeweiligen Gesamtflächen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil gefährdeter Biotope</li> <li>- Anteil der verschiedenen Hauptnutzungsarten<sup>12</sup> an der Flächennutzung</li> <li>- Versiegelungsgrad</li> <li>- Unzerschnittene verkehrsarme Räume &gt; 100 km<sup>2</sup></li> </ul>
	<p><b>Forstressourcen</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verhältnis Holzeinschlag zu Holzzuwachs</li> <li>- Verlust an Vielfalt in den Wäldern - Zunahme von Monokulturen</li> <li>- Anteil der FSC-Flächen<sup>13</sup> an der gesamten bewirtschafteten Waldfläche</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfuhr von Holz und Holzprodukten</li> <li>- Anteil der Waldfläche an der Gesamtfläche</li> <li>- Anteil deutlich geschädigter Bäume (Schadstufen 2 -4)</li> <li>- Verwertungsquote von Altpapier</li> </ul>
	<p><b>Fischressourcen</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl der Fischarten deren Bestände in Nord- und Ostsee gefährdet sind</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menge des gefangenen Fisches</li> <li>- Fischbestand in Nord- und Ostsee</li> <li>- Erweitertes Konzept der sicheren biologischen Limits</li> <li>- Fangquoten (für die Küstenfischerei)</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>Biodiversität:</i> Geschützte Land/Meeresflächen in Prozent der jeweiligen Gesamtfläche</p>

<sup>11</sup> im Unterschied zum Gini-Koeff. wird hier die durchschnittliche Abweichung der *logarithmierten* Einkommen von einem *logarithmierten* Mittelwert angegeben

<sup>12</sup> Hauptnutzungsarten: Siedlungs- und Verkehrsfläche, Landwirtschaftsfläche, Waldfläche, Wasserfläche und sonst. Flächen

<sup>13</sup> FSC: Forest Stewardship Council

Regel	Indikatoren
<p><b>Erneuerbare Ressourcen</b> (Fortsetzung)</p>	<b>Wasserressourcen</b>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verhältnis Wasseraufkommen zu Wasserdargebot</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundwasserneubildung im Verhältnis zur Entnahme</li> <li>- Anzahl der Brunnen mit Überschreitung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung</li> <li>- Abfluss und Stofffracht von Flüssen aus Wassereinzugsgebieten</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b>  <i>Senken (Wasserverschmutzung):</i> Anteil der Fließgewässer mit chemischer Güteklasse II</p>
	<b>Bodenressourcen</b>
<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flächenanteil des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche</li> <li>- Anteil der Ackerflächen mit Überschreitung des tolerierbaren Bodenabtrags an der Ackerfläche</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil an Flächen mit Nährstoffbilanzüberschüssen an der landwirtschaftlich genutzten Fläche</li> <li>- Pflanzenschutzmittel-Risiko-Indikator</li> <li>- Anzahl an Altlasten- und Altlastverdachtsflächen</li> <li>- Anteil an Flächen mit übermäßig hohen Schadstoffeinträgen (Critical Loads Konzept) an der Gesamtfläche</li> </ul>	

Regel	Indikatoren
<p><b>Nicht erneuerbare Ressourcen:</b>            „Die Reichweite der nachgewiesenen nicht-erneuerbaren Ressourcen darf über die Zeit nicht abnehmen“</p>	<b>Energetisch genutzte Rohstoffe</b>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verbrauch nicht erneuerbarer Energierohstoffe (Öl, Erdgas, Kohle, Uran)</li> <li>- Anteil erneuerbaren Energiequellen am Primärenergieverbrauch</li> <li>- Reichweiten nicht erneuerbarer Energierohstoffe (Öl, Erdgas, Kohle, Uran)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Primärenergieverbrauch</li> <li>- Anteil der thermischen Verwertung von Reststoffen</li> <li>- Energieproduktivität: BIP / Primärenergieverbrauch</li> </ul>
	<b>Nicht energetisch genutzte Rohstoffe</b>
<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesamtverbrauch nicht erneuerbarer Rohstoffe</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Import nicht erneuerbarer Rohstoffe</li> <li>- Reichweiten nicht erneuerbarer Rohstoffe</li> <li>- Rohstoffproduktivität: BIP / Verbrauch nicht-erneuerbarer Rohstoffe</li> <li>- Abfallrecycling und -wiederverwendung: Verwertungsquoten für Glas, Kunststoffe, Metalle und Bauschutt</li> </ul>	

Regel	Indikatoren
<p><b>Senken:</b></p> <p>„Die Freisetzung von Stoffen darf die Aufnahmekapazität der Umweltmedien und Ökosysteme nicht überschreiten“</p>	<p><b>stratosphärischer Ozonabbau</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tage mit einer Ozonschichtdicke unter 260 DU über Europa (Satellitenmessungen oder Station Hohenpeißenberg)</li> <li>- Freisetzung ozonzerstörender Substanzen (ODS)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- N<sub>2</sub>O-Emissionen</li> <li>- Stickoxidemissionen durch den Flugverkehr in der hohen Atmosphäre</li> <li>- Ozonschichtdicke an den Polen im Jahresmittel</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>Schutz der menschlichen Gesundheit</i></p> <p style="padding-left: 40px;">UVB: Zahl der Tage, an denen eine bestimmte Strahlungsintensität überschritten wird</p>
	<p><b>Klimaveränderung</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CO<sub>2</sub> - Emissionen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Treibhausgasemissionen nach Kioto-Protokoll</li> <li>- Verbrauch fossiler Brennstoffe (Kohlenstoffintensität)</li> <li>- Klimarelevante Landnutzungsänderungen</li> <li>- Treibhausgaskonzentration</li> <li>- Globale Mitteltemperatur</li> </ul>
	<p><b>Photosmog</b></p>
<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissionen von NO<sub>x</sub></li> <li>- Emissionen von NMVOC</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der Fahrzeuge, die bestimmten Abgasnormen genügen (EURO I bis EURO IV)</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>Schutz der menschlichen Gesundheit</i></p> <p style="padding-left: 40px;">Zahl der Tage, an denen der Grenzwert für bodennahes Ozon überschritten wird</p>	
<p><b>Versauerung</b></p>	
<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissionen von SO<sub>2</sub></li> <li>- Emissionen von NH<sub>3</sub></li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emission versauerungsauslösender Substanzen (SO<sub>2</sub>-Äquivalente)</li> <li>- Import versauerungsauslösender Substanzen aus anderen europäischen Ländern</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>Erneuerbare Ressourcen (Forstressourcen):</i></p> <p style="padding-left: 40px;">Anteil deutlich geschädigter Bäume (Schadstufen 2 -4)</p> <p><i>Photosmog:</i> Emissionen von NO<sub>x</sub></p>	

Regel	Indikatoren
<p><b>Senken</b> (Fortsetzung)</p>	<b>Wasserverschmutzung</b>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Landfläche mit Stickstoffeinträgen aus der Tierhaltung größer 170 kg N/ha</li> <li>- Anteil der Fließgewässer mit chemischer Güteklasse II oder besser</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwermetallemissionen</li> <li>- Belastung aquatischer Ökosysteme durch Stickstoff und Phosphor</li> <li>- Chemische und biologische Wasserqualität</li> <li>- Anschlussgrad an Kläranlagen mit 3. Reinigungsstufe</li> <li>- Anteil von Wasserschutzgebieten an der Gesamtfläche</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b> <i>Erneuerbare Ressourcen (Bodenressourcen)</i> Anteil an Flächen mit Nährstoffbilanzüberschüssen an der landwirtschaftlich genutzten Fläche <i>Photosmog/Versauerung:</i> Emissionen von SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub></p>
	<b>Bodenbelastung durch toxische Substanzen</b>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anthropogene Zunahme des Schwermetallgehaltes in Böden und Sedimenten</li> <li>- Verbrauch von Pestiziden (Wirkstoffmenge)</li> <li>- Anteil gesondert zu behandelnder Problemabfälle am Abfallaufkommen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissionen von Schwermetallen (Cadmium, Blei, Quecksilber)</li> <li>- Emissionen gefährlicher, persistenter organischer Verbindungen (Dioxine; polychlorierte Biphenyle, PCB; Pentachlorphenol, PCP; polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, PAK)</li> <li>- Anzahl der Altlasten- und Altlastenverdachtsflächen</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Technische Risiken:</b> „Technische Risiken mit möglicherweise katastrophalen Auswirkungen für Mensch und Umwelt sind zu vermeiden“</p>	<p><b>Schlüsselindikator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl genehmigungspflichtiger Anlagen (Atomgesetz, Störfallverordnung, Gentechnikgesetz)</li> <li>- Anzahl der Störfällen mit hohem Schadensausmaß in genehmigungspflichtigen Anlagen</li> <li>- Anzahl von Unfällen beim Transport von Gefahrgütern, inkl. wasserunreinigenden Stoffen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl und Entfernung von Gefahrguttransporten</li> <li>- Anzahl der nach Gentechnikgesetz genehmigungspflichtigen Freisetzungen von gentechnisch veränderten Organismen</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Sach-, Human- und Wissenskapital:</b></p> <p>„Das Sach-, Human- und Wissenskapital ist so zu entwickeln, dass die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit erhalten bzw. verbessert werden kann“</p>	<p><b>Sachkapital</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verhältnis zwischen Erhaltungs- und Neuanschaffungsinvestitionen</li> <li>- Bruttoanlagevermögen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bruttoanlagevermögen ; -investitionen</li> <li>- Ausrüstungen</li> <li>- Bauten</li> <li>- von Unternehmen, Staat, Privaten</li> <li>- bzw. entsprechende Netto-Größen (d. h. unter Einbeziehung eines abgeschätzten Verschleißes)</li> </ul>
	<p><b>Human- und Wissenskapital</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bevölkerung unterteilt nach dem Ausbildungsabschluss (Ohne Abschluss; mit Abschluss der Primär-, Sekundär- oder Tertiärstufe)</li> <li>- Zahl der in FuE tätigen Wissenschaftler und Ingenieure pro Bev.</li> <li>- Ausgaben für FuE bezogen auf BIP</li> <li>- Verhältnis zwischen angebotenen und nachgefragten Lehrstellen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der Personen über 15 Jahren, die mindestens eine Fremdsprache beherrschen</li> <li>- Ausgaben für FuE (absolut, pro Kopf, bezogen auf BIP)</li> <li>- öffentlich/privat</li> <li>- und deren Struktur (differenziert nach Branchen, Sektoren oder Technologiebereichen)</li> <li>- Ausgaben für die Wissenschaft bezogen auf das BIP</li> <li>- Ausgaben für Aus- und Weiterbildung (absolut, pro Kopf, bezogen auf BIP), öffentlich/privat</li> <li>- differenziert nach den verschiedenen Ausbildungsstufen</li> <li>- Umfang von Bildungssubventionen (BAföG, Stipendien, Steuererleichterungen usw.), absolut und pro Kopf</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>Grundversorgung (Bildung):</i> Lehrer-Schüler-Quote</p>
	<p><b>Produktivität und internationale Wettbewerbsfähigkeit</b></p>
	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- RCA<sup>14</sup>-Werte (Export-Import-Relation für bestimmte Güter im Verhältnis zur gesamten Export-Import-Relation)</li> <li>- RPA<sup>15</sup>-Werte (relative Patenthäufigkeiten, verglichen mit anderen Staaten, bezogen auf Branchen bzw. Güter/DL)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arbeitsproduktivität (Bruttowertschöpfung je Arbeitsstunde)</li> <li>- Kapitalproduktivität</li> <li>- Totale Faktorproduktivität</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>nicht-erneuerbare Ressourcen:</i> Ressourcenproduktivität</p>

<sup>14</sup> RCA: revealed comparative advantage

<sup>15</sup> RPA: relativer Patentanteil

### 3.1.3 Generelles Ziel: *Bewahrung der Entwicklungs- und Handlungsmöglichkeiten*

Regel	Indikatoren
<p><b>Partizipation:</b>                      „Allen Mitgliedern einer Gesellschaft muss die Teilhabe an den gesellschaftlich relevanten Entscheidungsprozessen möglich sein“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wahlbeteiligung aufgeschlüsselt nach Art der Wahlen</li> <li>- Möglichkeit zur Verbandsklage</li> <li>- Institutionalisierte Bürgerbeteiligung an Entscheidungsverfahren</li> <li>- Anteil der Bürger, die in Bürgerinitiativen und Nichtregierungsorganisationen Mitglied sind</li> <li>- Anteil der Betriebe mit Betriebsräten</li> <li>- Gewerkschaftlicher Organisationsgrad</li> </ul> <p><b>zusätzlicher Indikator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zufriedenheit mit Partizipationsmöglichkeiten (subjektiver Indikator)</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Chancengleichheit:</b>                      „Alle Mitglieder einer Gesellschaft müssen gleichwertige Chancen in bezug auf den Zugang zu Bildung, beruflicher Tätigkeit, Information haben“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Strukturmobilitätsquote: Einkommen/Schulbildung der Eltern im Vergleich zum eigenen Einkommen/Schulbildung</li> <li>- Gender Empowerment Measure (GEM)<sup>16</sup></li> <li>- Ganztagskindergartenplätze</li> <li>- Plätze in Ganztagschulen</li> <li>- Anteil der ausländischen Bevölkerung mit sekundärem/tertiärem Bildungsabschluss</li> <li>- Zugang zum Internet</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil von Arbeiterkindern, Frauen und Ausländern unter Studierenden</li> <li>- Anzahl der Bafög-Bezieher</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Kulturelle Vielfalt:</b>                      „Das kulturelle Erbe der Menschheit und die kulturelle Vielfalt sind zu erhalten“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zahl der Objekte in Deutschland, die zum UNESCO Weltkulturerbe gehören</li> <li>- Anzahl denkmalgeschützter Bauwerke und Ensembles</li> <li>- Anteil regionalsprachlich gehaltener Stunden am Schulunterricht</li> <li>- Anteil in der Sprache des Nachbarlandes gehaltener Stunden am Schulunterricht</li> <li>- Anzahl internationaler Begegnungsstätten</li> <li>- Arbeitsplätze im Kulturbereich</li> <li>- Anzahl der Museumsbesuche</li> <li>- Anzahl kulturbezogener Sendungen in Funk und Fernsehen</li> <li>- Möglichkeit zur Religionsausübung</li> </ul> <p><b>zusätzliche noch zu konkretisierende Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indikator zum Erhalt von Sprachen und Bräuchen</li> <li>- Nationale und regionale Ausgaben im Sinne kultureller Vielfalt</li> <li>- Eingegangene kulturpolitische Verpflichtungen der Mitgliedstaaten der UNESCO zur Erhaltung des kulturellen Erbes in seiner Vielfalt</li> <li>- Maßnahmen zur Intensivierung der Forschung, Bestandsaufnahme, Archivierung und Katalogisierung des kulturellen Erbes</li> <li>- Maßnahmen zur Integration des Erhalts kultureller Vielfalt in städtischen und regionalen Entwicklungspläne</li> <li>- Kulturpolitische Maßnahmen für die Entwicklung eines für alle zugänglichen kulturellen Lebens in pluralistischer Vielfalt</li> <li>- Bildungsmaßnahmen zur Verstärkung der Kenntnis und des Verständnisses kultureller Vielfalt</li> <li>- Maßnahmen zur Anerkennung neuer Kategorien des kulturellen Erbes, wie Kulturlandschaften, Industrieerbe, Kulturtourismus</li> </ul>

<sup>16</sup> Aggregierter UNDP-Index für Industrieländer. Anteil von Frauen in Parlamenten, in Verwaltung und Management, in technischen und geisteswissenschaftlichen Berufen sowie den Anteil des Erwerbseinkommens von Frauen im Verhältnis zum Einkommen von Männern.

Regel	Indikatoren
<p><b>Kulturelle Funktion der Natur:</b>                      „Kultur- und Naturlandschaften bzw. – landschaftsteile von besonders charakteristischer Eigenart und Schönheit sind zu erhalten“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesamtfläche an geschützten Gebieten unterschiedlicher Kategorien (EU-FFH<sup>17</sup> Gebiete, Biosphärenreservate, Nationalparks, Naturparke, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verlust an Vielfalt in der Landnutzung – Zunahme von Monokulturen</li> <li>- Anzahl der unter Schutz stehenden Naturdenkmale</li> <li>- Renaturierung von Feuchtgebieten</li> <li>- Renaturierung von Bergbaufolgelandschaften und Industriebrachen</li> <li>- Gesetzliche Partizipationsmöglichkeiten an der Schutzgebietsausweisung</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b>  <i>Erneuerbare Ressourcen:</i>  <i>Biodiversität:</i> Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche pro Tag                      Geschützte Land/Meeresflächen in Prozent der jeweiligen Gesamtfläche                      Unzerschnittene verkehrsarme Räume &gt; 100 km<sup>2</sup>  <i>Forstressourcen:</i> Verlust an Vielfalt in den Wäldern – Zunahme von Monokulturen</p>

Regel	Indikatoren
<p><b>Sozialressourcen:</b>                      „Um den sozialen Zusammenhalt der Gesellschaft zu gewährleisten, sind Toleranz, Solidarität, Integrationsfähigkeit, Gemeinwohlorientierung sowie Potentiale der gewaltfreien Konfliktregelung zu stärken“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der Gesamtbevölkerung, die sich in Vereinen und Selbsthilfegruppen engagiert</li> <li>- Zeitaufwendung für ehrenamtliche Tätigkeiten</li> <li>- Anzahl der Begegnungsstätten</li> <li>- Straftaten je 1000 Einwohner</li> <li>- Anzahl der rassistischen Gewalttaten</li> <li>- Anzahl der Selbsthilfegruppen pro 1000 Einw.</li> </ul> <p><b>zusätzlicher Indikator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der Bevölkerung mit Gefühlen der Einsamkeit (subjektiver Indikator)</li> <li>- Selbstmordrate</li> </ul>

### 3.2 Instrumentelle Wie-Regeln

Regel	Indikatoren
<p><b>Ökologische und soziale Folgekosten:</b>                      „Die im Wirtschaftsprozess entstehenden externen ökologischen und sozialen Kosten müssen in diesem Prozess berücksichtigt werden“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil des Aufkommensanteils umweltschutzbezogener Steuern, Abgaben oder Gebühren am gesamten Steueraufkommen in Deutschland</li> <li>- Marktanteile von "Fair-Trade"- Produkten auf bestimmten Produktmärkten in Deutschland</li> <li>- Anzahl von Produkten/DL, die nach ISO oder EMAS zertifiziert sind</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Umfang der Ratifizierung von ILO (Internat. Labour Organisation-) Standards bzw. der Grad deren Einhaltung in der Praxis</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b>  <i>Partizipation:</i> Anteil der Betriebe mit Betriebsräten  <i>internat. Wirtschaftsbeziehungen:</i> Anteil des Importumfangs bzw. -werts von "Fair-Trade"-Produkten an den Importen Deutschlands</p>

<sup>17</sup> Fauna-Flora-Habitat Richtlinie

Regel	Indikatoren
<p><b>Angemessene Diskontrate:</b></p> <p>„Durch die Anwendung von Diskontierungsverfahren dürfen weder künftige noch heutige Generationen diskriminiert werden“</p>	<p><b>Schlüsselindikator:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zinssatz für zehnjährige Staatsschuldverschreibungen</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Begrenzung der Verschuldung:</b></p> <p>„Um zukünftige Handlungs- und Gestaltungsspielräume des Staates nicht einzuschränken, müssen die laufenden konsumtiven Ausgaben im Prinzip aus den laufenden Einnahmen finanziert werden“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Defizitquote (Haushaltsdefizit bezogen auf BIP) der Gebietskörperschaften</li> <li>- Schuldenstand (bezogen auf BIP)</li> <li>- Gesamtschulden pro Kopf</li> <li>- Zins-Steuer-Quote</li> <li>- Schuldendienst (Zinsen plus Tilgung) bezogen auf die Staatsausgaben</li> <li>- Verhältnis zwischen Neuverschuldung und Investitionen</li> <li>- Verhältnis der Konsum- zu den Investitionsausgaben des Staates</li> <li>- Anteil der Personalausgaben an den staatlichen Konsumausgaben</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Generational-Accounting-Indikator<sup>18</sup></li> <li>- Berechnung der BIP-Wachstumsrate, die erforderlich wäre, um die Schuldenquote konstant zu halten</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Faire internationale Wirtschaftsbeziehungen:</b></p> <p>„Die internationalen Wirtschaftsbeziehungen sind so zu gestalten, dass allen Staaten oder Akteuren eine faire Teilnahme am Wirtschaftsgeschehen möglich ist“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Globale Verteilung der Welthandelsanteile (insb. zwischen Industriestaaten und Entwicklungsländern)</li> <li>- Globale Verteilung der ausländischen Direktinvestitionen</li> <li>- Weltmarktanteile der 3 (oder x) größten Unternehmen auf ausgewählten Märkten</li> <li>- Marktanteile von "Fair-Trade"- (oder anderen vergleichbaren Siegeln versehene) Produkten auf bestimmten Produktmärkten in Deutschland</li> <li>- Anteil des Importumfangs bzw. -werts von "Fair-Trade"-Produkten an den Importen Deutschlands</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der 3 größten Abnehmer- bzw. Lieferländer am gesamten Export bzw. Import für Deutschland und andere ausgewählte Staaten</li> <li>- Machtverteilung in wichtigen relevanten internationalen Organisationen wie IWF oder WTO) (gemessen an Stimmrechten, Anzahl von Vertretern usw.)</li> </ul>

---

<sup>18</sup> Berechnung der Steuerbelastung, die (ceteris paribus) notwendig ist, um eine bestimmte Defizit- bzw. Schuldenhöhe finanzieren zu können (Berechnung auf der Basis von Bilanzen zu "Nettobelastungen" oder "Lebenszeit-Steuersätzen" für einzelne Generationen, d.h. Jahrgänge)

Regel	Indikatoren
<p><b>Internationale Kooperation:</b></p> <p>„Die verschiedenen Akteure (Regierungen, Unternehmen, Nichtregierungsorganisationen) müssen im Geiste globaler Partnerschaft mit dem Ziel zusammenarbeiten, die politischen, rechtlichen und faktischen Voraussetzungen für die Einleitung und Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung zu schaffen“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Öffentliche Mittel für Entwicklungszusammenarbeit bezogen auf BIP</li> <li>- Verteilung dieser Mittel auf Regionen</li> <li>- Verteilung der Mittel auf Bereiche</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grad der Erfüllung substanzieller (z. B. finanzieller) Verpflichtungen im Rahmen von internationalen Vereinbarungen</li> <li>- Beitrag zur Global Environmental Facility (GEF) sowie zu anderen internationalen Fonds</li> <li>- Umfang und Struktur (bezogen auf Kredittypen und Weltregionen) der Kreditvergaben internationaler Institutionen</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Resonanzfähigkeit:</b></p> <p>„Die Resonanzfähigkeit der Gesellschaft und ihrer Institutionen gegenüber Nachhaltigkeitserfordernissen ist zu gewährleisten oder zu stärken“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl der Produkte mit ökologischen oder sozialen Labels</li> <li>- Anzahl der nach ISO 14001 oder dem Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) zertifizierten Unternehmen bzw. deren Anteil an allen Unternehmen oder an einzelnen Branchen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gesetzliche Verankerung von Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP)</li> <li>- Anzahl der Unternehmen im World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)</li> <li>- Anteil der Unternehmen, die eine Sozialbilanz erstellen und veröffentlichen</li> <li>- Anzahl und Umfang von Nachhaltigkeitsfonds</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Reflexivität:</b></p> <p>„Institutionen müssen dazu beitragen, eine über die Grenzen partikularer gesellschaftlicher Bereiche hinausgehende Reflexion gesellschaftlichen Handelns zu ermöglichen“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Institutionalisierung von TA beim Parlament (j/n)</li> <li>- Anteil der Gesetze, für die Gesetzesfolgenabschätzungen durchgeführt wurden, an den geplanten Gesetzesvorhaben</li> <li>- Anzahl von interdisziplinär zusammengesetzten Beratungsgremien für die Politik</li> <li>- Anzahl bzw. Anteil von Querschnittsreferaten auf den verschiedenen Verwaltungsebenen</li> <li>- Bekanntheitsgrad des Begriffs "Nachhaltigkeit" in der Bevölkerung</li> <li>- "Nachhaltigkeit" als Bestandteil von Lehrplänen in Schulen (j/n)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl von Forschungsprojekten mit interdisziplinär aus Sozial- und Naturwissenschaftlern zusammengesetzten Teams</li> </ul>

Regel	Indikatoren
<p><b>Steuerungsfähigkeit:</b></p> <p>„Institutionen müssen die Steuerungsfähigkeit der Gesellschaft in Richtung einer zukunftsfähigen Entwicklung erhalten bzw. erhöhen“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachhaltigkeitsrat vorhanden (j/n)</li> <li>- Nationale Nachhaltigkeitsstrategie vorhanden (j/n)</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erfüllungsgrad von Nachhaltigkeitszielen</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b></p> <p><i>Verschuldung:</i> Verschuldungsindikatoren bezogen auf Gebietskörperschaften</p>

Regel	Indikatoren
<p><b>Selbstorganisation:</b>                      „Die Steuerungsfähigkeit der Gesellschaft darf nicht zu Lasten der Selbstorganisationspotentiale sozialer Systeme gehen“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anzahl der Nichtregierungsorganisationen zu Umwelt-, sozialen, globalen oder Dritte Welt Themen</li> <li>- Anzahl Lokaler Agenda 21 Prozesse</li> <li>- Anzahl erfüllter Selbstverpflichtungen in der Industrie</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der Bevölkerung, der aktiv am Agendaprozess teilnimmt</li> <li>- Anteil der Bevölkerung, der Mitglied in Nichtregierungsorganisationen ist</li> <li>- Anteil der Bevölkerung, der sich ehrenamtlich engagiert</li> <li>- Anzahl junger Menschen, die sich für ein freiwilliges soziales oder ökologisches Jahr verpflichten</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b>  <i>Sozialressourcen:</i> Zeitaufwand für ehrenamtliche Tätigkeiten</p>

Regel	Indikatoren
<p><b>Machtausgleich:</b>                      „Ungerechtfertigte Ungleichgewichte in den Artikulations- und Einflussmöglichkeiten sind abzubauen“</p>	<p><b>Schlüsselindikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vertretung von Nichtregierungsorganisationen in wichtigen Entscheidungsgremien</li> <li>- Anzahl von durch Mediation oder Runde Tische vorbereiteten oder durchgeführten Entscheidungsverfahren</li> <li>- Anteil von Unternehmen und Behörden, die Beauftragte für Gleichstellungsfragen haben</li> <li>- Finanzbudget, das Nichtregierungsorganisationen zur Verfügung steht</li> <li>- Konzentrationsgrad der Wirtschaft in verschiedenen Branchen</li> </ul> <p><b>zusätzliche Indikatoren:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Existenz von Verbandsklage- bzw. -beschwerderechten (j/n)</li> <li>- Gesetzlich garantierter Zugang zu Informationen</li> <li>- Anzahl der Verbraucherzentralen und deren Nutzungsintensität</li> <li>- Staatliche (oder sonstige) Mittel für Verbraucherschutz</li> <li>- Anteil von Arbeitnehmervertretern in Aufsichtsräten</li> </ul> <p><b>siehe auch:</b>  <i>Selbstorganisation:</i> Anzahl der Nichtregierungsorganisationen zu Umwelt-, sozialen, globalen oder dritte Welt Themen                      Anzahl Lokaler Agenda 21 Prozesse  <i>Partizipation:</i> Anteil der Betriebe mit Betriebsräten</p>

#### 4. Gesellschaftliche Rahmenszenarien zur Integration und Konsistenzsicherung im HGF-Projekt

Im Berichtszeitraum wurde schließlich auch die Funktion unterschiedlicher Typen von Szenarien generell und im Rahmen des HGF-Projekts diskutiert. Darüber hinaus wurden eine Sichtung und Strukturierung schon vorliegender Szenarien vorgenommen sowie grundlegende Überlegungen zum Ablauf der Szenarienanalysen im Projekt angestellt.

##### Zur Szenariotechnik

Generell sind Szenarien ein Instrument, um mit den Unsicherheiten über zukünftige Entwicklungen umgehen zu können. Da die Zukunft offen ist und exakte Prognosen nicht möglich sind, dient die Entwicklung alternativer Szenarien dazu, den Möglichkeitsraum zukünftiger Entwicklungen zu be-

schreiben. Die Szenarienbildung geht immer vom gegenwärtigen Stand der Entwicklung aus und versucht, treibende Faktoren (driving forces) zu identifizieren, die die zukünftige Entwicklung beeinflussen könnten. Durch unterschiedliche Annahmen bezüglich der Richtung, in der diese treibenden Faktoren wirken könnten, und konsistente Kombination solcher Annahmen für verschiedene treibende Faktoren können dann unterschiedliche Szenarien geschrieben werden.

Es kann zwischen explorativen und normativen Szenarien unterschieden werden, Explorative Szenarien beschreiben, basierend auf Trends aus Vergangenheit und Gegenwart, denkbare, mehr oder weniger wahrscheinliche Entwicklungspfade. Normative Szenarien zeigen demgegenüber Wege auf, wie eine gewünschte Zukunftsvision erreicht werden könnte. In der Praxis der Szenarienbildung ist diese Unterscheidung aber oft fließend. Sogenannte explorative Business as usual-Szenarien, die im wesentlichen von einer Kontinuität bzw. Fortschreibung wesentlicher Trends der Driving forces ausgehen, werden eher normativen Szenarien gegenübergestellt, die entweder wünschbare Entwicklungen, z.B. in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung, oder zu vermeidende Entwicklungen, z.B. eine Barbarisierung der Gesellschaft, beschreiben (Gallopín et al 1997).

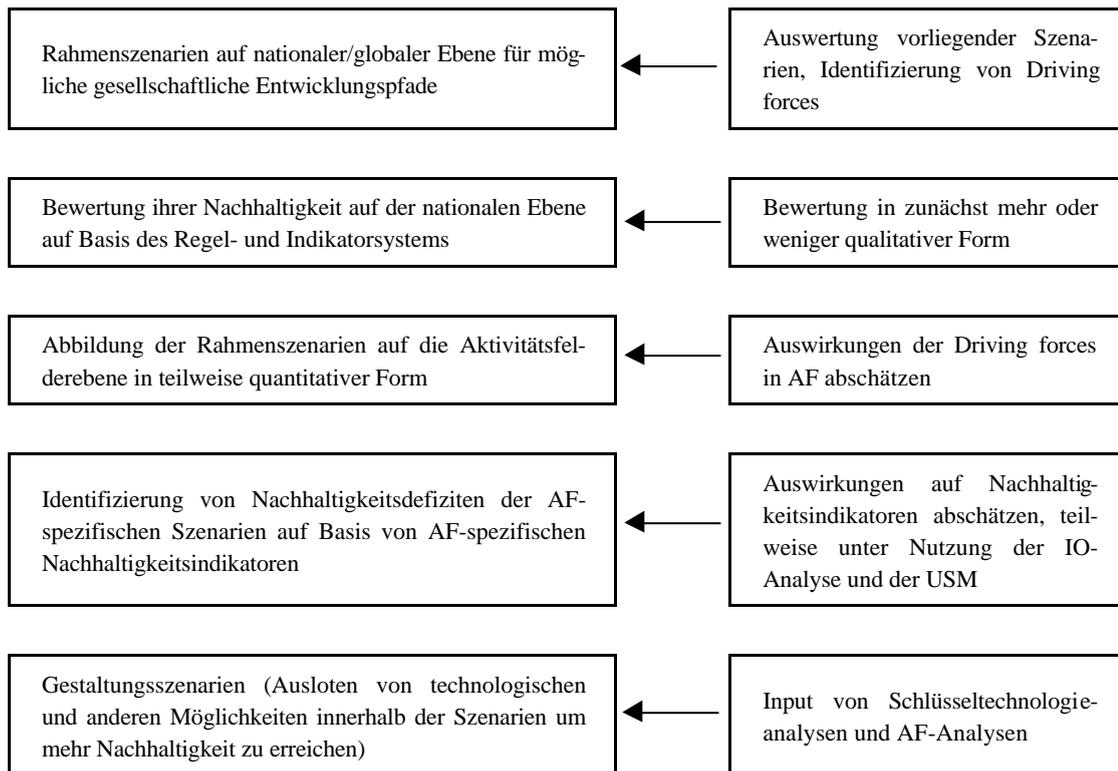
Gesellschaftliche Entwicklungsszenarien müssen immer verschiedene Ebenen verknüpfen bzw. die Wechselwirkungen zwischen diesen berücksichtigen. Das bedeutet, daß bei der Entwicklung von Szenarien für die nationale oder regionale Ebene angesichts bestehender Globalisierungstrends in verschiedenen Bereichen immer auch globale Aspekte zu berücksichtigen sind. Ein einzelnes Land kann nicht mehr als eine „Insel“ gesehen werden, die sich gegen globale Entwicklungen abschotten kann.

### **Zur Funktion von Szenarien im HGF-Projekt**

Ein Ziel des HGF-Projekts ist es, bei einem zeitlichen Horizont von 20 bis 50 Jahren Wege und Optionen aufzuzeigen, wie in Deutschland mehr Nachhaltigkeit erreicht werden kann. Dabei wird davon ausgegangen, dass es nicht nur einen Weg zu einer nachhaltigeren Entwicklung in Deutschland gibt, sondern dass mehrere Optionen denkbar sind, die sich beispielsweise je nach alternativen Annahmen über die Entwicklungen gesellschaftlicher Rahmenbedingungen unterscheiden dürften. Im HGF-Projekt stellt sich also die Frage, wie sich Nachhaltigkeit unter den Möglichkeiten unterschiedlicher zukünftiger gesamtgesellschaftlicher Entwicklungen verwirklichen lässt und ob es robuste Elemente für Nachhaltigkeitsstrategien gibt, die unter verschiedenen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen realisierbar erscheinen.

Ein weiterer Grund dafür, im HGF-Projekt mit gesamtgesellschaftlichen Rahmenszenarien zu arbeiten, ist die Konsistenzsicherung der Arbeiten in den verschiedenen Arbeitspaketen des Vorhabens, d.h. es muss sicher gestellt werden, dass in den Analysen auf der Aktivitätsfelderebene und in den Schlüsseltechnologiebereichen mit gleichen Annahmen über gesellschaftliche Rahmenbedingungen gearbeitet wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich Wege zu mehr Nachhaltigkeit in den Aktivitätsfeldern und technologische Entwicklungspfade in den Schlüsseltechnologiebereichen je nach Annahmen über die Entwicklung gesellschaftlicher Rahmenbedingungen unterscheiden dürften.

Dies bedeutet, dass die gesellschaftlichen Rahmenszenarien zunächst auf die Aktivitätsfelder abgebildet werden müssen, um dann auszuloten, wie innerhalb dieser Szenarien mehr Nachhaltigkeit z.B. durch Beiträge neuer Technologien verwirklicht werden könnte. Das Vorgehen bei der Szenarienbildung im Projekt ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 4: Schematische Darstellung der Szenarienanalysen innerhalb des HGF-Projekts**

### **Analyse vorliegender Szenarien**

Im Jahre 2000 konzentrierten sich die Arbeiten auf eine vergleichende Auswertung verschiedener vorliegender Szenario-Studien. Im Vordergrund standen dabei die Fragen, ob im HGF-Vorhaben auf vorliegenden Szenarien aufgebaut werden kann und welche Faktoren als Driving forces diesen Szenarienanalysen zugrunde liegen. Ausgewertet werden u.a. Szenarienanalysen des World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), des Stockholm Environment Institute (SEI), das Millennium-Project, Szenarien der Firma Shell, des World Resources Institute (WRI) der World Future Society (WFS) und verschiedener Autoren (Schäfer und Schön: Nachhaltigkeit als Projekte der Moderne; Wilkinson).

Als wesentliche Driving factors wurden zunächst identifiziert:

- der Umfang und Gegenstandsbereich der Globalisierung
- die Rolle supranationaler bzw. globaler Institutionen und Konventionen
- Ausmaß und Ansatzpunkte staatlicher Steuerung
- die Entwicklung des sozialstaatlichen Systems
- der Grad der Beteiligung gesellschaftlicher Gruppen an Entscheidungsprozessen
- der Grad der Individualisierung der Gesellschaft
- die Ausrichtung der Technologieentwicklung
- die Ausrichtung der Umweltpolitik.

Dabei werden in manchen der Studien einige dieser Faktoren auch als „Driven factors“ betrachtet.

Die in den verschiedenen Untersuchungen präsentierten Szenarien lassen sich zu drei Clustern bündeln (siehe *Abb. 5*). Das erste Cluster umfasst im wesentlichen Business-as-usual-Szenarien. Ein zweites Cluster umfasst Szenarien, die man bei Zugrundelegung der Nachhaltigkeitsregeln des HGF-Projekts als Prüfkriterien als mehr oder weniger nicht nachhaltig einstufen würde. Beispiele wären hier Extremszenarien wie Barbarization (SEI), Welt als Festung (WRI) oder I Will (Wilkinson). In einem dritten Cluster sind Szenarien enthalten, die gemäß den Regeln des HGF-Projekts als nachhaltigkeitsorientiert eingestuft werden können, teilweise erhebliche Veränderungen von gesellschaftlichen und individuellen Wertvorstellungen unterstellen und in dieser Hinsicht auch als Extremszenarien angesehen werden können. Beispiele sind hier Great Transitions (SEI), Nachhaltigkeit (Schäfer/Schön), Sanfte Weltgesellschaft (WFSF).

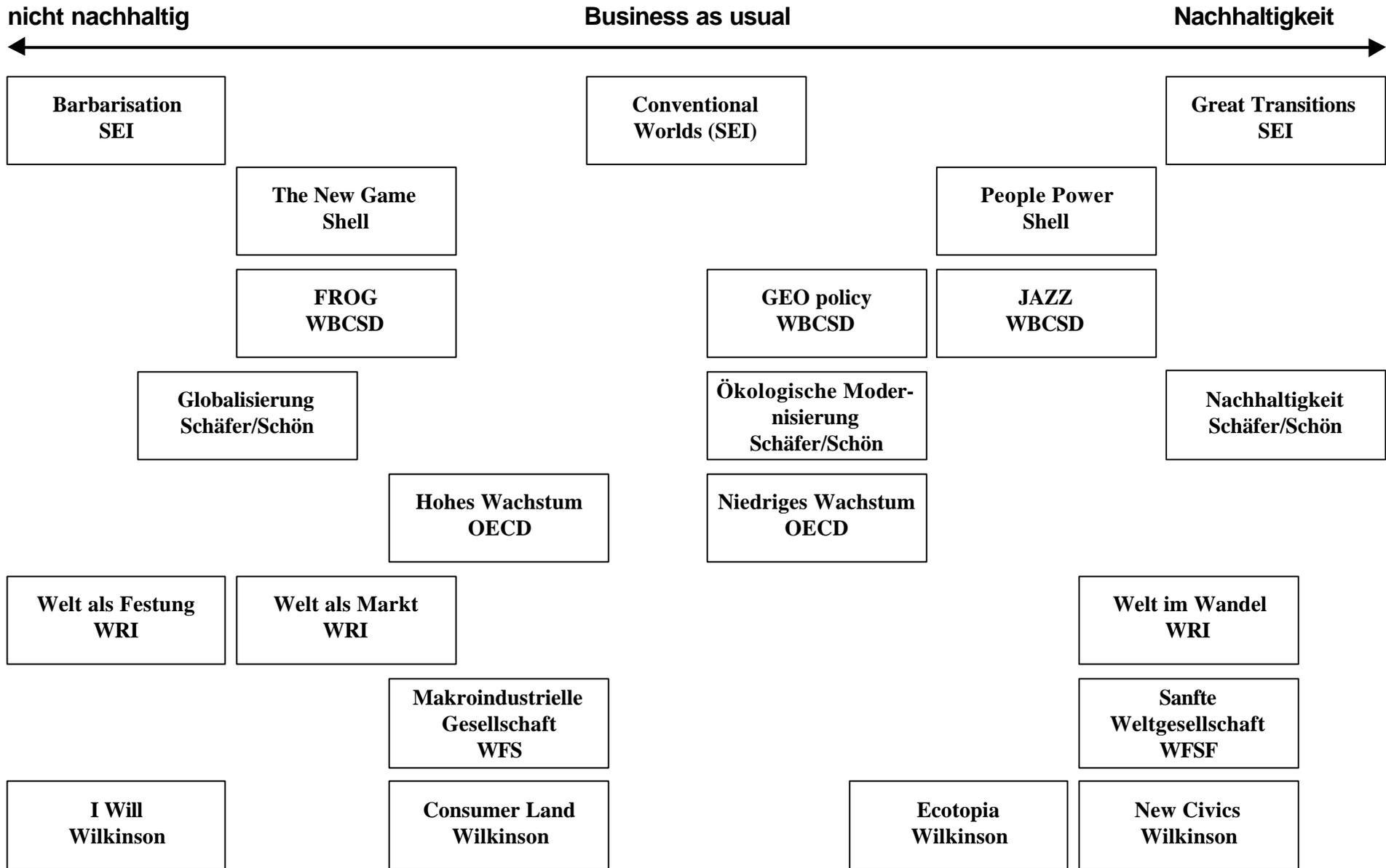
Bei der hier vorgenommenen „subjektiven“ Klassifizierung der vorliegenden Szenarien auf einer Nachhaltigkeitsskala muss jedoch angemerkt werden, dass diese Einstufungen nicht immer denen der jeweiligen Szenarientwickler entsprechen. So schreibt die OECD ihrem Szenario „Hohes Wachstum“ und ebenso die WSF ihrem Szenario „Makroindustrielle Gesellschaft“ große Potentiale in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung zu, weil sie in hohen Wachstumsraten und technischer Effizienzsteigerung wesentliche Voraussetzungen bzw. Mittel zur Lösung der ökologischen Nachhaltigkeitsprobleme wie auch der sozialen Nachhaltigkeitsprobleme (Armut, Nord-Süd-Problematik) sehen.

Im Rahmen des HGF-Projektes sollen drei Szenarien verwendet werden:

- ein Szenario I, das sich an Szenarien wie the New Game (Shell), FR0G (WBCSD), Welt als Markt (WRI), Hohes Wachstum (OECD) oder Conventional Worlds/Reference variant (SEI) orientiert und mit folgenden Stichworten skizziert werden kann: weiterhin starke Globalisierungstrends, wettbewerbszentrierte Technikentwicklung, hohe Individualisierung, teilweiser Rückzug des Staats aus der Sozialstaatsverantwortung, Steuerung vornehmlich über Märkte, schwache globale Institutionen.
- Ein Szenario II, das sich an Szenarien wie Conventional Worlds/Policy reform variant (SEI), Geopolicy (WBCSD), Ökologische Modernisierung (Schäfer/Schön) oder Niedriges Wachstum (OECD) orientiert. Stichworte sind hier: eine proaktive staatliche und internationale Politik, um Marktversagen zu korrigieren und ökologische und soziale Probleme auf globaler und nationaler Ebene zu begegnen, ohne dominante gesellschaftliche und individuelle Wertvorstellungen und wirtschaftliche und soziale Strukturen in Frage zu stellen.
- Ein Szenario III, das sich an Szenarien wie People Power (Shell), JAZZ (WBCSD), Welt im Wandel (WRI) und Great Transitions/New Sustainability Paradigma variant (SEI) orientiert. Hier werden in zunehmendem Umfang stattfindende Veränderungen von gesellschaftlichen Wertvorstellungen (höhere Nachhaltigkeitsorientierung bezüglich von Umwelt- und sozialen Problemen), höhere soziale Solidarität und institutionelle Reformen angenommen, ohne bisherige gesellschaftlich-industrielle Strukturen gänzlich in Frage zu stellen.

Extremszenarien (sogenannte „Wild cards“) sollen im Vorhaben nicht analysiert werden. Eine endgültige Abstimmung über die Szenarien innerhalb des HGF-Projekts wird im Frühjahr dieses Jahres im Rahmen eines Workshops erfolgen.

**Abbildung 5: Cluster vorliegender Szenarien**





## II. Arbeitspaket

### **Analysen auf der nationalen Ebene**

Teilarbeitspaket: Die politisch-institutionelle Dimension

**Regina Eich**

FZ Jülich – Programmgruppe STE



## 1. Vorhabensziele/Bezug zu anderen Vorhaben

Das vorrangige Ziel des Projekts „Global zukunftsfähige Entwicklung-Perspektiven für Deutschland“ ist die Konkretisierung des Leitbilds einer nachhaltigen Entwicklung für die Bundesrepublik Deutschland. In diesem Zusammenhang sollen Qualitäts- und Handlungsziele für ausgewählte Indikatoren entwickelt werden. Diese stellen den Ausgangspunkt für die Ausarbeitung und Analyse von Handlungsoptionen auf nationalstaatlicher Ebene dar.

Die Ziele des Forschungsvorhabens lassen sich wie folgt umschreiben:

- Erarbeitung von Grundlagen und Kriterien für eine am Nachhaltigkeitskonzept orientierte Prioritätensetzung in der Forschungs- und Technologiepolitik,
- Entwicklung von Handlungsoptionen zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung in verschiedenen gesellschaftlichen Aktivitäts- und Bedürfnisfeldern sowie in ausgewählten Regionen,
- zudem soll das Vorhaben einen Beitrag zur öffentlichen und wissenschaftlichen Debatte über die Operationalisierung und Umsetzung des Nachhaltigkeitskonzepts leisten sowie
- eine Analyse der Potenziale sowie der neuen und verbesserten Technologien zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung.

Zentrale Ausgangsprämisse des Ansatzes des Verbundvorhabens ist dabei, dass die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – die ökonomischen, ökologischen und sozialen Belange – gleichrangig und integriert zueinander in Beziehung gesetzt werden. Das heißt, diese drei Belange müssen stets in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit zueinander betrachtet werden. Dabei ist es das Ziel, eine Verbesserung der ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen mit der langfristigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Beziehung zu setzen.

Zusätzlich zu den genannten drei Ebenen sollen aber auch die politisch-institutionellen Rahmenbedingungen für eine Politik der Nachhaltigkeit als ergänzende vierte Dimension eines integrativen Konzepts der nachhaltigen Entwicklung betrachtet werden.

## 2. Untersuchungsprogramm/Arbeitspakete

Das Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, Empfehlungen für eine Reform des politisch-institutionellen sowie des politisch-administrativen Systems zu geben, deren Umsetzung es ermöglicht, alle Dimensionen der Nachhaltigkeit in der Politikformulierung, der Politikimplementation und bei der Überprüfung der Umsetzung des Konzepts der nachhaltigen Entwicklung zu beachten.

Schwerpunkt der Arbeit im FZ Jülich ist die Analyse der institutionellen Rahmenbedingungen und Handlungsmöglichkeiten. Dies soll auf der Grundlage der zu Beginn des Projekts ausgearbeiteten Regeln zur Nachhaltigkeit sowie der Indikatoren für die politisch-institutionelle Dimension erfolgen.

Dabei werden im Rahmen einer zunächst fallbeispielbezogenen Analyse drei Themenbereiche behandelt, die sich im wesentlichen auf das politisch-administrative System beziehen. Diese lassen sich zusammenfassend in Form von drei Fragen darstellen:

1. Inwieweit macht eine Implementation des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung Veränderungen im politisch-administrativen System notwendig?
2. In welchem Umfang und in welcher Form haben solche Veränderungen bereits tatsächlich stattgefunden?
3. Welche Ergebnisse (in Form von Erfolgen bzw. Misserfolgen) dieser Veränderungen sind zur Zeit bereits erkennbar?

Diese Fragestellung soll mit Hilfe mehrerer Untersuchungsobjekte beantwortet werden. Dabei scheinen einzelne Nationalstaaten als Untersuchungsgegenstand am besten geeignet zu sein. Als zu untersuchende Staaten kommen dabei neben der Bundesrepublik Deutschland auch Großbritannien, die Niederlande, die Schweiz, Finnland und Schweden sowie die USA oder Kanada in Betracht. Eine vergleichende Analyse der Nachhaltigkeitskonzepte dieser Staaten soll unter übertragbaren oder nicht beispielhaften Aspekten erfolgen.

Das Hauptaugenmerk der Untersuchung wird sich – im Rahmen der Untersuchungen für die Bundesrepublik Deutschland – auf die Gebietskörperschaften (und hier insbesondere auf den Bund) sowie auf die Exekutive und Legislative stützen.

Im Zusammenhang mit der Beantwortung der ersten Teilfrage im Rahmen der Analyse (siehe oben) ist es das Ziel, grundsätzlich festzustellen, ob sich durch die Einführung des Sustainable Development-Konzepts Veränderungen bzw. Neuerungen im Bereich des politisch-administrativen Systems abgezeichnet haben. Im Weiteren soll eingehend untersucht werden, in welchen Teilbereichen sich diese Wandlungen durchgesetzt haben. Daneben soll auch genauer analysiert werden, in welcher Art und Weise dies geschehen ist.

Dabei gilt es zu klären, ob und inwieweit diese in der Folge der Organisationsreform eingetretenen Veränderungen sinnvoll bzw. geeignet zur Erfüllung von Querschnittsaufgaben erscheinen.

Aufgrund der Fragestellung wird eine Analyse des Forschungsfeldes anhand von fünf Untersuchungsebenen vorgenommen. Diese sollen darstellen:

1. die Veränderungen des politischen Systems in seinen Außenbeziehungen – wie dem Verhältnis zu den NGOs oder anderen gesellschaftlichen Gruppen,
2. die Veränderungen innerhalb des politischen Systems,
3. die Veränderungen innerhalb einer administrativen Einheit,
4. die Untersuchung des „Querschnittsbereich“ Regierung und
5. die Verknüpfung der Veränderungen auf der nationalstaatlichen Ebene mit denen, die auf der Ebene der Europäischen Union erfolgt sind.

Im Rahmen dieser Untersuchungen sollen analog zu den fünf Untersuchungsebenen die folgenden Fragen geklärt werden:

- a) Erfolgt auf der Ebene des politischen Systems bzw. auf der Gesellschaftsebene eine Implementation des Nachhaltigkeitsprinzips beispielsweise durch die Institutionalisierung neuer Gremien?
- b) Wird innerhalb des politischen Systems dieser Prozess durch die Entstehung neuer administrativer Einheiten vorangetrieben?

- c) Wird als Folge der Festschreibung des Ziels der Nachhaltigkeit auf der Ebene des politischen Systems auf der darauf folgenden Ebene der administrativen Einheiten dies beispielsweise durch die Institutionalisierung eines „Sustainable Development-Beauftragten“ in einzelnen Ministerien fortgesetzt?
- d) Ist für den Sektor des „Querschnittsbereich Regierung“ eine eigenständige Anwendung des Nachhaltigkeitsgedankens zu vermuten – etwa die Implementation eines Gremiums auf Staatssekretärs-Ebene?
- e) Zudem erscheint es sinnvoll, zu untersuchen, inwieweit eine Verknüpfung des Postulats der Nachhaltigkeit auf der nationalstaatlichen Ebene mit den Entwicklungen in diesem Bereich auf der EU-Ebene korreliert.

Demnach ist es die Intention dieser Untersuchung, einen Handlungsansatz zu entwickeln, nach dem das politisch-administrative System in der Bundesrepublik Deutschland einer „Neuausrichtung“ hin zum Konzept der nachhaltigen Entwicklung unterzogen werden kann. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Erarbeitung eines integrativen Ansatzes, der die Berücksichtigung sowohl der ökologischen als auch der sozialen und ökonomischen Aspekte in dieses Modell einbezieht.

### **3. Durchgeführte Arbeiten / Ergebnisse**

Mit Beginn der Arbeitsaufnahme zum 1. August des Jahres 2000 war zunächst eine Einarbeitung in das breite Themenfeld nötig. Neben der Analyse von Veröffentlichungen und bisherigen Untersuchungen auf dem Gebiet der nachhaltigen Entwicklung erfolgte zugleich eine Einarbeitung in das bereits angelegte Raster des Forschungsvorhabens. Dabei ging es insbesondere darum, den integrativen Charakter dieses Forschungsvorhabens aufzunehmen.

Neben der inhaltlichen und fachlichen Einarbeitung fanden auch Treffen und Zusammenkünfte mit den übrigen Organisationseinheiten im Rahmen des Verbundprojekts statt. Diese dienten der inhaltlichen Positionsbestimmung.

Im Verlauf des Berichtszeitraums fanden mehrere Treffen/Sitzungen der gesamten Projektgruppe bzw. der verschiedenen Arbeitspakete und Aktivitätsfelder statt. Im folgenden sind diese mit ihrem jeweiligen Veranstaltungsort aufgelistet:

- HGF-Szenarienworkshop am 11. Oktober 2000 im Wissenschaftszentrum in Bonn,
- HGF-Workshop des Arbeitspaketes I am 7. November 2000 bei der GMD in Sankt Augustin/Bonn und
- Besprechung im Forschungszentrum Karlsruhe bei ITAS am 12. Dezember 2000.

Im Berichtszeitraum wurden die unter dem Punkt „Untersuchungsprogramm“ genannten Fragestellungen und Analysefelder einleitend untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt zunächst auf der Bestimmung des derzeitigen Status quo der Implementation des Sustainable Development-Prinzips in der Bundesrepublik Deutschland. Dazu wurde die Entwicklung in diesem Bereich anhand von Veröffentlichungen, Berichten und Stellungnahmen in den vergangenen zehn Jahren eingehend durchleuchtet.

Des Weiteren wurde zum Ablauf des Berichtszeitraums mit der Analyse der Nachhaltigkeitsstrategie in einigen anderen Staaten begonnen. Zunächst wurden die Nachhaltigkeitspläne von Großbritannien so-

wie der Schweiz untersucht und ausgewertet. Daraufhin wurden weitere Entwicklungen in diesen beiden Staaten, die Auswirkungen auf die Institutionalisierung einer Strategie der nachhaltigen Entwicklung haben, beleuchtet. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Beobachtung von Veränderungen im institutionellen und administrativen Bereich Großbritanniens und der Schweiz.

Bis zum Ende des Jahres 2000 erfolgte zunächst eine Einarbeitung in den Themenkomplex „Sustainable Development“. Des Weiteren war es notwendig, basierend auf dem vom ITAS gewählten Ansatz eines integrativen Konzepts zur Implementation der Nachhaltigen Entwicklung diese Struktur auch auf eine entsprechende Konzeptionalisierung des Untersuchungsbereichs der politisch-institutionellen Ebene zu übertragen.

Neben der Erarbeitung einer Projektskizzierung, die eine Darstellung der geplanten Vorgehensweise und Arbeitsschritte enthält, wurde die Programmgruppe STE des Forschungszentrums Jülich auch in den Diskussionsverlauf zur Erstellung der Regeln und Indikatoren, auf denen das integrative Konzept der Nachhaltigkeit beruht, mit einbezogen.

Ferner wurde eine vergleichende Analyse der Nachhaltigkeitsstrategien und Nachhaltigkeitspläne einzelner Staaten (hier vor allem Großbritanniens und der Schweiz) durchgeführt. Mittels Darstellungen in Form von Organigramm wurden zunächst die entsprechenden Regierungssysteme abgebildet. Im nächsten Schritt gelang es, die jeweiligen Gremien, die sich in diesen beiden Ländern mit der Umsetzung des Konzepts der nachhaltigen Entwicklung beschäftigen, in diese Darstellungen mit zu integrieren.

Die vergleichende Analyse der Nachhaltigkeitspläne beispielsweise der Schweiz oder Großbritanniens erfolgt jedoch immer unter Einbeziehung der gegenwärtigen Gegebenheiten und Entwicklungen in diesem Bereich in der Bundesrepublik Deutschland.

#### **4. Weitere Arbeiten**

Zunächst einmal wird angestrebt, die Erarbeitung einer Indikatorenliste für den politisch-institutionellen Sektor eines integrativen Konzepts der Nachhaltigkeit im Zuge des Mid-Term-Meetings in der letzten Märzwoche des Jahres 2001 erfolgreich zu beenden.

Der nächste Schritt besteht dann darin, die bereits begonnene vergleichende Länderanalyse verschiedener Nachhaltigkeitspläne und –strategien fortzusetzen. Zugleich werden auch die gegenwärtig laufenden Bemühungen der Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland zur Erarbeitung einer nationalen Nachhaltigkeitsstrategie sowie zur Einsetzung entsprechender Gremien kritisch begleitet.

Am Ende dieser Untersuchung soll mittels der dargestellten vergleichenden Länderanalyse sowie unter Rückgriff auf die von anderen Projektpartnern erarbeiteten Regeln und Indikatoren zur Umsetzung des Sustainable Development-Konzepts auf der politisch-institutionellen Ebene der Handlungsrahmen für die Implementation des Prinzips der nachhaltigen Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland abgesteckt werden.

Dabei ist es zugleich das Ziel, dem Auftraggeber entsprechende Handlungsempfehlungen zu übermitteln.

### III. Arbeitspaket

## **Flächendeckende Erfassung der Aktivitätsfelder in quantitativer Form**

**Dr. U. Klann**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische  
Thermodynamik, Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung

**V. Schulz**

Forschungszentrum Karlsruhe,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse



## Vorbemerkung - Zur inhaltlichen Bedeutung des Arbeitspaketnamens

Das Arbeitspaket „Flächendeckende Erfassung der Aktivitätsfelder in quantitativer Form“ ist in das HGF-Verbundprojekts „Global zukunftsfähige Entwicklung – Perspektiven für Deutschland“ folgendermaßen einzuordnen: Ziel des Gesamtprojektes ist der Entwurf von Handlungsstrategien zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung. Voraussetzung für die Bewertung von Handlungsoptionen ist der Entwurf von Szenarien, der wiederum eine Zustandsbeschreibung voraussetzt. Sie liefert einen allgemeinen Überblick und gibt den anderen Bereichen des Projekts Hinweise auf wichtige Details, insbesondere auf solche, die in der jeweils übliche Abgrenzung der Gegenstandsbereiche der Beachtung entgegen könnten.

Um einen unmittelbaren Zugang zu erleichtern und gleichzeitig den Namen des Arbeitspakets zu erläutern, dürfte eine kurze Erläuterung der Begriffe „Aktivitätsfeld“ und „flächendeckend“ hilfreich sein<sup>19</sup>. Die gesellschaftlichen bzw. volkswirtschaftlichen Aktivitäten werden auf folgende Bereiche – „Aktivitätsfelder“ (AF) - verteilt, die auch wesentliche Einheiten der Arbeitsteilung sind, in denen Nachhaltigkeitsprobleme geortet und Handlungsstrategien entwickelt werden sollen:

- Bauen und Wohnen,
- Mobilität,
- Ernährung und Landwirtschaft,
- Information und Kommunikation,
- Freizeit und Tourismus,
- Textilien und Bekleidung,
- Gesundheit sowie
- sonstige gesellschaftliche Aktivitäten, wo überwiegend staatliche Aktivitäten enthalten sind.

Zur praktischen Handhabung wurden die AF in der Input-Output(IO)-Tabelle des Statistischen Bundesamtes unter Verwendung weiterer Statistiken, wie z.B. Produktionsstatistiken, datentechnisch bestimmt, womit Technologien, Bedürfnisse und ihre ökonomischen Verbindungen beschrieben sind. Das statistische Werk der IO-Tabelle bietet als gesamtwirtschaftliches Bilanzierungsschema eine Gewähr für eine flächendeckende Erfassung. Als Teil der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) ist eine Verbindung mit vielfältigen ökonomischen und sozialen Daten vorhanden. Da das Statistische Bundesamt ökologisch relevante Größen in seiner Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR) kompatibel mit der IO-Tabelle ausweist, entsteht eine Verbindung der verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen.

Die zugrundeliegende Vorstellung über Inhalt und Abgrenzung der AF werden am Beispiel „Mobilität“ erläutert. Der AF-Ansatz hat den Anspruch möglichst alle mit „Mobilität“ zusammenhängende Aktivitäten zu erfassen. Vorliegende Studien befassen sich typischerweise entweder

---

<sup>19</sup> Ausführlich: Klann, U./ J. Nitsch (1999): Verursacherbezogene, konsistente Erfassung von Belastungsbeiträgen und Integration in ein gesamtwirtschaftliches Modell, HGF-Projekt „Untersuchung zu einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung: Bestandsaufnahme, Problemanalyse, Weiterentwicklung“ Abschlußbericht Band 5, Hrsg.: Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung (ITAS), Karlsruhe. Klann, U./ J. Nitsch (2000): Der Aktivitätsfelderansatz – Ein methodisches Untersuchungsgerüst zur Formulierung von Nachhaltigkeitsstrategien. In: TA-Datenbank-Nachrichten Jg. 9, Nr.2, S.58-64.

1. mit den Verkehrsbewegungen; dabei werden z.B. nur der direkte Verbrauch von Kraftstoffen und die dadurch verursachten Luftschadstoffemissionen erfasst;
2. mit der Produktion von Verkehrsmitteln; hier werden z.B. die im Straßenfahrzeugbau und bei der Produktion der Vorprodukte (z.B. beim Abbau von Erzen und in der Eisen- und Stahlindustrie) emittierten Luftschadstoffe erfasst;
3. mit den Aktivitäten und Güterkäufen der privaten Haushalte zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse, wiederum unter Berücksichtigung aller Vorprodukte. Hier sind dann z.B. alle mit dem Bau von privaten Garagen, also etwa aus der entsprechenden Zementherstellung, verbundenen Luftschadstoffemissionen und die mit der Produktion von Reifen, die von Haushalten gekauft werden, zu finden.

Das AF „Mobilität“ umfasst alle diese Bereiche sowie zusätzlich die Verkehrsinfrastruktur und staatlichen Dienstleistungen für den Verkehr. Die gemäß Punkt 2 komplett zu einem AF gehörenden Produktionsbereiche (z.B. Straßenfahrzeugbau) sowie den gewerblichen Verkehr (Teil von Punkt 1) werden **Kernbereiche** genannt. Die Güterkäufe der privaten Haushalte (gemäß Punkt 3), der private Verkehr (Rest von Punkt 1) sowie staatliche Dienstleistungen für Mobilität definieren das dazugehörige **Bedarfsfeld**. Hinzu kommen sämtliche Vorleistungen. Insgesamt basiert der **Aktivitätsfeldansatz** demnach auf einer **bedürfnisorientierten Kategorisierung des gesamtgesellschaftlichen Konsummusters unter Einbeziehung der ökonomisch-technischen Zusammenhänge**. Hierdurch wird ein Untersuchungsraum geschaffen, in dem alle Aspekte der Mobilität darstellbar und diskutierbar sind. Durch äquivalente Überlegungen gelangt man für alle AF zu einer Zuordnung. Überlappungen werden bewusst zugelassen: Beispielsweise ist der Transport von Baumaterial inklusive aller Vorleistungen als Transport von Baumaterial sowohl Bestandteil von „Mobilität“ als auch von „Bauen und Wohnen“. Ein anderer derartiger Bereich sind Freizeitfahrten, die einen wesentlichen Einfluss auf das AF „Mobilität“ haben und gleichzeitig zentraler Bestandteil von AF „Freizeit und Tourismus“ sind. Durch die Überlappungen können wichtige gesellschaftliche bzw. volkswirtschaftliche Bereiche gleichzeitig aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. Dadurch wird berücksichtigt, dass diese durch Maßnahmen bzw. Strategien in zwei oder mehreren Aktivitätsfeldern beeinflusst werden können.

Durch die Einordnung in die IO-Tabelle werden die Aktivitätsfelder in die Datensysteme der Volkswirtschaftlichen und Umweltökonomischen Gesamtrechnungen integriert. Dies wird genutzt, um mittels Zurechnungsmodellen – einem Teilgebiet der IO-Analyse – Bilanzierungssysteme zu errechnen, aus denen die Stellung der einzelnen Aktivitätsfelder in Deutschland sowie die innere Struktur der Aktivitätsfelder entnommen werden kann. Ergebnisse derartiger Rechnungen werden im folgenden präsentiert.

## 1. Einleitung

Das Arbeitspaket 2 hat das Ziel, auf Basis einer Deutschland abdeckenden Bestandsaufnahme einen allgemeinen Überblick über die Aktivitätsfelder zu liefern und den Bearbeitern der Aktivitätsfelder auf besonders zu beachtende Sachverhalte hinzuweisen. Im folgenden werden hierzu ausgewählte Ergebnisse dargestellt und im Einzelfall, um Hinweise aus vertieften, nicht dargestellten, Analysen ergänzt.

„Ausgewählte Ergebnisse“ bezieht sich dann auf zweierlei: Erstens darauf, dass jedes Teilergebnis aus einem zusammenhängenden Bilanzsystem stammt, aus dem der jeweilige Gesamtzusammenhang hervorgeht, der vertiefte Einsichten zu vermitteln vermag. Zweitens bedeutet es, dass entsprechende Daten in Abschnitt 2 für sämtliche bearbeitete Indikatoren (s.u. *Abb. 2.4*) und Aktivitätsfelder errechnet wurden. Abschnitt 2 beruht auf einer breiten Bestandsaufnahme für das Bezugsjahr 1993 (Abschnitt 2). Aufgrund fehlender Ursprungsdaten kann Abschnitt 3, wo die zeitliche Entwicklung von 1980 bis 1993 der Aktivitätsfelder für einige Indikatoren (Abschnitt 3) dargelegt wird, nicht mit allen diesen Größen arbeiten. Das Bezugsjahr 1993 und das Ende der zeitlichen Untersuchung in diesem Jahr ist dabei datentechnisch bedingt. Das etwas zurückliegende Bezugsjahr 1993 wird als wenig gravierend angesehen, da das Augenmerk vor allem auffälligen Mustern und relativen Größenordnungen gilt, die als relativ stabil einzuschätzen sind. Im weiteren Projektverlauf ist aber noch ein Fortschreibung bis 1995 geplant.

Neben der Relevanz der Ergebnisse wurde bei der Auswahl auch darauf geachtet, dass ein Eindruck des gesamten vorliegenden Datensystems vermittelt wird. Begonnen wird in der Bestandsaufnahme mit Ergebnissen, die noch nicht aktivitätsfelderspezifisch sind (Abschnitt 2.1). Dann wird ein Aktivitätsfeld – Mobilität – beispielhaft genauer betrachtet (Abschnitt 2.2). In Abschnitt 3 werden schließlich zeitliche Entwicklungen für die Emissionen der Luftschadstoffe CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> dargestellt.

## 2. Bestandsaufnahme 1993

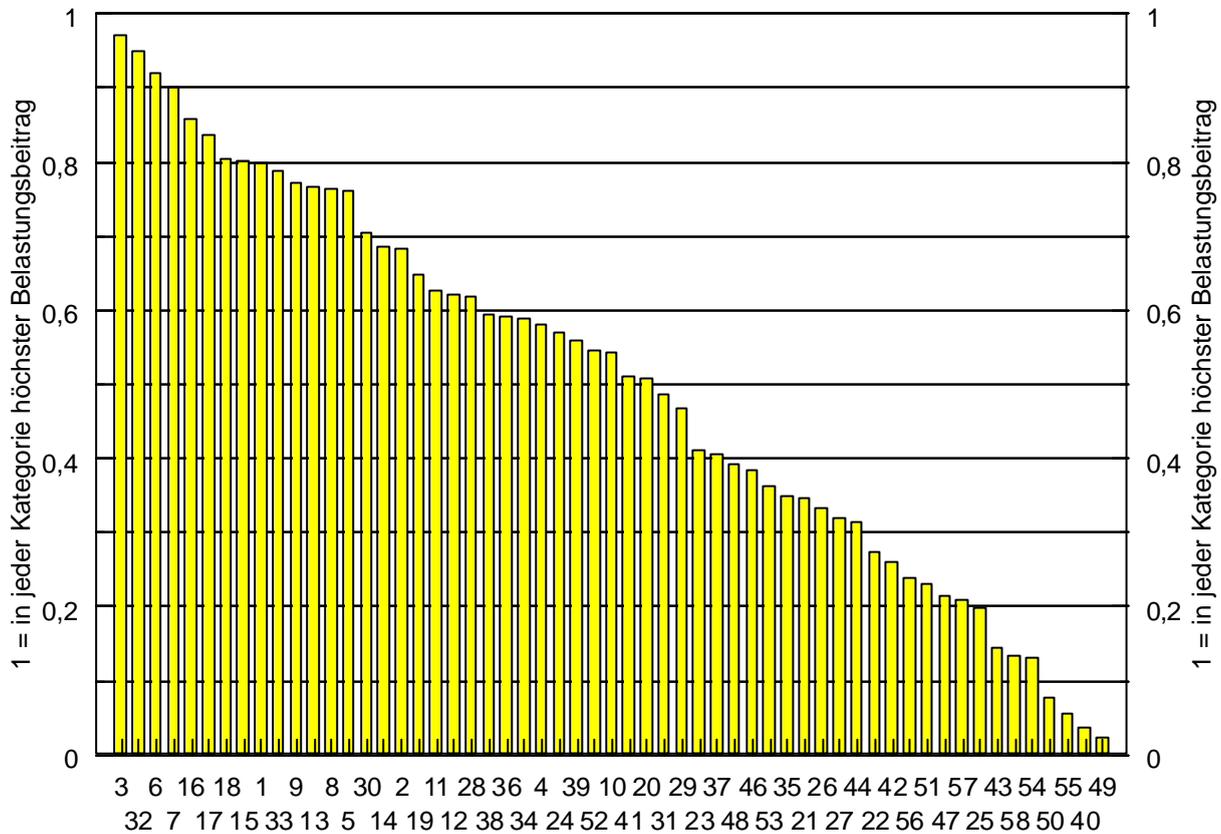
### 2.1 Sämtliche Aktivitätsfelder betreffende Analysen

Als erstes werden Ergebnisse zu den inländischen Produktionstätigkeiten vorgestellt, die die Grundlage für die Interpretation weiterer Ergebnisse liefern. Den sich anschließenden Ergebnissen zum Außenhandel kommt aufgrund der starken Außenhandelsorientierung Deutschlands eine vergleichbare Funktion zu. Mit diesen beiden Abschnitten werden damit wichtige Hintergrundinformationen für die Aktivitätsfeldanalyse gegeben.

#### 2.1.1 *Zur Identifikation besonders umweltbeeinträchtigender Produktionsbereiche*

Um für Umweltbeeinträchtigungen besonders wichtige Produktionsbereiche zu isolieren, wurde untersucht, ob es Produktionsbereiche gibt, über die man alle Beeinträchtigungen in großem Umfang beeinflussen kann oder deren Outputs besonders umweltintensiv erzeugt werden. Hierbei müssen zusätzlich zu den Aktivitäten in den Bereichen selbst auch sämtliche Vorleistungen analysiert werden. Ansonsten würde man z.B. ein Gut als unproblematisch charakterisieren, dessen letzte Produktionsstufe nahezu keine Umweltbeeinträchtigungen verursacht (direkte Beiträge), dessen Bereitstellung aber sehr umweltschädigende Vorleistungen voraussetzt (indirekte Beiträge). Diese indirekten Beiträge werden aber durch z.B. technische Maßnahmen oder Nachfrageänderungen ebenso beeinflusst wie die direkten Beiträge. Falls man nur die direkten Beiträge betrachtet, schätzt man also die Reduktionspotentiale

falsch ein und würde Maßnahmen, die direkten Beiträge verringern und gleichzeitig die indirekten in stärkerem Maße erhöhen, fälschlich positiv beurteilen. Deshalb wurden kumulierte bzw. spezifisch kumulierte Werte (Menge Belastungsbeitrag/Output in DM) verwendet. Letztere geben die Umweltintensität an: Bei Vermeidung einer Inputeinheit (in DM) führen die Güter mit dem höchsten Werten zur stärksten Reduktion der Umweltbelastungen.



Anmerkung: Die Rangordnung für sechs spezifisch kumulierte Umweltindikatoren wurde addiert und durch 348 dividiert (6 x 58); (Schlüssel zu Produktionsbereichsnummern s. Anhang)

**Abbildung 2.1: Umweltintensivste Produktionsbereiche nach Rangordnung spezifisch kumulierter Größen**

In *Abb. 2.1* sind auf der horizontalen Achse sämtliche Produktionsbereiche mit ihrem Zahlenschlüssel aufgeführt; die dazugehörige Bezeichnung findet sich im Anhang. Betrachtet wurden hier sechs Umweltindikatoren: Primärenergieverbrauch (PEV), Versauerungsgas(VSG)- und Treibhausgas(THG)emissionen, Wasserverwendung, Abfall (inkl. Bauschutt) sowie besonders überwachungsbedürftiger Abfall. Die Werte für die einzelnen Produktionsbereiche wurden folgendermaßen ermittelt: Für jeden Indikator wurde der Rang der Produktionsbereiche nach Höhe der spezifisch kumulierten Werte bestimmt (höchster Wert: 58, niedrigster: 1). Die Ränge wurden für jeden Produktionsbereich über alle Indikatoren addiert und die Summe auf Werte zwischen 1/58 und 1 normiert. In *Abb. 2.1* signalisiert demnach eine Nähe zu 1, dass dieser Produktionsbereich wahrscheinlich in Bezug auf alle betrachteten Umweltbelastungen besonders intensiv ist. Die Ausweisung in *Abb. 2.1* ist vom in diesem Sinne umweltintensivsten zum am wenigsten umweltintensiven Produktionsbereich geordnet. Man erkennt – in Verbindung mit weiteren Analysen – folgendes Muster, das für die Bearbeiter der AF Hinweise auf wichtige Produktionsbereiche und Gütergruppen sowie auf wichtige Aspekte innerhalb dieser Gruppierungen, gibt:

- spezifisch kumulierte Beiträge (*Abb. 2.1*) zeigen die Landwirtschaft, Rohstoffgewinnung, Energiewirtschaft und die Grundstoffindustrie als die umweltintensivsten an. In ihnen sind hohe direkte Beiträge zu finden;
- Investitionsgüter-, Konsumgüterproduzenten sowie Dienstleistungen sind zwar wenig umweltintensiv aber aufgrund ihrer Größe bedeutsam. Für diese Bereiche sind direkte Beiträge weniger wichtig, die Vorproduktwahl ist von höchster Bedeutung (vgl. unter *Abb. 2.5*). Für die Dienstleistungen sind zusätzlich deren Investitionen zu beachten.

Zu den Ergebnissen im einzelnen:

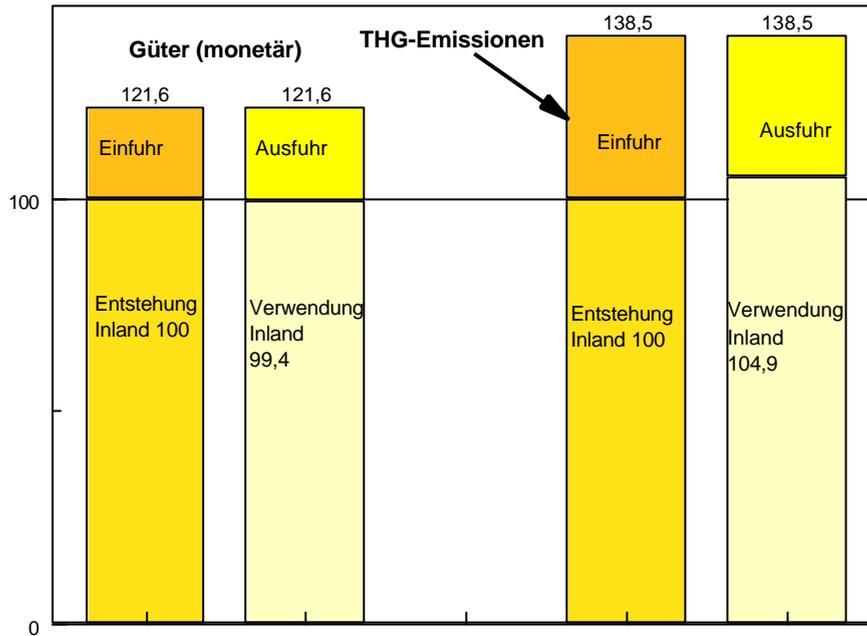
- Aufgrund gleichzeitiger hoher Umweltintensität (*Abb. 2.1*) und hoher absoluter (kumulierter) Beiträge (nicht abgebildet) sind die Elektrizitätserzeugung (3), die Chemische Industrie (9), die Eisen- und Stahlherstellung (16), die Landwirtschaft (1) und – etwas eingeschränkt – der Kohlebergbau (6), die Papiererzeugung (32), die Nahrungsmittelindustrie (38) sowie Gewinnung von Steine und Erden (13) als neuralgisch anzusehen.
- Aufgrund ihrer Größe können folgende Produktionsbereiche insbesondere über Vorprodukte die Umweltbelastungen stark beeinflussen: Bausektor (41), der Abfall inkl. Bauschutt beherrscht, Straßenfahrzeugbau (23), Maschinenbau (21), Herstellung von (H. v.) elektrotechnischen Erzeugnissen (26), Gebietskörperschaften (56) und sonstige Dienstleistungen (55).
- Sehr hohe Umweltintensitäten weisen auf: Nichtkohlebergbau (8), Erdöl- und Ergaserzeugung (8), H. v. Nichteisenmetallen (17), H. v. Gießereierzeugnissen (18) und H. v. Glas (15).

Nach einer Untersuchung der inländischen Produktionstätigkeiten ist es naheliegend, sich der anderen Quelle für in Deutschland verfügbare Güter zuzuwenden: Den Importen. Diese werden im Zusammenhang mit den Exporten diskutiert, um einen Gesamtüberblick über die Außenhandelsbeziehungen zu geben.

### **2.1.2 Zur Bedeutung des Außenhandels**

Die Im- und Exporte wurden aufgrund ihres Umfangs eigens untersucht. Als Beispiel wird ein Ergebnis zu den Eigenschaften der kompletten Im- und Exportgüterbündel präsentiert, das in einer Zusammenfassung auch unter Bezugnahme auf einzelne Im- und Exportgütern interpretiert wird.

Die IO-Analyse ist sehr gut geeignet, um folgende interessante Frage zu beantworten: In welcher Höhe müssten z.B. THG-Emissionen für Deutschland ausgewiesen werden, wenn man die Produktion der Güter, die in Deutschland verwendet werden, zugrundelegen würde? In *Abb. 2.2*, linke Hälfte, wird die Frage anhand des monetär gemessenen Güteraufkommens (enthält alle Güter und Dienstleistungen) verdeutlicht: Die in Deutschland verfügbaren Güter werden entweder in Deutschland erzeugt oder aber importiert. Dabei entsprach der Import 1993 21,6% der Erzeugung im Inland (sämtliche weiteren Prozentzahlen in diesem Abschnitt beziehen sich auf die Erzeugung im Inland), was zu einem Güteraufkommen von 121,6% der deutschen Produktion führt. Dieses Güteraufkommen wird entweder im Inland verwendet (99,4%) oder exportiert (22,2%). Im Inland wurden also etwa 0,6% weniger Güter verwendet als produziert (Außenbeitrag). Diese Differenz muss sich aus bilanztechnischen Gründen sowohl aus Export minus Import als auch aus Erzeugung im Inland minus Verwendung im Inland ergeben. Dieser Zusammenhang wurde für die Beantwortung der Eingangsfrage genutzt.



**Abbildung 2.2: Zur Bedeutung des Außenhandels für THG-Emissionen (Entstehung in Deutschland = 100)**

Abb. 2.2, rechte Hälfte, zeigt das Ergebnis für die THG-Emissionen. Bei der Produktion der Importe entstehen im Ausland 38,5% der deutschen THG-Emissionen. Für den Export und die heimischen Verwendung erhält man entsprechende Größen in Höhe von 33,6% bzw. 104,9%. Demnach sind mit den Importen um 4,9% höhere THG-Emissionen verbunden als mit den Exporten. Dies ist gleichbedeutend mit der Aussage, dass die Produktion der in Deutschland verwendeten Güter die THG-Emissionen in Deutschland um 4,9% übersteigt. Der Unterschied ist für andere Indikatoren deutlich niedriger. Generell ergibt sich folgendes Gesamtbild: Die mit der Verwendung in Deutschland verbundenen Beiträge entsprechen etwa den in Deutschland entstehenden. Ausnahmen sind die THG-Emissionen (Güterverwendung ca. 5% höher) und die VSG-Emissionen (Güterverwendung ca. 15% höher).

Insbesondere für diese beiden Größen sind die landwirtschaftlichen Importe und tlw. Nahrungsmittelimporte sehr wichtig, da die hohen Werte für die THG-Emissionen und VSG-Emissionen hauptsächlich aus den diesen Gütern zugerechneten Methanemissionen bzw. Ammoniakemissionen resultieren. Da Methan und Ammoniak überwiegend in der Tierhaltung entstehen, ist der Anteil der Produkte tierischen Ursprungs an den landwirtschaftlichen Im- bzw. Exporten sehr wichtig. In der top-down-Analyse wurde nun aber nicht zwischen Nahrungsmitteln tierischen und pflanzlichen Ursprungs unterschieden. Da zusätzlich die landwirtschaftlichen Importe im Vergleich zur inländischen Erzeugung relativ hoch sind, wird für das AF Landwirtschaft und Ernährung eine Analyse landwirtschaftlicher Importe und deren Produktion im Ausland vorgeschlagen.

Allgemein zeigt die Analyse, dass sowohl das Import- als auch das Exportgüterbündel relativ umweltintensiv produziert werden. Die Gesamtmenge der z.B. durch die Produktion der Importe ausgelösten Belastungsbeiträge liegt mit einer Größenordnung von 30-50% (THG: 38,5%) deutlich über dem monetären Anteil von 21,6%. Dies wird durch einen Blick auf die zusätzlich zu landwirtschaftlichen Erzeugnissen wichtigsten Importgüter verständlich (vgl. Abschnitt 2.1): Zu nennen sind Erdöl und -gas sowie Mineralölerzeugnisse, die größtenteils über die Kraftstoffkette im AF Mobilität und die Raumwärme im AF Bauen und Wohnen abgedeckt werden. Hinzu kommen Papierimporte (AF Information und Kommunikation) sowie Nichteisenmetalle. Mit den hohen Exporten chemischer Erzeugnisse ist

auch ein Großteil der Exportgüter sehr umweltintensiv. Daneben sind allerdings die Exporte der weniger umweltintensiv produzierten Straßenfahrzeuge (AF Mobilität) und Maschinen von großer Bedeutung.

Mit der Untersuchung der Produktionsbereiche und des Außenhandels sind wichtige Eigenschaften der gesamten deutschen Volkswirtschaft charakterisiert. Damit kann man sich Teilsystemen der Volkswirtschaft - wie Aktivitätsfelder - zuwenden, die nun nicht nur für sich analysiert sondern auch in die gesamte Volkswirtschaft eingeordnet werden können.

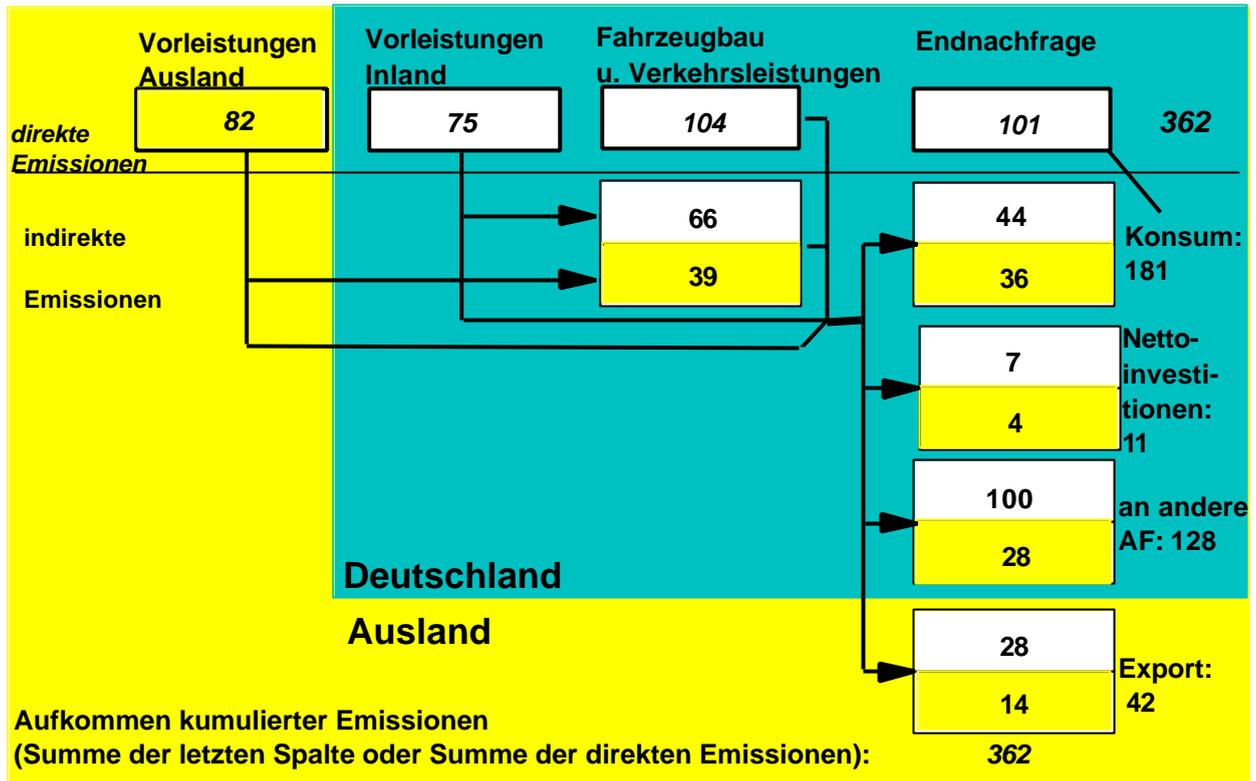
## 2.2 Zum Aktivitätsfeld Mobilität

Die Struktur des Aktivitätsfelds Mobilität als Teilsystem der deutschen Volkswirtschaft wird in *Abb. 2.3* skizziert. Um dabei die Verbindung zwischen dem AF und der gesamten Volkswirtschaft zu verdeutlichen, wird das AF weitgehend nach volkswirtschaftlichen Kategorien geordnet. Da an dieser Stelle Ergebnisse im Vordergrund stehen, wird das System anhand eines konkreten Beispiels – den THG-Emissionen - erläutert.

Das Flussdiagramm in *Abb. 2.3* zeigt, wo die THG-Emissionen entstehen (direkte Emissionen) und wofür die entsprechenden Güter - bewertet mit der Masse der Emissionen - verwendet werden (Endnachfrage). Unmittelbar der Mobilität dienende unternehmerische Leistungen (z.B. Fahrzeugbau und Gütertransporte), die definitionsgemäß kein Teil der Endnachfrage sind, sind unter „Fahrzeugbau u. Verkehrsleistungen“ dazwischengeschaltet.

Das THG-Aufkommen des AF Mobilität von 362 Mt erhält man, indem man ausgehend von den Güterkäufen der Haushalte für Mobilität, deren Verkehrsbewegungen und staatlichen Verwaltungstätigkeiten für den Verkehr („Konsum“), den Verkehrsbauten (Teil der „Nettoinvestitionen“), dem Fahrzeugbau und den unternehmerischen Verkehrsleistungen („Fahrzeugbau u. Verkehrsleistungen“) den Vorleistungsketten up-stream folgt und dabei sämtliche direkten THG-Emissionen addiert. Folgt man zusätzlich den unternehmerischen Leistungen für Mobilität (z.B. Fahrzeugbau) down-stream bis zur Bilanzgrenze, so wird z.B. sichtbar, dass mit dem Export – u.a. von Fahrzeugen - 42 Mt verbunden sind. Aus einer konsistenten Zusammenfassung dieser Zusammenhänge resultiert die *Abb. 2.3*.

Aufgrund des konsistenten Bilanzierungssystems kann das Aufkommen von 362 Mt sowohl als Summe über alle direkten Emissionen als auch als Summe über die Endnachfrage errechnet werden. Ebenso sind die mit den Importen verbundenen THG-Emissionen (82 Mt), die in der Graphik durch grau unterlegte Zahlen kenntlich gemacht wurden, sowohl unter „Vorleistungen Ausland“ als auch als Summe der grauen Felder unter „Endnachfrage“ zu finden. Beispielsweise entstehen die 11 Mt unter „Nettoinvestitionen“ im Verhältnis 7:4 im In- und Ausland. Dieses Verhältnis differiert, da je nach Bereich Importgüter in verschiedenem Umfang und in verschiedener Zusammensetzung relevant sind. Damit dürften auch Reduktionsmaßnahmen in einzelnen Bereichen in verschiedenem Maße im In- und Ausland wirken. Aufgrund der globalen Wirkung von THG-Emissionen ist dies ökologisch irrelevant, mag aber gleichwohl politisch von Bedeutung sein.



Quelle: Eigene Berechnung

Abbildung 2.3: Flussdiagramm für das AF Mobilität am Beispiel der THG-Emissionen (in Mt; 1993)

Im einzelnen setzt sich das THG-Aufkommen von 362 Mt wie folgt zusammen:

- 101 Mt werden durch den Kraftstoffverbrauch im motorisierten Individualverkehr der privaten Haushalte emittiert („Endnachfrage“, „direkte Emissionen“)
- 104 Mt werden vom Fahrzeugbau und dem Straßengüter- und Geschäftsverkehr emittiert („Fahrzeugbau u. Verkehrsleistungen“, „direkte Emissionen“). Davon stammen 99 Mt aus dem Kraftstoffverbrauch und 5 Mt aus dem Fahrzeugbau (nicht in der Abbildung ersichtlich).
- Hinzu kommen 75 Mt durch Vorleistungen aus dem Inland („Vorleistungen Inland“). Diese Position enthält z.B. Emissionen aus der inländischen Stromerzeugung für den Schienenverkehr und aus der Stahlerzeugung für den Fahrzeugbau.
- Schließlich werden 82 Mt bei der Produktion von Vorleistungen im Ausland emittiert („Vorleistungen Ausland“). Hier sind z.B. Emissionen aus der Produktion von importierten Straßenfahrzeugen und aus der Gewinnung und dem Transport von Erdöl subsumiert.

Mit 200 Mt, die sich aus den 101 Mt unter „Konsum“ und 99 Mt von den Verkehrsleistungen der Unternehmen ergeben, dominiert der Kraftstoffverbrauch als Quelle. Zieht man vom Aufkommen zusätzlich die 5 Mt direkten THG-Emissionen aus dem Fahrzeugbau ab, so verbleiben 157 Mt. Um diese zu untersuchen, muss man sich die Vorleistungen der Mobilitätsbereiche zuwenden – z.B. unter „Fahrzeugbau und Verkehrsleistungen“, „indirekte Emissionen“.

Die Vorleistungen für diese Bereiche sind für 105 Mt (66 Mt +39 Mt) THG-Emissionen verantwortlich. Neben der Straßenfahrzeugproduktion in Deutschland, auf die ca. 60 Mt/a der indirekten Emissionen entfallen, sind hier insbesondere die Kraftstoffbereitstellung sowie der Stromverbrauch im Verkehr zu nennen. Der restliche Fahrzeugbau fällt kaum ins Gewicht. Das deutet darauf hin, dass mit dem E-

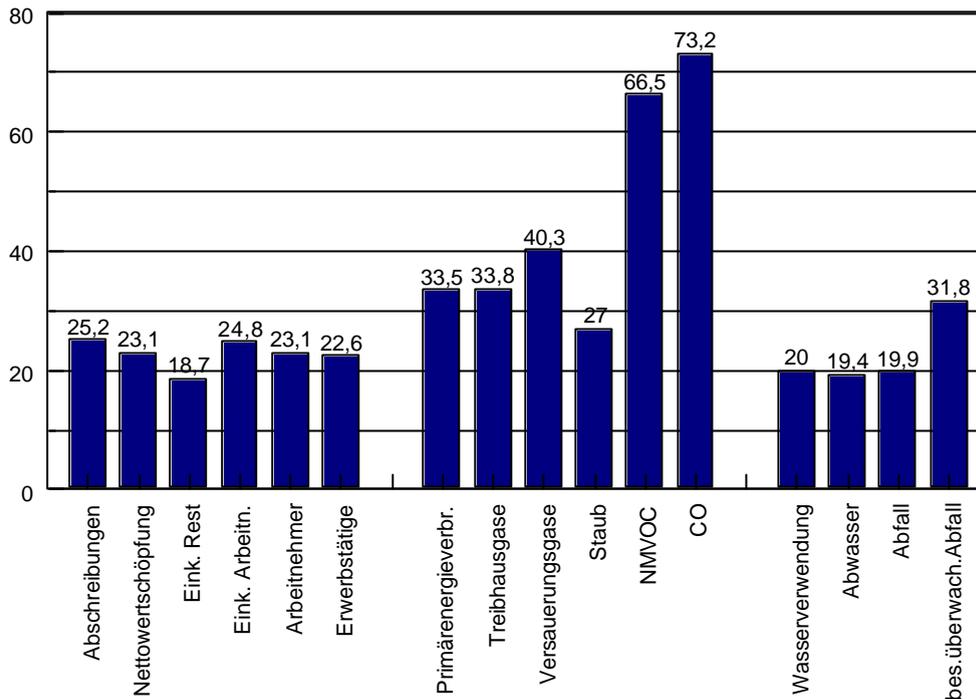
nergieverbrauch für Verkehrsbewegungen und dessen Vorkette sowie dem Straßenfahrzeugbau, inkl. Vorprodukten, bereits ein Großteil der THG-Emissionen erfasst wird. Ob diese Aussage für das gesamte Aktivitätsfeld gilt, kann anhand der Spalte „Endnachfrage“ untersucht werden. Dort sind neben der inländischen Produktion von Straßenfahrzeugen und den Leistungen der inländischen Speditionen alle weiteren zu Mobilität gehörenden Güter zu finden. Dabei handelt es sich z.B. um von deutschen Haushalten oder Unternehmen gekaufte ausländische Straßenfahrzeuge („Vorleistungen Ausland“ an „Konsum“ bzw. „Nettoinvestitionen“) und Beton für den Straßenbau („Vorleistungen Inland“ an „Nettoinvestitionen“).

Unter „Endnachfrage“ fallen die geringen Beiträge der „Nettoinvestitionen“ (11 Mt) und die sehr hohen Beiträge von „an andere AF“ (128 Mt) auf. Der kleine Wert für Nettoinvestitionen weist auf eine geringe Bedeutung des Zubaus von Verkehrswegen hin, welcher unter Nettoinvestitionen subsumiert ist. Hingegen sind Tätigkeiten des AF Mobilität für andere AF sehr wichtig („an andere AF“). Hierbei handelt es sich überwiegend um Geschäftsfahrten und Gütertransporte von z.B. Nahrungsmittel oder Baumaterialien für den Wohnungsbau (AF „Landwirtschaft & Ernährung“ und „Bauen und Wohnen“). Demnach haben andere AF einen großen Einfluss auf die THG-Emissionen in Mobilität.

Eine nähere Analyse der gesamten „Endnachfrage“ bestätigt, dass mit dem Energieverbrauch im Verkehr und der Herstellung von Straßenfahrzeugen – auch der importierten Straßenfahrzeuge – die wesentlichen THG-Quellen im AF Mobilität erfasst werden. Auch für die anderen untersuchten Indikatoren (s.u.), unter denen allerdings kein Flächenindikator zu finden ist, reichen die genannten Bereiche für eine weitgehende Erfassung des AF Mobilität. Eine Ausnahme ist jedoch zu nennen: Für Abfall, inkl. Bauschutt, erhält man für Verkehrsbauten einen Anteil von ca. 30% am Gesamtbeitrag des AF Mobilität, was 6% der deutschen Abfallentstehung entspricht. Zum Vergleich können die unbedeutenden Anteile der Verkehrsbauten am Gesamtbeitrag des AF Mobilität für andere Indikatoren aufgeführt werden: Die Anteile betragen ca. 2,5% am Primärenergieverbrauch (PEV) und den Luftschadstoffemissionen sowie 5% an den restlichen Indikatoren im AF Mobilität.

Die untersuchten Indikatoren sind in *Abb. 2.4* aufgeführt, in der ein Überblick über das AF Mobilität gegeben wird. Dort ist jeweils die Aufkommensgröße für das AF Mobilität, bezogen auf den entsprechenden Wert im Inland (Deutschland=100), abgebildet. Beispielsweise liegen dem Wert für die THG-Emissionen die 362 Mt aus *Abb. 2.3* zugrunde, die sowohl die im In- als auch im Ausland entstehenden THG-Emissionen umfassen. Dividiert man diese 362 Mt durch die deutschen THG-Emissionen im Jahr 1993 (1072 Mt) und multipliziert das Ergebnis mit 100, so erhält man den Wert 33,8 in *Abb. 2.4*. Die 33,8 besagt demnach, dass das Aktivitätsfeld Mobilität weltweit THG-Emissionen in Höhe von 33,8% der deutschen Emissionen auslöst.

Die Indikatoren wurden in *Abb. 2.4* in drei Blöcke gegliedert: Von links der erste Block bietet ökonomisch/soziale Indikatoren, der zweite den PEV sowie Luftschadstoffemissionen und der dritte je zwei Wasser und Abfall betreffende Größen. Erkennbar sind der PEV und die Luftschadstoffemissionen (außer Staub) sowie der besonders überwachungsbedürftige Abfall („Sondermüll“) besonders wichtige Größen. Dabei sind NMVOC, CO und daneben die VSG hervorzuheben. Will man diese Emissionen deutlich reduzieren, so wird man im AF Mobilität ansetzen müssen.

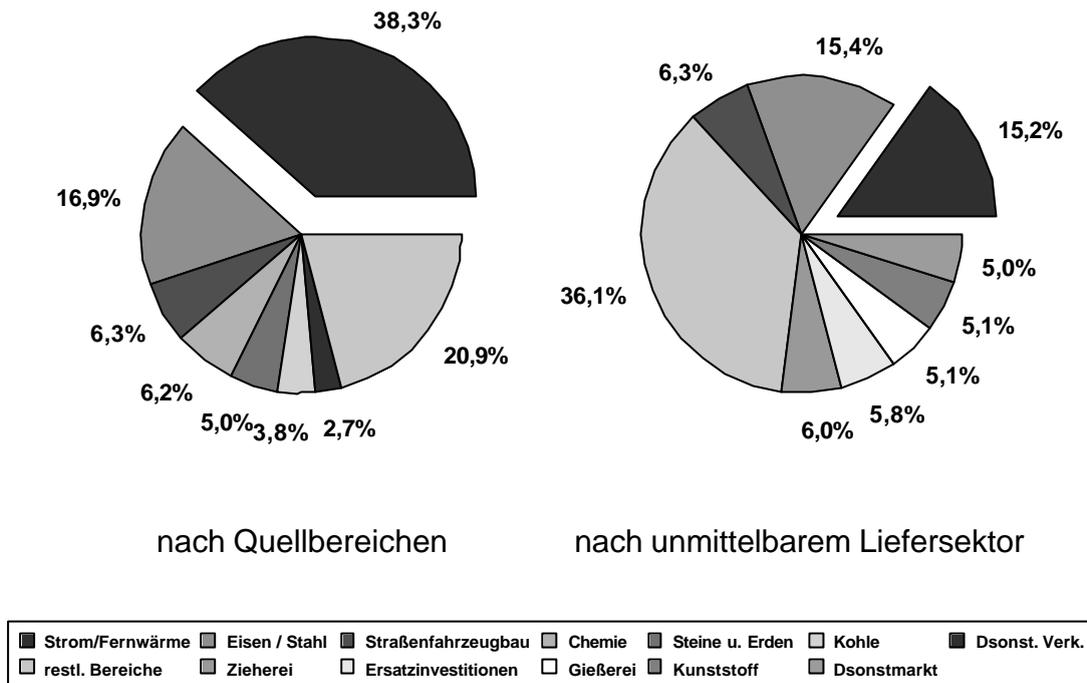


Quelle: Eigene Berechnung

**Abbildung 2.4: Aufkommenswerte einzelner Indikatoren im AF Mobilität bezogen auf die Werte für Deutschland (Deutschland = 100)**

Mit 20-25% für all diese Größen dient ein beträchtlicher Anteil der wirtschaftlichen Aktivitäten der Mobilität. Als Ausnahme ist der geringe Anteil des „restlichen Einkommens“ - das sich als Summe der Vermögenseinkommen, der Entlohnung für die Arbeit Selbständiger und der Produktionssteuern abzüglich der Subventionen errechnet - zu nennen. Der geringe Wert beruht zum einen auf der äußerst prekären ökonomischen Situation des Schienenverkehrs in 1993. Zum anderen enthält das restliche Einkommen Residualeinkommen, die besonders schnell und stark auf Konjunkturschwankungen reagieren. Da die Herstellung von Investitions- und langlebigen Gebrauchsgütern, wie Fahrzeugen, überdurchschnittlich von Rezessionen getroffen wird, dürfte auch die Rezession in 1993 zu dem relativ geringen Anteil beitragen. Er ist folglich als vorübergehendes Phänomen einzuschätzen und dürfte bei gleichzeitiger, entsprechender Erhöhung des Anteils der Wertschöpfung in Nicht-Rezessionsjahren höher liegen. Für die anderen ökonomisch/sozialen Größen sind keine derartigen konjunkturellen Besonderheiten im Vergleich zur Gesamtentwicklung zu vermuten. Die anderen ökonomischen/sozialen Größen deuten auf keine ausgeprägten Besonderheiten hin. Um jedoch den Informationsgehalt dieser Größen zu verdeutlichen, wird trotzdem eine Auswertungsmöglichkeit angeführt: Der größere Anteil der Arbeitnehmereinkommen im Vergleich zur Anzahl der Arbeitnehmer weist auf einen relativen hohen Durchschnittslohn hin, was als Indiz für einen relativ human- oder sachkapitalintensiven Bereich angesehen werden kann. Verbunden mit dem im Vergleich zur Wertschöpfung hohen Anteil der Abschreibungen lässt sich als eine Erklärung eine relativ hohe Kapitalintensität vermuten. Da allerdings diese unterschiedlichen Anteile nicht sonderlich ausgeprägt sind, sind die ökonomischen/sozialen Größen für das gesamte Aktivitätsfeld generell als wenig auffällig einzustufen.

Als Besonderheiten von Mobilität bleiben demnach der PEV, die Luftschadstoffemissionen - mit besonderer Bedeutung von CO, den NMVOC und den VSG - sowie der Sondermüll festzuhalten, die überwiegend durch den Energieverbrauch für den Verkehr - insbesondere der Kraftstoffkette - und dem in- und ausländischen Straßenfahrzeugbau entstehen.



Quelle: Eigene Berechnung

Abbildung 2.5: Herkunft der kumulierten THG-Emissionen im Straßenfahrzeugbau (64 Mt)

Da gezeigt wurde, dass der Straßenfahrzeugbau in Deutschland besonders wichtig ist, wird er beispielhaft für THG näher untersucht (Abb. 2.5). Ihm sind 64 Mt kumulierte THG-Emissionen zuzurechnen. Die beiden Kreisdiagramme zeigen, wo sie emittiert werden und durch welche Käufe des Straßenfahrzeugbaus sie mit ihm verbunden sind. Die zwei Aufteilungen der 64 Mt können anhand der hervorgehobenen Beiträge von Elektrizität/Fernwärme (38,3% „nach Quellbereichen“; 15,2% „nach unmittelbarem Liefersektor“) erläutert werden. Man kann zum einen die Perspektive des Straßenfahrzeugbaus einnehmen. In diesem Sektor kennt man die Produkte, die man kauft; z.B. kann der Stromverbrauch am Zähler abgelesen werden. Die THG-Emissionen, die über alle Vorprodukte mit dem Bezug dieses Stroms verbunden sind, sind unter „nach unmittelbaren Liefersektoren“ abzulesen: Für die Stromkäufe des Straßenfahrzeugbaus sind 15,2% von 64 Mt zu veranschlagen (ca. 10 Mt.). Die Aufteilung „nach Quellbereichen“ gibt eine andere Perspektive wieder. Sie zeigt, dass die Stromerzeugung 38,3% zu den kumulierten THG-Emissionen des Straßenfahrzeugbaus beiträgt. In diesen 38,3% sind dabei z.B. auch die THG-Emissionen enthalten, die durch die Stromerzeugung für die Produktion der Nichteisenmetalle entstehen, welche an den Straßenfahrzeugbau geliefert werden. In Abb. 2.5 wurden für die beiden Aufteilungen die jeweils 7 bzw. 8 bedeutendsten Sektoren separat ausgewiesen und die jeweils restlichen zusammengefasst.

Die beiden Diagramme zeigen folgendes:

- der Energieträgermix in der Stromerzeugung ist wesentlich wichtiger als der direkte Stromverbrauch im Straßenfahrzeugbau;
- da ein großer Anteil der Vorleistungen auf Dienstleistungen entfällt, tragen Dienstleistungen beachtenswerte Mengen zu den kumulierten Emissionen bei (z.B.: Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen („Dsonstmarkt“)),
- die direkten Emissionen sind im Vergleich zu den indirekten relativ klein (6,3%); ähnliches gilt für die den Ersatzinvestitionen zuzurechnenden Emissionen (5,8%);

Hinzu kommen die oben für die betrachteten Indikatoren abgeleiteten Ergebnisse:

- Verkehrsbauten sind – außer für Abfall inkl. Bauschutt – im AF Mobilität von untergeordneter Bedeutung,
- über die Produktion von Straßenfahrzeugen im In- und Ausland und den Energieeinsatz für Verkehrsbewegung (jeweils inkl. Vorprodukte) kann der größte Teil der Beiträge erfasst werden,
- wichtige Ansatzpunkte sind der durch andere Aktivitätsfelder induzierte Güter- und Geschäftsverkehr sowie der motorisierte Individualverkehr der privaten Haushalte;
- das AF Mobilität trägt in besonderem Maße zum Primärenergieverbrauch und den Luftschadstoffemissionen (außer Staub) sowie zum Aufkommen von besonders überwachungsbedürftigen Abfall bei. Hervorzuheben sind CO, NMVOC und VSG.

### 3. Zur zeitlichen Entwicklung

#### 3.1 Zur zeitlichen Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in ausgewählten Aktivitätsfeldern

In diesem Abschnitt wird eine Übersicht über die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Aktivitätsfeldern "Bauen und Wohnen" (Abb. 3.1), "Mobilität" (Abb. 3.2) und "Ernährung und Landwirtschaft" (Abb. 3.3) dargestellt und kommentiert. Diese drei Aktivitätsfelder weisen die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen aller betrachteten Aktivitätsfelder auf. Aktivitätsfelder weisen gegenseitige Überlappungen auf, insofern dürfen die CO<sub>2</sub>-Werte für eine Gesamtbetrachtung der Aktivitätsfelder nicht einfach addiert werden. Ohne diese Überlappungen erfolgte in diesen drei Aktivitätsfeldern etwa 80% der gesamten CO<sub>2</sub>-Erzeugung im Inland (1993), was die Bedeutung dieser drei Aktivitätsfelder für CO<sub>2</sub>-Emissionen, aber auch für andere vorwiegend energiebedingte Luftschadstoffe sowie für den Energieverbrauch unterstreicht.

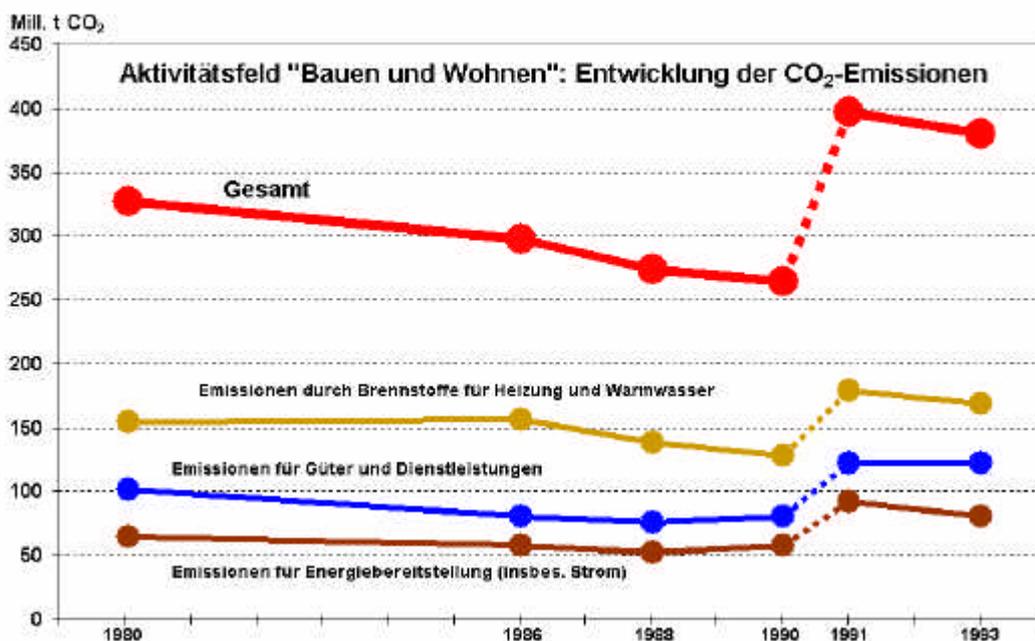


Abbildung 3.1: Zeitliche Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Aktivitätsfeld „Bauen und Wohnen“ (nur Emissionen im Inland)

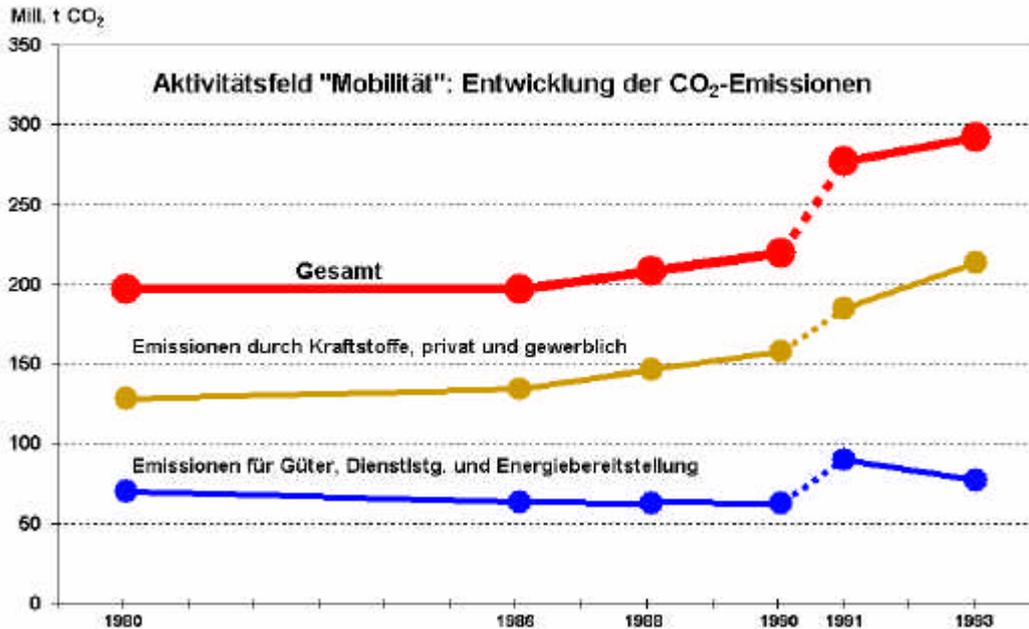


Abbildung 3.2: Zeitliche Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Aktivitätsfeld „Mobilität“ (nur Emissionen im Inland)

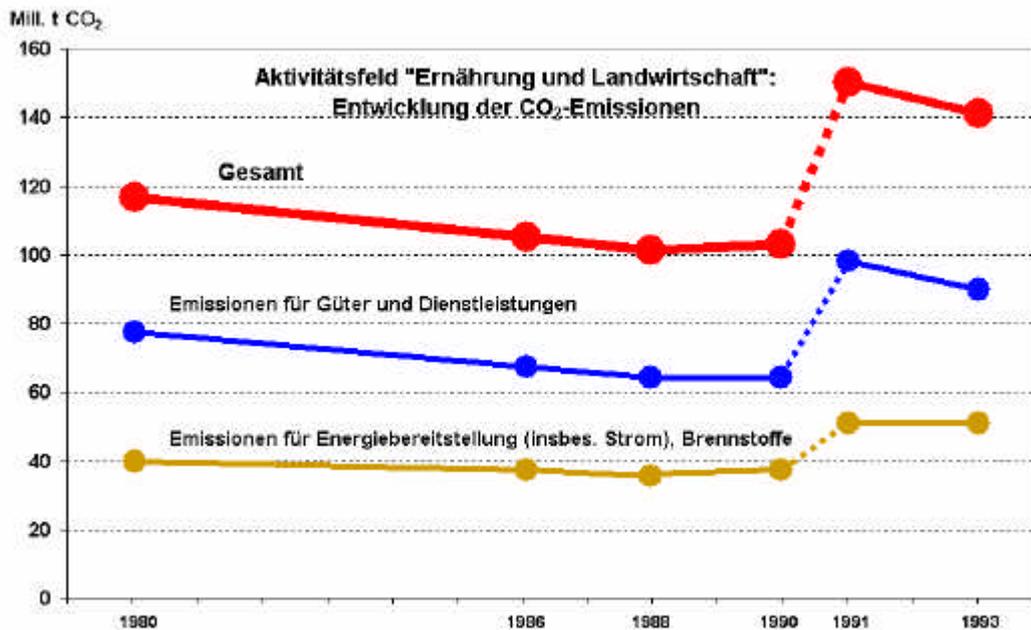


Abbildung. 3.3: Zeitliche Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Aktivitätsfeld „Ernährung und Landwirtschaft“ (nur Emissionen im Inland)

Die gestrichelten Linienteile sollen den Sprung durch die Erweiterung um die Neuen Bundesländer und die damit verbundene eingeschränkte Vergleichbarkeit vor und nach der Wiedervereinigung darstellen. Deutlich ist zu erkennen, dass die Emissionen für die Aktivitätsfelder "Bauen und Wohnen" und "Ernährung und Landwirtschaft" eine kontinuierlich fallende Tendenz aufweisen. Allerdings wurde dieser Trend durch die Wiedervereinigung unterbrochen, setzte sich danach aber offenbar von einem höheren Niveau aus weiter fort. Für das Aktivitätsfeld "Mobilität" ergibt sich hingegen ein stetiger Anstieg der Emissionen.

Zu diesen Abbildungen ist von besonderem Interesse, daß nicht nur die Gesamtbilanz für die einzelnen Jahre erstellt wurde, sondern dass diese Gesamtbilanz auf einer Vielzahl von Einzelgrößen basiert, die prinzipiell auch in ihrer zeitlichen Entwicklung darstellbar sind und somit die Voraussetzungen für Ursachenanalysen liefern. In den Grafiken sind hierfür als erster Schritt die Aufgliederungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die direkt verwendeten Energieträger (Strom, Brenn- und Kraftstoffe und den hierfür erforderlichen kumulierten Vorleistungen) einerseits und die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Verwendung von Gütern und Dienstleistungen andererseits eingetragen. Die jeweiligen Beiträge besitzen in den drei Aktivitätsfeldern erwartungsgemäß deutlich unterschiedliche Anteile.

Die Zurechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für 1995 ist vorgesehen, trotz vorhandener Basisdaten konnten bisher die entsprechenden Rechnungen aufgrund der Umstellung der Systematik der Input-Output-Tabellen aber noch nicht durchgeführt werden.

### 3.2 Zur zeitlichen Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Emissionen im Aktivitätsfeld "Bauen und Wohnen"

In unmittelbarem Anschluss an die zeitliche Entwicklung für die CO<sub>2</sub>-Emissionen bietet es sich an, die entsprechenden Betrachtungen auf weitere Schadstoffemissionen auszuweiten. Hierzu wird beispielhaft in Abb. 3.4 die Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Emissionen für das Aktivitätsfeld "Bauen und Wohnen" aufgezeigt.

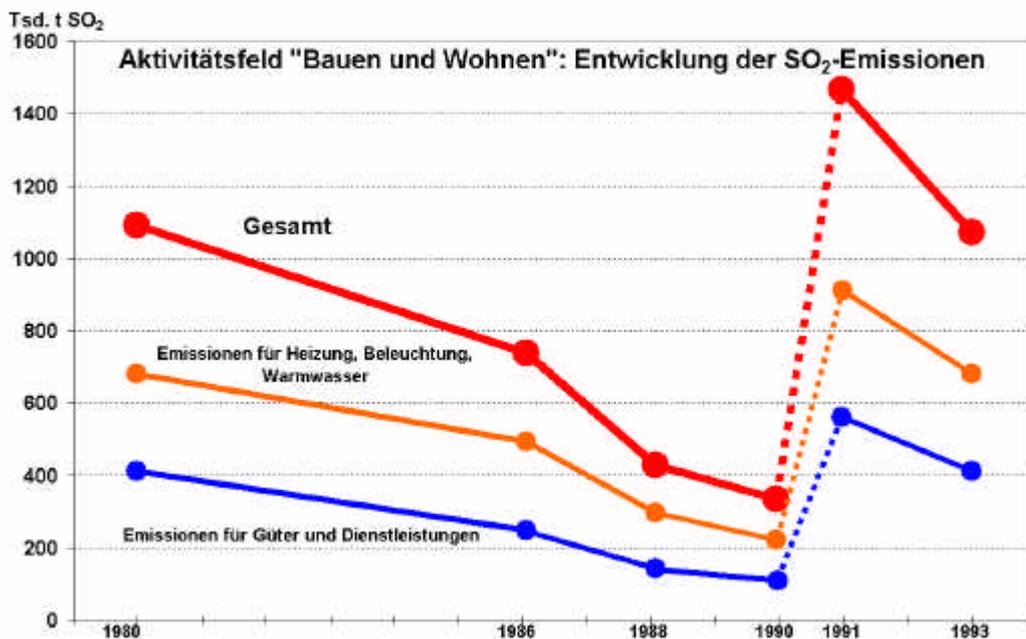


Abbildung 3.4: Zeitliche Entwicklung der SO<sub>2</sub>-Emissionen im Aktivitätsfeld "Bauen und Wohnen" (nur Emissionen im Inland)

Im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abb. 3.1) ist der Abfall der Emissionen von 1980 bis 1990 deutlich stärker ausgeprägt, wozu insbesondere die Entschwefelungsmaßnahmen bei Kraftwerken, aber auch weitere Effekte wie die Umstellung auf schwefelärmere Brennstoffe beigetragen haben. Durch die Wiedervereinigung erfolgte auch bei den SO<sub>2</sub>-Emissionen ein sprunghafter Anstieg. Von 1991 bis 1993 ist aber bereits wieder ein deutlicher Rückgang erkennbar, der auch wiederum deutlich stärker ausfällt als bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass trotz der erheblichen Schwankungen der SO<sub>2</sub>-Emissionen im Aktivitätsfeld "Bauen und Wohnen" der Anteil an den gesamten inländischen SO<sub>2</sub>-Emissionen relativ stabil blieb, er bewegte sich zwischen 33% und 37 %. Für CO<sub>2</sub> bewegte sich im gleichen Zeitraum der Anteil zwischen 38% und 43%, was auf etwas höherem Niveau eine praktisch identische Schwankungsbreite wie bei SO<sub>2</sub> bedeutet, obwohl die Absolutwerte der Emissionen sich für CO<sub>2</sub> deutlich moderater entwickelten.

**Anhang: Übersicht über die Produktionsbereiche in der Systematik der Input-Output-Tabellen bis 1993**

<b>Nummer</b>	<b>offizielle Bezeichnung</b>
1	Erzeugung von Produkten der Landwirtschaft
2	Erzeugung von Produkten der Forstwirtschaft, Fischerei usw.
3	Erzeugung und Verteilung von Elektrizität, Dampf, Warmwasser
4	Erzeugung und Verteilung von Gas
5	Gewinnung und Verteilung von Wasser
6	Gewinnung von Kohle, Herstellung von Erzeugnissen des Kohlebergbaus
7	Gewinnung von Bergbauerzeugnissen (ohne Kohle, Erdöl, Erdgas)
8	Gewinnung von Erdöl, Erdgas
9	Herstellung von chemischen Erzeugnissen, Spalt- und Brutstoffen
10	Herstellung von Mineralölerzeugnissen
11	Herstellung von Kunststoffherzeugnissen
12	Herstellung von Gummierzeugnissen
13	Gewinnung von Steine und Erden, Herstellung von Baustoffen usw.
14	Herstellung von feinkeramischen Erzeugnissen
15	Herstellung von Glas und Glaswaren
16	Herstellung von Eisen und Stahl
17	Herstellung von NE-(Nichteisen-)Metallen, NE-Metallhalbzeug
18	Herstellung von Gießereierzeugnissen
19	Herstellung von Erzeugnissen der Ziehereien, Kaltwalzwerke usw.
20	Herstellung von Stahl- und Leichtmetallerzeugnissen, Schienenfahrzeugen
21	Herstellung von Maschinenbauerzeugnissen
22	Herstellung von Büromaschinen, ADV-Geräten und -einrichtungen
23	Herstellung von Straßenfahrzeugen
24	Herstellung von Wasserfahrzeugen
25	Herstellung von Luft- und Raumfahrzeugen
26	Herstellung von elektrotechnischen Erzeugnissen
27	Herstellung von feinmechanischen und optischen Erzeugnissen, Uhren
28	Herstellung von Eisen-, Blech- und Metallwaren (EBM-Waren)
29	Herstellung von Musikinstrumenten, Spielwaren, Sportgeräten, Schmuck usw.

<b>Nummer</b>	<b>offizielle Bezeichnung</b>
30	Bearbeitung von Holz
31	Herstellung von Holzwaren, Reparaturen an Gebrauchsgütern aus Holz u.ä.
32	Herstellung von Holzschliff, Zellstoff, Papier und Pappe
33	Herstellung von Papier- und Pappwaren
34	Herstellung von Erzeugnissen der Druckerei und Vervielfältigung
35	Herstellung von Leder, Lederwaren, Schuhen
36	Herstellung von Textilien
37	Herstellung von Bekleidung
38	Herstellung von Nahrungsmittel (ohne Getränke)
39	Herstellung von Getränken
40	Herstellung von Tabakwaren
41	Hoch- und Tiefbau u.ä.
42	Ausbau
43	Leistungen des Großhandels u.ä., Rückgewinnung
44	Leistungen des Einzelhandels
45	Leistungen der Eisenbahnen
46	Leistungen der Schifffahrt, Wasserstraßen, Häfen
47	Leistungen des Postdienstes und des Fernmeldewesens
48	Leistungen des sonstigen Verkehrs
49	Leistungen der Kreditinstitute
50	Leistungen der Versicherungen (ohne Sozialversicherung)
51	Vermietung von Gebäuden und Wohnungen*
52	Marktbestimmte Leistungen des Gastgewerbes und der Heime
53	Leistungen der Wissenschaft und Kultur und der Verlage**
54	Marktbestimmte Leistungen des Gesundheits- und Veterinärwesens
55	Sonstige marktbestimmte Dienstleistungen***
56	Leistungen der Gebietskörperschaften+
57	Leistungen der Sozialversicherungen++
58	Leistung der privaten Organisationen ohne Erwerbszweck, Häusliche Dienste+++

\* 51: enthält Mieteinkünfte inkl. kalkulatorische Mieten f. vom Eigentümer bewohnten Häuser oder Wohnungen

\*\* 53: enthält z.B. private Schulen und Kindergärten, aber sämtliche Theater.

\*\*\* 55: enthält z.B. Architektur und Ingenieurbüros, Anwaltskanzleien, Wirtschaftsberatung und Prüfung, Werbung, Börsen aber auch Wäschereien, Gebäudereinigung, Friseure.

+ 56: Kommunen, Länder, Bund; enthält z.B. Militär, Polizei, Gerichte, öffentliche Verwaltung.

++ 57: enthält z.B. Arbeitsämter, gesetzl. Krankenkassen

+++ 58: enthält z.B. Interessenverbände, Kirchen

## IV. Arbeitspaket

### **Aktivitätsfeld »Mobilität«**

**H. Keimel, C. Ortmann**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Institut für Verkehrsforschung, Köln

**M. Pehnt**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),  
Institut für Technische Thermodynamik,  
Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, Stuttgart



## 1. Aufgaben und Ziele

Das Aktivitätsfeld Mobilität umfasst die Bereiche Produktion von Verkehrsmittel, die Verkehrsnachfrage aus privaten und ökonomischen Motiven, sowie die Errichtung und den Unterhalt der Verkehrsinfrastruktur<sup>20</sup>. Diese Bereiche werden einschließlich der dazu nötigen Vorleistungen betrachtet, und sie können auch – wegen der Interdependenzen, die es zwischen den einzelnen Bereichen gibt – nicht unabhängig von einander bearbeitet werden. In jedem Teilpaket gibt es Anknüpfungspunkte zu anderen Arbeitspaketen, z. B Energie, Bauen und Wohnen, Freizeit und Tourismus.

Die Arbeit im Aktivitätsfeld Mobilität hat zum Inhalt möglichst alle in diesen Bereichen anfallenden Tätigkeiten zu erfassen, die Wirkungen dieser Aktivitäten auf Umwelt, Ökonomie und Gesellschaft zu analysieren und anhand eines Kriterien- und Zielkatalogs hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten.

Aufbauend auf den Ergebnissen des Arbeitspaketes 2 "Flächendeckende Erfassung der Aktivitätsfelder in quantitativer Form", dass das Aktivitätsfeld Mobilität in besonderem Maße zum Energieverbrauch und den Emissionen von Luftschadstoffen beiträgt und dies in erster Linie durch den Straßenfahrzeugbau und den Kraftstoffverbrauch für Verkehrsbewegungen - jeweils einschließlich der Vorleistungen - verursacht wird, wird auf diese Teilgebiete und diese Aspekte des Aktivitätsfeldes Mobilität näher eingegangen.

Mit Hilfe der Szenarioanalyse werden mögliche künftige Entwicklungspfade aufgespannt, die jeweiligen Nachhaltigkeitslücken aufgezeigt und daraus Strategien zu deren Überwindung abgeleitet.

Im folgenden werden hierzu ausgewählte Ergebnisse vorgestellt. In Kap. 2 werden nach einer überblicksartigen Vorstellung der Szenarien diese schrittweise entwickelt. Nachhaltigkeitspotenziale von Kraftstoffen und Antrieben werden beispielhaft dargestellt, indem über Filterverfahren Referenzsysteme festgelegt und eine Verteilung der Fahrzeuge nach Antriebskonzepten und Größenklassen vorgenommen wird, sowie die künftige Verkehrsentwicklung abgeschätzt.

Diese Ergebnisse werden zu zwei Szenario-Entwürfen kombiniert, deren Ergebnisse an Hand von ausgewählten Indikatoren dargestellt werden (Kap. 3). Dem schließen sich erste Schlussfolgerungen an (Kap. 4). In einem Ausblick (Kap. 5) wird auf die nächsten Arbeitsschritte im Projektverlauf eingegangen.

## 2. Szenarien im Aktivitätsfeld Mobilität

Die Ausarbeitung von Szenarien und Strategien nachhaltiger Entwicklung in den einzelnen Aktivitätsfeldern und die Markierung der jeweiligen politischen Entscheidungsbedarfe und der Entscheidungsspielräume ist zentraler Bestandteil des HGF-Projekts "Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland". Damit wird der Rahmen künftiger Entwicklungsmöglichkeiten aufgespannt, die jeweiligen Nachhaltigkeitslücken aufgezeigt und daraus Strategien zur Überwindung dieser Lücken abgeleitet.

---

<sup>20</sup> Eine detaillierte Abgrenzung des Aktivitätsfeldes Mobilität findet sich in Klann/Schulz (Zwischenbericht AP 2).

<sup>21</sup> Dieser Abschnitt kann in der Endfassung des Berichts - in einer vorläufigen Fassung - an die Ergebnisse von Kap. 8 angepasst werden.

Vorbehaltlich der endgültigen Szenario-Festlegung wurden folgende Szenarien entwickelt:

	<b>Globalisierungsszenario</b>	<b>Modernisierungsszenario</b>	<b>Ökologieszenario</b>
<b>Politik:</b>	- Primat der Ökonomie; - Vernachlässigung ökologischer, sozialer und entwicklungs-politischer Zielvorgaben	- Primat der Ökonomie unter Einbeziehung dringlicher ökologischer Notwendigkeiten	- Ausrichtung der Ökonomie an soziale, ökologische und entwicklungs-politische Notwendigkeiten
<b>Technik:</b>	Wettbewerbszentriert	Effizienzorientiert	Naturorientiert
<b>Verkehr:</b>	Verkehrs- und Transportintensität von Wirtschaft und Gesellschaft steigt.	Verkehrs- und Transportintensität von Wirtschaft und Gesellschaft ist leicht sinkend.	Verkehrs- und Transportintensität von Wirtschaft und Gesellschaft sinkt.

**Abbildung 1: Szenarien im Gesamtprojekt**

Die Abbildung zeigt schlagwortartig in den Bereichen Politik, Technik und Verkehr, wie sich die einzelnen Szenarien in ihrer Grundausrichtung unterscheiden.<sup>22</sup>

Verbesserungen der Nachhaltigkeit im Aktivitätsfeld Mobilität können an verschiedenen Stellen ansetzen, u. .a. (verändert nach [Walter, 1999]):

- Technologische Verbesserungen von Verkehrsmitteln oder Kraftstoffen,
- Steigerungen der Auslastung gegebener Verkehrsinfrastrukturen und der einzelnen Verkehrsmittel,
- Veränderung des Modal-Split und Verlagerung der Verkehrsleistung auf umweltverträglichere Verkehrsmittel,
- Vermeidung von Verkehrsleistung

als direkte Optimierungsmöglichkeiten und

- Informationen über die Auswirkungen der Mobilität,
- Vernetzung der Verkehrsmittel durch Vernetzung der Akteure und der Institutionen,
- Forschung und Entwicklung neuer Formen nachhaltiger Mobilität

als indirekte Optionen mit Rückwirkungen auf die direkten Optimierungsmöglichkeiten.

Innerhalb jeder dieser Optimierungskategorien gibt es jeweils eine Anzahl unterschiedlicher Maßnahmen. "Technische Verbesserungen" im motorisierten Individualverkehr könnten sich beispielsweise auf Leichtbau, Verringerung der Fahrwiderstände, effiziente Motorentechnik (Direkteinspritzung, Downsizing/Aufladung, etc.), schadstoff- oder geräuschminimierte Antriebe oder neue Antriebskonzepte (Hybridfahrzeuge, Brennstoffzellenfahrzeuge, Batterieautos) erstrecken.

---

<sup>22</sup> Eine Konkretisierung der einzelnen Szenarien wird im Zwischenbericht des HGF-Projekts "Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland" veröffentlicht.

Die Verkehrsnachfrage kann durch finanz- und preispolitische (z. B. Steuern und Abgaben), ordnungspolitische (z. B. Ge- und Verbote), organisationspolitische (z. B. Taktverdichtung im ÖPNV) und raumordnungspolitische Maßnahmen (z. B. Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur) sowie durch Verhaltensänderungen ebenso beeinflusst werden wie durch Entwicklungen im "außermobilitären" Bereich (ökonomische und gesellschaftliche Veränderungen).

Um bei dieser Vielzahl von Optionen eine in den jeweiligen Szenarien konsistente Kombination von Maßnahmen zu erhalten, wird schrittweise in den Bereichen "Technik" und Verkehrsnachfrage" vorgegangen, durch die die Vollständigkeit des Top-Down-Ansatzes mit dem Detaillierungsgrad der Ökobilanz und der Verkehrsanalyse verzahnt werden.

### **Schritt 1: Screening von Optionen**

In einem ersten Schritt wird ein Screening der Optionen mit unterschiedlichen Analysemethoden, beispielsweise Ökobilanzen oder Potenzialuntersuchungen vorgenommen. Neben der Frage über das „Ob“ verschiedener Technologien und Strategien lassen sich als wesentliche Informationen für die Entwicklung aktivitätsfelderspezifischer Teilstrategien dabei auch Aussagen über das „Wann“ und das „Wieviel“ ableiten. Einige Beispiele aus dem Teilgebiet „Technische Optimierung“ mögen dies verdeutlichen:<sup>23</sup>

#### **Beispiel 1: Erneuerbare Energieträger im Verkehr**

In einer langfristig orientierten Kraftstoff-Strategie ist der Einsatz von regenerativen Primärenergieträgern vor allem aus Gründen des Klimaschutzes, der Endlichkeit und der Konzentration der fossilen Energieträger notwendig. Neben den – vor allen Dingen langfristigen – Erfordernissen der Einführung regenerativer Kraftstoffe gibt es jedoch auch Argumente gegen ihre zu rasche Einführung, d. h. für eine zeitlich abgestimmte Nutzungsstrategie.

**Potenziale und Nutzungskonkurrenz.** Die genaue Analyse der Potenziale regenerativer Energien offenbart, dass es zwar ein bedeutendes Potenzial für den Einsatz regenerativer Energien gibt, dass es aber gleichfalls abzuwägen gilt

- zwischen der regenerativen Kraftstoffherzeugung und dem Einsatz regenerativer Energieträger in der stationären Strom- und Wärmeversorgung, also beispielsweise der Substitution von Heizöl durch Biomasse oder von Kohlestrom durch regenerativ erzeugte Elektrizität;
- zwischen der Kraftstoffherzeugung auf Energiepflanzenbasis und der Extensivierung/Ökologisierung (Freiflächen, Vermeidung von Monokulturen) der Landwirtschaft.

Hinzukommt, dass nicht nur der motorisierte Individualverkehr Kraftstoff in Form von Benzin und Diesel nachfragt. Auch andere "Kraftstoffe" werden eingesetzt. Der Fahrstrombedarf von Bundesbahn, S- und U-Bahnen betrug beispielsweise 1993 über 50 PJ. Der Einsatz von Elektrizität im Aktivitätsfeld Mobilität beschränkt sich aber nicht auf den Einsatz von Strom zum direkten Antrieb. Vielmehr fließt Strom in Form "grauer Energie" auch in die Herstellung der Fahrzeuge (150 PJ), in die Kraftstoffbereitstellung und in Vertrieb und Wartung von Straßenfahrzeugen [Pehnt 2001]. Dies bedeutet für den Ein-

---

<sup>23</sup> Detaillierte Informationen über technische Optimierungspotenziale sind in [Pehnt 2001], sowie im Endbericht zu finden.

satz regenerativer Energieträger im Mobilitätssektor vor allem, dass auch ein bedeutendes Potenzial zur Senkung der mit Mobilität verbundenen Umwelteinwirkungen allein durch eine "Ökologisierung" der Strombereitstellung erfolgen kann. U. a. durch Verlagerung von Verkehrsleistung auf die Schiene kann dieser Anteil weiter gesteigert werden.

Auch der Einsatz von Wasserstoff zur Dämpfung der Fluktuation regenerativer Energiebereitstellung ist ein allenfalls langfristig relevanter Aspekt, da zuvor eine Reihe von Maßnahmen ergriffen werden können, um den Überschuss/Speicherbedarf bzw. den zu deckenden Reststrombedarf zu mindern [Nitsch, Trieb 2000]. Bei regenerativen Anteilen von rund 30 % in Deutschland sind keine Überschüsse zu erwarten [Langniß 1997, Quaschnig 1999]. Erst danach wird Überschusselektrizität frei. Diese Überschüsse können zwar eine hohe Leistung aufweisen, stellen jedoch nur Strommengen in der Größenordnung zwischen 5 und 30 TWh/a bereit.

**"Ökoeffizienz"**. Ein wesentlicher Faktor für den Zeitpunkt des Einsatzes regenerativer Kraftstoffe ist der ökoeffiziente Einsatz der regenerativen Primärenergieträger. Dieser hängt von der Substitutionswirkung des gewählten Einsatzsegmentes ab. Während eine kWh Strom im derzeitigen Erzeugungssystem zu 680 g CO<sub>2</sub> führt, verursacht die Produktion und Verbrennung von 1 kWh Benzin lediglich ca. 300 g. Die Substitution konventionellen Stroms durch regenerative Primärenergieträger ist also unter Klimasichtspunkten mehr als doppelt so effizient wie der Ersatz von Benzin durch diese. Der optimale Einsatz von regenerativ hergestellten Kraftstoffen im Verkehr ist allerdings eine Funktion der Zeit. Die zunehmende Durchdringung des Kraftwerksparks durch klimarelevante Primärenergieträger führt zu sinkenden CO<sub>2</sub>-Emissionen. Andererseits wird die Benzinherstellung durch zunehmende Ressourcenverknappung und damit verbundenen Mehraufwendungen zu steigenden Emissionen führen.

**Kosten regenerativer Kraftstoffe.** Der Einsatz regenerativer Kraftstoffe muss sich neben den Potenzialen und der ökologischen Substitutionswirkung auch an der Kostensituation orientieren (*Abb. 2*).

Es ist ersichtlich, dass die Umwandlung – in der Regel teurerer – regenerativer Primärenergieträger in Kraftstoffe auf absehbare Zeit noch einen zusätzlichen Aufpreis bedeutet. Die Kosten von Kraftstoffen auf Biomasse-Basis (ohne Holz aus Kurzumtrieb) bewegen sich in einer Bandbreite zwischen 4 und 11 Pf/kWh und sind somit deutlich höher als die Herstellungs-/Verteilungskosten von Benzin. Zukünftiger regenerativer Strom liegt hingegen durchaus im Bereich der Kosten der Endverbraucherebene (Haushalte). Die Kostenschere regenerativ/fossil ist also bei Kraftstoffen deutlich höher als im Stromsektor.

Von strategischer Bedeutung für die Bewertung des Einsatzes regenerativer Primärenergieträger im Verkehr ist allerdings die zukünftige Preisentwicklung, da sich durch eine relative Verschiebung der Preisentwicklungen im mobilen und stationären Bereich, also beispielsweise durch einen früheren überproportionalen Anstieg der Rohölkosten durch die kürzeren Reichweiten, eine Verschiebung des Zeitpunktes ergeben kann, zu dem der Einsatz im mobilen Sektor attraktiver wird. Prognos geht beispielsweise von einer Verdreifachung der Rohölpreise bis 2050 aus, während der Strompreis bis 2010 leicht fällt und dann moderat ansteigt – in Abhängigkeit von der Erzeugungsstruktur [Prognos, 2001]. Damit wird die Substitution von Rohöl-basierten Kraftstoffen attraktiver.

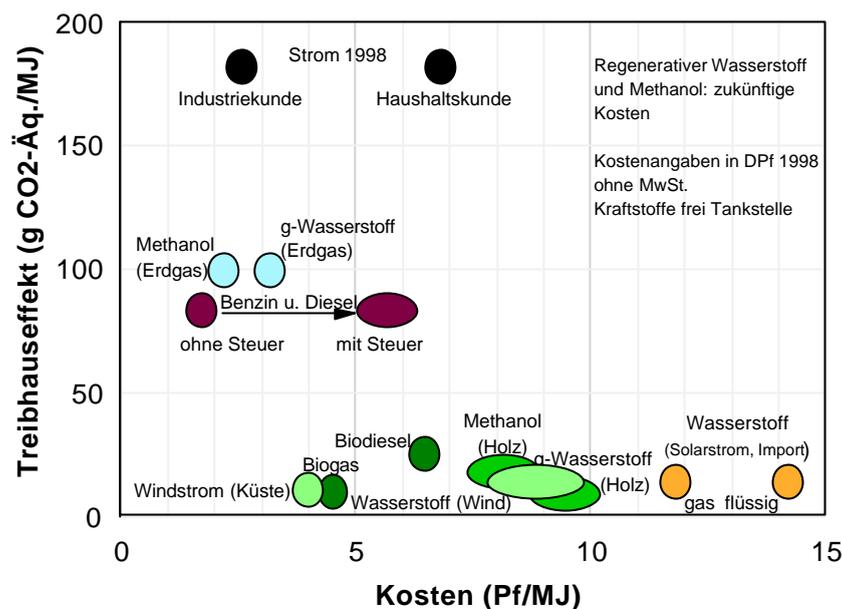


Abbildung 2: Kosten und Treibhausgas-Emissionen verschiedener fossiler und regenerativer Kraftstoffe

Für die Festlegung der Szenarien im AF Mobilität bedeutet dies, dass es erst langfristig zu einem Einsatz von regenerativen Primärenergieträgern im Verkehrssektor kommen wird. Abschätzungen zeigen, dass sowohl die Ressourcenlage, die ökologische Effizienz und die Kostenschere eine großflächige Einführung in ca. zwei bis drei Dekaden plausibel machen und zuvor regenerative Energieträger im stationären Bereich zu sehen sind. Diese Einschätzung ist Grundlage für das Ökologieszenario. Im Modernisierungsszenario wird hingegen davon ausgegangen, dass aus Imagegründen und zur Unterstützung der Markteinführung von Brennstoffzellen bereits vorher ein Ausbau regenerativer Energie im Aktivitätsfeld erfolgt. Im Globalisierungsszenario werden regenerative Energien insgesamt und mithin auch im Aktivitätsfeld Mobilität nicht ausreichend gefördert.

### Beispiel 2: Brennstoffzellen.

Brennstoffzellen sind ein vielsprechender Energiewandler vor allem für den stationären Sektor, aber auch als Stromquelle für Elektrofahrzeuge. Eine ökologische Gesamtbilanz eines Fahrkilometers in einem realistischen Fahrzyklus, die die Bilanzen der Herstellung und Kraftstoffbereitstellung mit den Umwelteinwirkungen durch den Betrieb verknüpft [Pehnt 2000a], führt (beispielhaft für den Treibhauseffekt zukünftiger Antriebssysteme (Status 2010)) zu den in Abb. 3 gezeigten Ergebnissen.

Vor allem die Wahl des Kraftstoffes wirkt sich auf die Gesamtbilanz aus. Durch Einsatz von Biomasse, Wasserkraft oder anderer regenerativer und nahezu treibhausneutraler Energieträger, auch unter Berücksichtigung der Transportaufwendungen (beispielsweise Transport von Flüssigwasserstoff durch Tanker mit fossilem Kraftstoff), lassen sich die Umweltwirkungen deutlich senken. Der Antrieb – Verbrennungsmotor oder Brennstoffzellenantrieb – ist in seiner Bedeutung für den Treibhauseffekt weniger entscheidend. Günstig ist der bessere Wirkungsgrad von Brennstoffzellenantrieben jedoch wegen der höheren Brennstoffkosten und begrenzten Potenziale vieler erneuerbarer Energieträger.

Ebenfalls deutlich wird, dass der deutliche Wirkungsgradvorteil von Brennstoffzellen (im NEFZ Status 2010: Wasserstoff-BZ 40 %, Methanol-BZ 33 %, Ottomotor 23 % Tank-zu-Rad-Wirkungsgrad) z. T. durch niedrigere Wirkungsgrade – und mithin höhere Treibhausgasemissionen – der Kraftstoffher-

stellung im Fall fossiler Primärenergieträger kompensiert wird. Daher und wegen der aufwändigeren Produktion der Brennstoffzellenfahrzeuge liegt der Treibhausvorteil bei fossilem Wasserstoff gegenüber fortschrittlichen Benzin-Fahrzeugen nur bei knapp 15 %. Die Verwendung von fossilem Methanol führt sogar zu Treibhausgas-Emissionen in gleicher Höhe wie die des Benzin-Fahrzeuges.

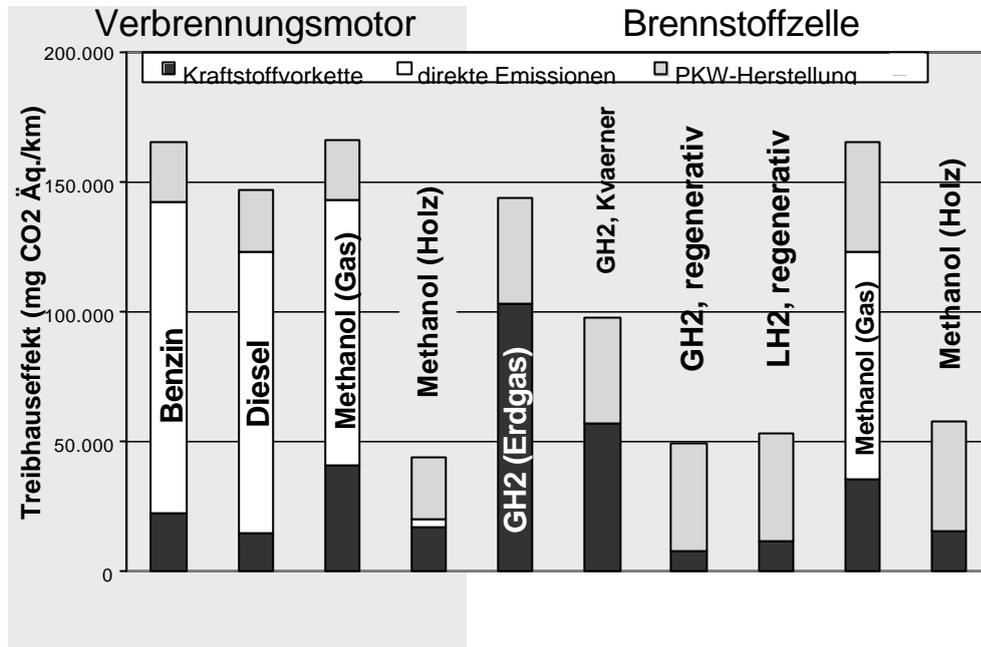


Abbildung 3: Bilanz der Treibhausgasemissionen verschiedener zukünftiger Antriebskonzepte (Status 2010) und Kraftstoffe in einem dynamischen Referenzfahrzyklus [Pehnt 2000b].

Regenerativer H<sub>2</sub>: Elektrolyse aus Wasserkraft. GH<sub>2</sub>: gasförmiger Wasserstoff, LH<sub>2</sub>: Flüssigwasserstoff. H<sub>2</sub> kann grundsätzlich auch im Ottomotor eingesetzt werden (Analyse aus Datenmangel nicht durchgeführt). Für Details über zugrunde liegende Annahmen und weitere Umweltwirkungen siehe [Pehnt 2000b].

### Beispiel 3: Leichtbau.

Eine *Gewichtsverringering* der Fahrzeuge ist aus mehreren Gründen wichtig. Der Rollwiderstand wird verringert, der Energiebedarf reduziert, der zum Beschleunigen und Bergauffahren wichtig ist, und der Motor kann kleiner ausgelegt werden.

Einige realisierte Fahrzeuge zeigen, dass eine Gewichtsreduktion ohne Komfort- und Leistungseinbußen ohne weiteres möglich ist. Die Öko-Version des VW Lupo enthält beispielsweise viel Aluminium und erreicht eine Gewichtsverminderung um 15 %. Greenpeace reduzierte im Smile das Originalgewicht um 23 % - ohne exotische Materialien, lediglich durch einen kleineren Motor sowie leichtere Innenausstattung und Räder.

Zur Kraftstoffeinsparung durch Gewichtsreduktion gibt es drei Strategien:

- der Einsatz von Materialien mit höherer Dichte bzw. geringem spezifischen Gewicht zur Erfüllung der gleichen technischen Anforderungen;
- die Entwicklung anderer Karosserie-Bauweisen (z. B. "space frame") und

- Down-Sizing, also eine kleinere Motorisierung, die durch das eingesparte Gewicht des Motors und anderer Komponenten wiederum den mechanischen Antriebsbedarf verringert.

Der Verbrauchsreduktion stehen jedoch unter Umständen erhöhte Umweltwirkungen durch aufwendigere Materialien entgegen (Abb. 4). Dies wird besonders offensichtlich bei *Faser-Verbundwerkstoffen*. Kohlenstofffasern werden entweder aus Kohlenwasserstoffgemischen oder aus Polyacrylnitril hergestellt. Neben Kohlenstofffasern eignen sich auch Glasfasern (die aus Quarzsand produziert werden) oder Aramidfasern (organische Polymere). Faser-Verbundwerkstoffe werden für eine Reihe von Fahrzeugkonzepten erprobt. Sie sind jedoch in der Herstellung außerordentlich aufwendig. Eine überschlägige Ökobilanz bei optimistischen Annahmen für die Energieaufwendungen von Verbundwerkstoffen zeigt, dass durch Verwendung von Kohlenstofffasern als Substitution für Stahl als Karosserie-Werkstoff die Mehraufwendungen für die Herstellung durch einen verringerten Kraftstoffbedarf wieder amortisiert werden, aber keine "spektakulären" Einsparungen zu erzielen sind [Pehnt 2001].

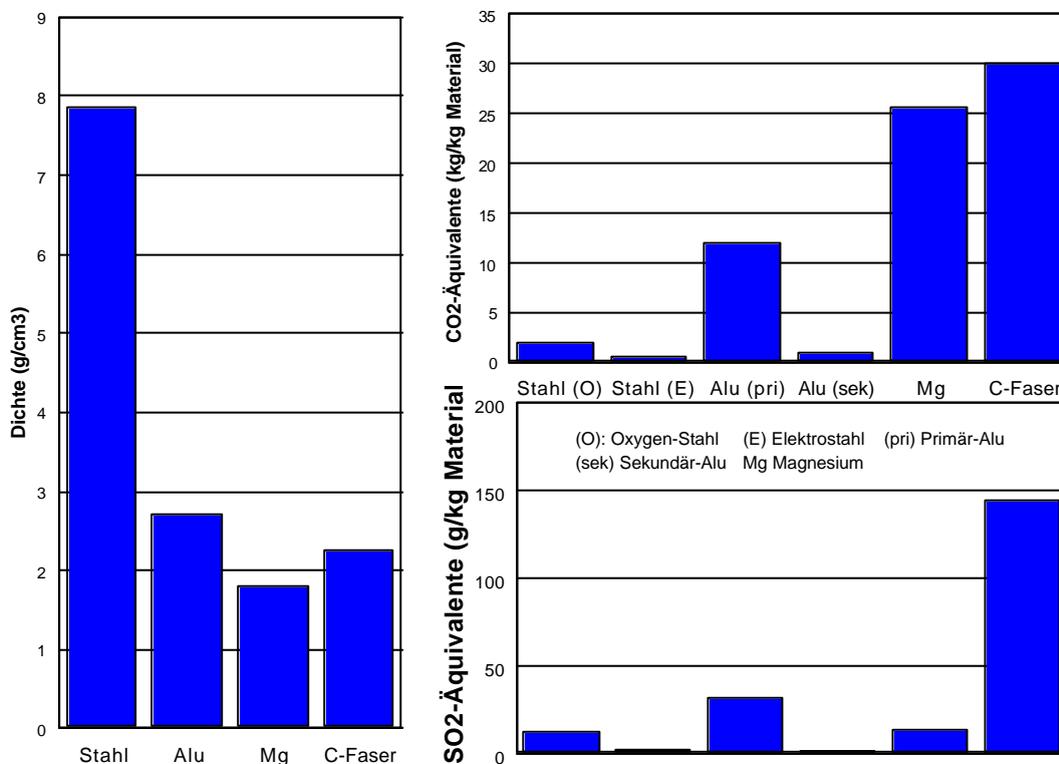


Abbildung 4: Dichte (links), Treibhauseffekt (rechts oben) und Versauerung (rechts unten) von Leichtbaumaterialien

## Schritt 2: Festlegung der Referenzsysteme

Im Rahmen des für die Szenarienberechnungen verwendeten Verkehrsmodells müssen nun die ausgewählten Optionen quantitativ bestimmt werden, beispielsweise hinsichtlich des Kraftstoffbedarfs und zukünftiger Emissionsentwicklungen.

Festlegungen basieren z. T. auf Simulationen und Modellberechnungen (z. B. der mechanische Antriebsbedarf bei gegebenen Fahrzeugparametern oder der Kraftstoffbedarf von Brennstoffzellenfahrzeugen). Vielfach müssen diese auf einzelne Parameter zurückgreifen (Fahrwiderstände, Kennfelder,

etc.). In diesem Fall werden Parameter von innovativen, gerade in den Markt eintretenden Fahrzeugkonzepten oder Pilotversuchen herangezogen ("Best-case-Transfer"), um das Optimierungspotenzial zu bestimmen. Beispielsweise war ein Ergebnis von Schritt 1, dass "exotische" Einsatzmaterialien für den Leichtbau (z. B. Magnesium) zu vermeiden sind, solange keine realistischen Recyclingoptionen offen stehen. Daher wurde für die Massenreduktion das Beispiel des Smile/Renault Twingo herangezogen (s. o.). Neben solchen Best-case-Transfers konnte auch auf statistische Auswertung von marktüblichen Komponenten zurückgegriffen werden; z. B. für den Rollwiderstand. Außerdem sind Literaturlauswertungen und Expertenschätzungen gerade für die Wirkungsgrade der konventionellen Antriebssysteme erforderlich, da hier erst sehr vereinzelt verallgemeinerbare Informationen vorliegen. Andere Parameter sind exogen vorgegeben. Die Emissionsentwicklung wird sich beispielsweise an den gesetzlichen Vorgaben orientieren (Euro 4; Euro 5 für Nutzfahrzeuge). Hier werden für die verschiedenen Szenarien unterschiedliche Emissionsniveaus unterstellt, die den unterschiedlichen Fahrmustern in Anlehnung an die TÜV-Datenbank im IKARUS-Verkehrsmodell zugeordnet werden.

Beispielhaft ist in *Abb. 5* die Festlegung und argumentative Ableitung der Referenzfahrzeuge für ein Benzin-Fahrzeug der Kompaktklasse dargestellt. Ähnliche Festlegung zukünftiger Entwicklungslinien werden in [Pehnt 2001] für ein ganzes Spektrum an Verkehrsmitteln für verschiedene Kraftstoffe getroffen, z. B.

- MIV: Benzin-Ottomotor, Dieselmotor, Wasserstoff-Brennstoffzelle, Erdgas-Ottomotor, Batterieauto, zukünftige Motorräder;
- Nutzfahrzeuge;
- Busse: Dieselmotor, Erdgasbusse, Hybridbusse, Wasserstoff-Brennstoffzelle, Oberleitungsbus;
- Schienenverkehr: S- und U-Bahnen, Elektro- und Dieseltraktion im Personen- und Güterverkehr;
- Schiffsverkehr;
- Flugverkehr.

Das Beispiel des Kompaktklasse-Benzinfahrzeugs zeigt das große Minderungspotenzial, das sich allein im Bereich der Straßenfahrzeuge erschließen lässt. Die aus dem Referenzfahrzeug errechneten Verbrauchsminderungen (*Abb. 6*) ergeben sich beim Übergang vom Globalisierungs- zum Modernisierungsszenario aus einer Überlagerung einer effizienteren Antriebstechnologie, verringerter Fahrwiderstände und geringfügig reduzierter Massen. Bei dem Ökologieszenario kommen stärkere Massen- und Fahrwiderstandsminderungen und zusätzlich ein defensiveres Fahrverhalten hinzu. Letzteres ist z. B. am Vergleich von Fahrsituationen außerorts und auf der Autobahn abzulesen: während die schnellen Autobahnfahrten im Modernisierungs- und Globalisierungsszenario zu höherem Kraftstoffverbrauch als bei Landstraßenfahrten führen, ist dies im Ökologieszenario nicht der Fall (*Abb. 6*).

Szenario	Globalisierung	Modernisierung	Ökologie
<b>Fahrzeugmasse</b>	1010 kg	920 kg	720 kg*
	typische Karosserie- masse	5 % Verringerung	Reduktion um 25 % wie bei Smile/Renault Twin- go
<b>Motorisierung (kW/t)</b>	50	44	32
	Zusammenstellung nach [Carpetis, 2000]		
<b>Luftwiderstand</b> $c_w \cdot A$ (m <sup>2</sup> )	0,66	0,6	0,475
	Praxisbeispiele: Lupo: Senkung von 0,64 auf 0,57, Audi A2: Senkung auf 0,544, Planung General Motors Ultralite: 0,33		
<b>Rollwiderstandsbeiwert</b>	0,01	0,009	0,007
	Planung General Motors: 0,007; Hypercar: 0,006; [Weiss, 2000 #751]		
<b>Wirkungsgrad (%)</b> io**/ao/Autobahn	14/26/31	18/28/35	18/28/35
	Auswertung von Fahr- zeug-tests neuer Fahr- zeuge mit Verbesserun- gen vor allem io	Expertenabschätzungen (siehe [Pehnt 2001 ]) für zukünftige Direkteinspritzer. Fortschritte vor allem io.	
<b>Fahrverhalten</b>	Hyzem-Fahrzyklus	Hyzem-Fahrzyklus	Hyzem-Fahrzyklus mit reduzierter Höchst- geschwindigkeit
	Hyzem: repräsentativer Fahrzyklus mit höherer Dynamik/höheren Ge- schwindigkeiten als NEFZ		
<b>Mechan. Energiebedarf</b> (MJ/km) io**/ao/Autobahn	0,35/0,40/0,53	0,31/0,36/0,48	0,24/0,27/0,29
	errechnet aus Fahrzeugparametern mit Modellica-Fahrzeug-Simulationstool		
<b>Kraftstoffbedarf</b> (l Benzin/100 km) io**/ao/Autobahn	8,0/5,0/5,3	5,5/4,0/4,2	4,1/3,0/2,6

\* Zusätzlich gibt es im Ökologieszenario ein an den Loremo angelehntes Extremfahrzeug (Masse: 540 kg), das vor allem für die Anbindung des ländlichen Raums an den ÖPNV und andere Shuttlefahrten eingesetzt wird.

\*\* io: innerorts mit Kaltstart, ao: außerorts.

**Abbildung 5: Festlegung der Referenzsysteme (Status 2020) und argumentative Herleitung/Berechnungsstruktur am Beispiel eines Benzin-PKW (< 1,4l)**

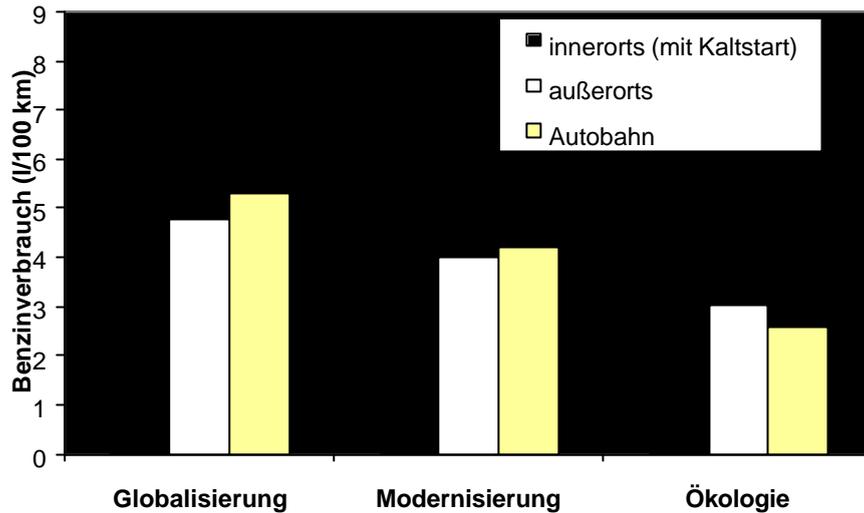


Abbildung 6: Kraftstoffverbrauch in verschiedenen Fahrsituationen in den drei Szenarien gemäß Abb. 5

### Schritt 3: Festlegung der Verteilung der Fahrzeuge nach Antriebskonzepten und Größenklassen

Die Festlegung der Szenarien erfordert nach der Definition der Einzelfahrzeuge eine Aussage über die Verteilung der Fahrzeuge und Verkehrsmittel nach Antriebskonzepten und Größenklassen. Eine Markterschließung mit neuen Antriebskonzepten vor allem im Bereich des motorisierten Individualverkehrs kann je nach den gewählten Parametern sehr unterschiedliche Ausmaße annehmen. Sie hängt wesentlich vom

- Zeitpunkt der Markteinführung,
- dem insgesamt erreichbaren Marktpotenzial und
- der Wachstumsrate, mit der dieses Marktpotenzial erschlossen wird,

ab. Diese wiederum sind auf eine Vielzahl von Einflussfaktoren zurückzuführen, z. B.

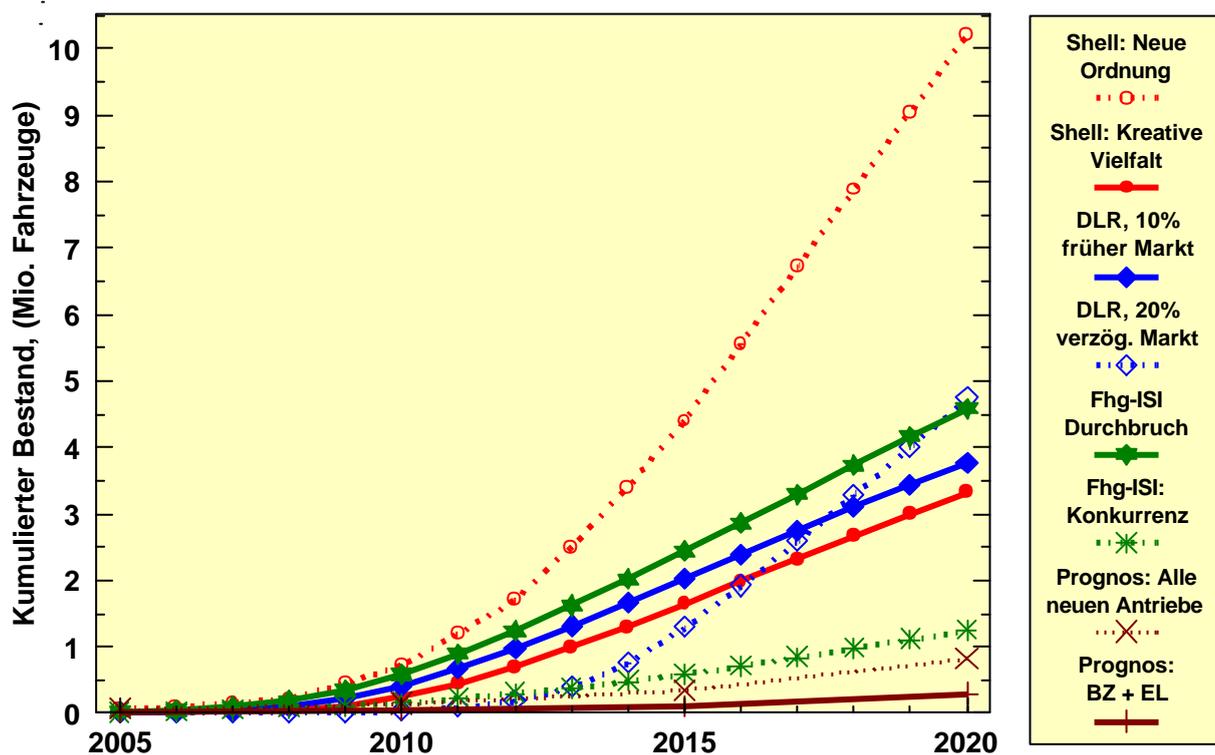
- die Entwicklung der Kraftstoffpreise und der Kraftstoffbesteuerung;
- die Entwicklung der Fahrzeuginvestitionskosten. Wichtig für den Ausbau geeigneter Antriebskonzepte ist auch die Akzeptanz der Käufer. Nach [Neumann, 2000] nimmt beispielsweise die Bereitschaft, ein voll ausgestattetes Öko-Auto zu kaufen, bei einem Mehrpreis von DM 2000 um 50 % ab;
- die Höhe der Umweltqualitätsziele und damit zusammenhängend die Entwicklung gesetzlicher Grenzwerte;
- die Bereitschaft der Bevölkerung, umweltverträglichen Fahrzeugen den Vorrang zu geben;
- die Förderung und Bewerbung der Technologien in der Öffentlichkeit.

**Ottomotoren** werden nach wie vor als Rückgrat des individuellen Personenverkehrs dienen. Durch technische Fortschritte wird es gelingen, auch bei Ottomotoren den Verbrauch zu senken und vor allen Dingen durch geringere Investitionskosten konkurrenzfähig zu sein. Die Spannweite des Anteils von

Ottomotoren reicht in verschiedenen Szenarien des Verkehrs der Zukunft von einem Ottomotoranteil von lediglich gut 30 % bis hin zu 80 %. Die meisten Szenarien liegen bei Anteilen zwischen 60 und 80 % [Pehnt 2001].

Der Anteil des **Dieselmotors** an den Bestandszahlen wird wesentlich davon abhängen, ob es gelingt, flächendeckend Partikelfilter einzuführen. [Seiffert, 1998] geht davon aus, dass sich der Dieselanteil aufgrund der Weiterentwicklungen auf Antriebs- und Abgasnachbehandlungsseite auf deutlich über 20 % erhöhen wird. Die vergangene Entwicklung des Anteils von Dieselfahrzeugen am Bestand zeigt, dass Preis- und Verbrauchsdifferenzen zu einer Entwicklung aus einer Nischenanwendung in Nutz- und Flottenfahrzeugen zu einem konkurrenzfähigen Antrieb für den Massenmarkt führen können.

Die Entwicklung von **Brennstoffzellenantrieben** differiert sehr stark (Abb. 7). in [Prognos 2000] beurteilt. Als frühester Zeitpunkt einer Markteinführung von Brennstoffzellenfahrzeugen wird von der Automobilindustrie das Jahr 2004 angestrebt. Angesichts der noch offenen Frage der Kraftstoffinfrastruktur, der Existenz lediglich einzelner Demonstrationsfahrzeuge zum jetzigen Zeitpunkt und der Sinnhaftigkeit eines regenerativen Wasserstoffeinsatzes (siehe oben) ist dies eine sehr ehrgeizige und nur eingeschränkt sinnvolle Zeitmarke. Auch die Höhe des erreichbaren Marktsegments ist sehr unsicher. Eine rasche und sehr weitgehende Verdrängung des Verbrennungsmotors ist eher unwahrscheinlich und nach den obigen Ausführungen erst zu erwarten (und auch sinnvoll), wenn Kraftstoffe auf der Basis erneuerbarer Primärenergien in ausreichendem und preisgünstigem Maße zur Verfügung stehen.



VerkehrZubau3.pre; 12.4.00

Abbildung 7: Szenarien der Bestandsentwicklung von Brennstoffzellen-Fahrzeugen bis zum Jahr 2020 nach verschiedenen aktuellen Untersuchungen. [Prognos, 2000; ISI, 1999; Shell, 1999]; eigene Berechnungen. (Gesamtbestand (Mio PKW): 1999 = 42,4; 2010 = 47; 2020 = 48). [Pehnt, 2000b]

Im **Modernisierungsszenario** gehen wir davon aus, dass Dieselfahrzeuge im Jahr 2020 auf einen Anteil von 25 % an der Fahrleistung kommen werden, wobei die Dieselfahrzeuge auch in kleineren Fahrzeugen mit Partikelfiltern ausgestattet sind und Euro 4-Grenzwerte erfüllen. Dieselfahrzeuge setzen sich in diesem Szenario überproportional im unteren Leistungssegment durch. In unserem Szenario gehen wir von einem "verzögerten Markt" für Brennstoffzellen-Fahrzeuge aus, d. h. der Markteintritt beginnt erst im Jahr 2008, das Marktwachstum erfolgt jedoch rascher und das erreichbare Marktsegment wird mit 20 % höher angesetzt. Für 2020 gehen wir von einem Anteil an der Fahrleistung von 10 % aus. Als Konsequenz aus der Analyse der Kraftstoffoptionen im Screening-Schritt unterstellen wir zudem Wasserstoff-Brennstoffzellen. Ottomotoren werden den restlichen Anteil von 65 % ausmachen. Wir nehmen die Einführung nahezu schwefelfreien Kraftstoffs als gegeben an und prognostizieren im technologischen Szenario einen stärkeren Anstieg von Down-Sizing/Aufladungs-Konzepten und Direkteinspritzung.

Im **Ökologieszenario** hingegen dominieren effiziente konventionelle Antriebe die ersten Dekaden stärker als im Modernisierungsszenario, da der Einsatz regenerativer Energien in den Verkehrssektor erst später, nach einer Ausschöpfung der Nutzungspotenziale im stationären Bereich, erfolgt. Wasserstoff-Brennstoffzellen kommen zuerst im Bussektor zum Einsatz.

**Verteilung der Fahrzeuge nach Größenklassen.** In den vergangenen Jahren war ein kontinuierlicher Trend zu größeren, stärker motorisierten Fahrzeugen erkennbar, der u. a. auf erhöhte Anforderungen an die Fahreigenschaften, den Komfort und die Sicherheit zurückzuführen ist. Im **Globalisierungsszenario** unterstellen wir eine ungebremste Fortsetzung dieses Trends bis zu einer gegebenen "Gleichgewichtsverteilung". Im **Modernisierungsszenario** erfolgt diese Umstrukturierung mit geringerer Geschwindigkeit. Außerdem liegt die durchschnittliche Motorisierung um zehn Prozent unter der des Modernisierungsszenarios. Im **Ökologieszenario** ist der Zuwachs der durchschnittlichen Motorisierung durch Einsicht in die Erfordernisse des Klimaschutzes gebremst und kehrt sich in fünf Jahren um, bis im Jahr 2020 wieder die Ausgangsverteilung von 1980 erreicht ist. Dies ist u. a. auch darauf zurückzuführen, dass eine Vielzahl der Fahrzeuge vor allem für Transferzwecke zu den nächsten Umsteigestellen des öffentlichen Verkehrs dient. Durch verstärktes Car Sharing ist in diesem Szenario zudem ein funktionsorientiertes Ausleihen von Fahrzeugen größerer Leistung möglich, so dass der erforderliche Bestand geringer sein kann.

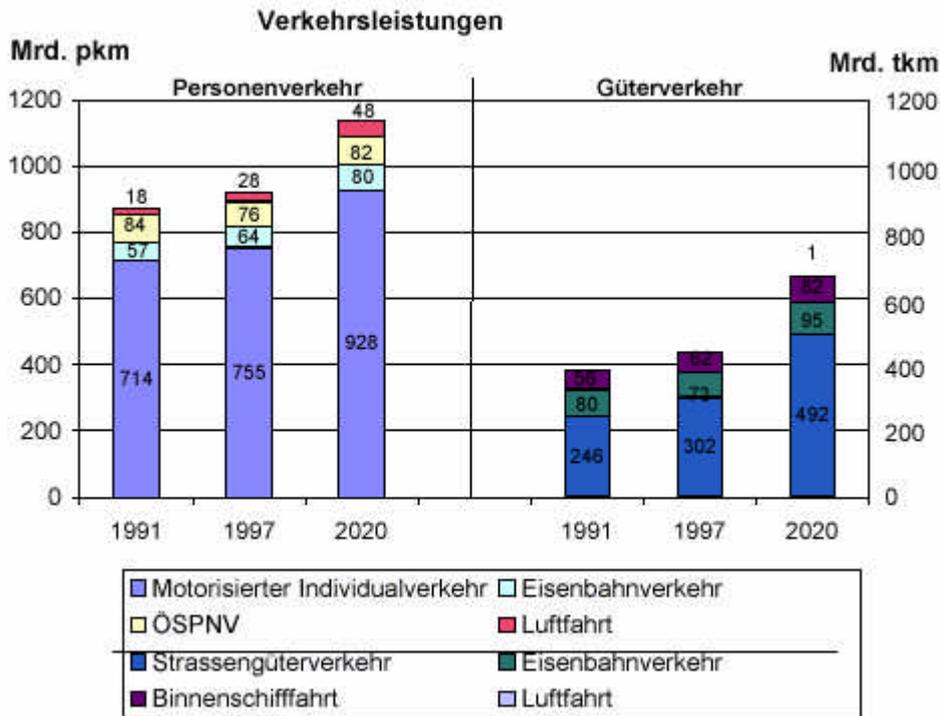
#### **Schritt 4: Entwicklung der Verkehrsnachfrage**

Im Bereich der Verkehrsnachfrage werden den einzelnen Szenarien adäquate Verkehrsleistungen zugeordnet. Die Festlegung erfolgt dabei verkehrsmittel- und fahrzeugspezifisch.

In einem ersten Schritt wurde den Szenarien eine identische Verkehrsentwicklung unterstellt. Als Grundlage für die Entwicklung der Szenarien wurden die Prognosen der Verkehrsnachfrage der Prognos AG [Prognos 2000] übernommen. Danach zeichnet sich bis zum Jahre 2020 folgende Entwicklung ab (s. *Abb. 8*).

Beim Luftverkehr ist zu erwarten, dass sich die Wachstumsdynamik weiter fortsetzen wird, da die Reiselust der Bevölkerung ungebrochen anhält und Flugreisen aufgrund der relativ günstigen Preise weiter an Attraktivität gewinnen werden. Auch wenn die Bahn im innerdeutschen Verkehr Marktanteile vom Luftverkehr zurückgewinnen kann, werden die Zuwachsraten insgesamt nur ganz leicht oberhalb des Durchschnitts der gesamten Verkehrsnachfrage liegen. Dagegen wird der Marktanteil des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) auch weiterhin rückläufig sein. Dies gilt in erster Linie für den Busverkehr, der sowohl im Segment Gelegenheitsverkehr aufgrund der stärker werdenden Konkurrenz der

Eisenbahn als auch im Linienverkehr nur unterproportionale Wachstumsraten erreicht. Trotz der steigenden Preise für Kraftstoffe wird der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (MIV) an der gesamten Verkehrsleistung nur geringfügig zurückgehen. Ausschlaggebend hierfür sind in erster Linie die auch weiterhin steigende Pkw-Verfügbarkeit, die nach wie vor relativ niedrigen variablen Kosten der Pkw-Nutzung sowie eine unterstellte weitgehende Konstanz des Verhaltens der Bevölkerung [Prognos 2000].



Quellen: BMVBW 1999, Prognos 2000, eigene Berechnungen

Abbildung 8: Szenarien der Verkehrsentwicklung

Die modale Verteilung des Güterverkehrs zeigt, dass der Marktanteil des Straßengüterverkehrs bis zum Jahre 2020 auf 73,5 % der gesamten Güterverkehrsleistungen ansteigt. Getragen wird diese Entwicklung durch mehrere Einflussfaktoren. Die Verkehrsmarkoliberalisierung bewirkt, dass die überdurchschnittliche Wettbewerbsfähigkeit trotz politischer Maßnahmen zur Reduktion des Straßengüterverkehrs erhalten bleibt. Darüber hinaus werden durch intelligente Logistik- und Telematiksysteme die schon heute bestehenden Kapazitätsengpässe auf den Straßen abgemildert. Insbesondere die Förderung des kombinierten Verkehrs wird für die Verkehrsträger Binnenschiff und Eisenbahn Wachstumsimpulse auslösen, allerdings sind diese Verkehrsträger durch das unterproportionale Wachstum der Grundstoffindustrie besonders betroffen, so dass die Expansion nur unterdurchschnittlich ausfällt [Prognos 2000].

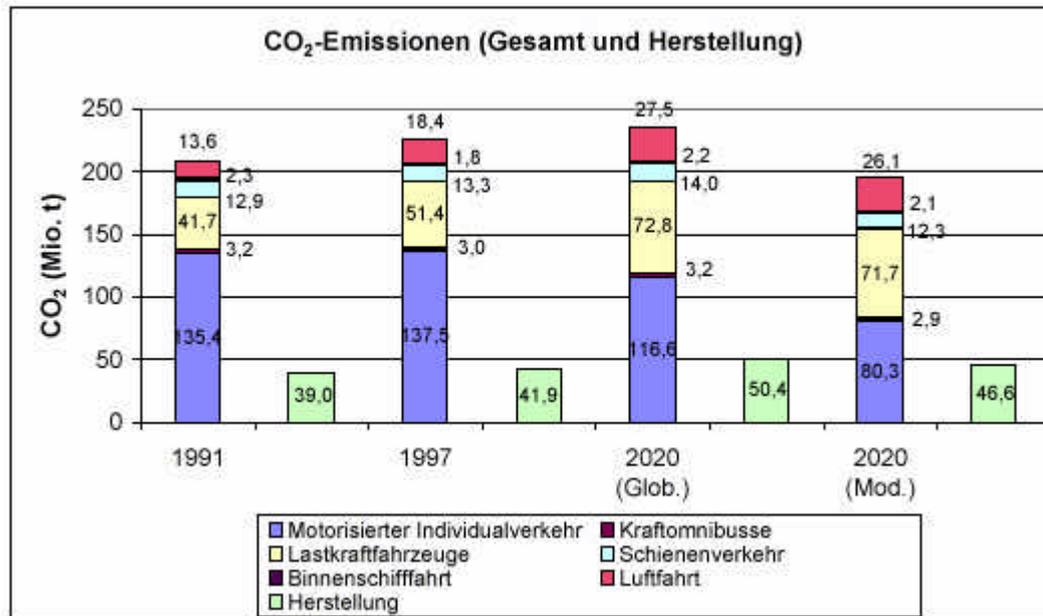
### 3. Erste Szenarioergebnisse

Aus einer Kombination verschiedener technischer Entwicklungspfade mit dem Verkehrsszenario lassen sich erste vorläufige Szenarien ableiten. Im folgenden werden erste Szenarioergebnisse des Globalisierungs- und Modernisierungsszenarios vorgestellt. Sie werden im weiteren Verlauf des Projektes detail-

liert, für eine Reihe unterschiedlicher Indikatoren berechnet und interpretiert und sollen hier nur zu einer vorläufigen Illustration der zukünftig zu erwartenden Entwicklungen dienen. Die Ergebnisse werden am Beispiel der Entwicklung der Kohlendioxid-Emissionen dargestellt.

In selber Form liegen Ergebnisse im Bereich des Energieverbrauchs, der Emissionen von Kohlenmonoxid, Methan, Stickoxide, Lachgas, Kohlenwasserstoffe und Partikel vor.

Im **Globalisierungsszenario** steigen die gesamten Kohlendioxid-Emissionen aus dem Verbrauch von Kraftstoffen und Strom einschließlich derer zur Kraftstoffherstellung von 225,3 Mio t im Jahre 1997 auf 236,2 Mio t im Jahre 2020 nur geringfügig an (s. Abb. 9).



Quellen: Hautzinger, u. a 1996, Statistisches Bundesamt 1998, DIW/ISI 1998, Prognos 2000, eigene Berechnungen

**Abbildung 9: Kohlendioxid-Emissionen (direkte Emissionen einschl. derer der Kraftstoffherstellung)**

Eine Aufteilung des Emissionen nach Verkehrsmitteln zeigt, dass der motorisierte Individualverkehr mit einem Anteil von fast 50 % der größte Emittent im Verkehrsbereich ist, gefolgt vom Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen, der einen Anteil von nahezu 31 % erreicht. Ein nennenswerter Anteil wird vom Luftverkehr mit rund 12 % verursacht. Binnenschifffahrt, Schienen- und Kraftomnibusverkehr sind zusammen nur für 7 % des Energieverbrauchs verantwortlich.

Zuwächse erreichen der Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen (+42 %) und die Luftfahrt (+50%) und in geringerem Maße der Kraftomnibus-, der Schienenverkehr und die Binnenschifffahrt, wohingehend der motorisierte Individualverkehr im Jahre 2020 mehr als 15 % weniger emittiert als 1997.

Ursachen dafür sind die Energieeffizienzsteigerungen im motorisierten Individualverkehr, die dessen steigende Verkehrsleistungen überkompensieren. Im Straßengüterverkehr sind die technischen Minderungspotentiale geringer. Zusammen mit seiner enormen Verkehrszunahme führt dies zu steigenden Kohlendioxid-Emissionen. Obwohl sich der spezifische Verbrauch im Luftverkehr um über 17 % verringert, steigen auch hier wegen der Bedeutungszunahme des Luftverkehrs die Kohlendioxid-Emissionen.

Nach Kraftstoffen gegliedert, haben lediglich Vergaserkraftstoffe, die fast ausschließlich im motorisierten Individualverkehr anfallen, Emissionsminderungen aufzuweisen. Die Emissionen aus dem Verbrauch von Dieselmotoren steigen, bedingt durch den Straßengüterverkehr. Die strombedingten Emissionen nehmen auf Grund der Bedeutungszunahme des elektrifizierten gegenüber dem dieselmotortriebenen Schienenverkehr zu. Kerosin wird nur im Luftverkehr verwendet und seine Emissionen steigen daher. Der Anteil der übrigen Kraftstoffarten (Batterie, Erdgas, Biodiesel und Wasserstoff) steigt wegen des höheren Bestandsanteils der entsprechenden Fahrzeuge im Straßenverkehr.

Im **Modernisierungsszenario** sinken die gesamten Kohlendioxid-Emissionen von 225,3 Mio t im Jahre 1997 um über 13 % auf 195,3 Mio t. im Jahre 2020 (s. *Abb. 9*).

Auch in diesem Szenario hat der motorisierte Individualverkehr mit 41 % den größten Anteil. Der Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen erreicht mit 37 % fast diese Werte. Ein nennenswerter Anteil wird vom Luftverkehr mit 13 % verursacht. Binnenschifffahrt, Schienen- und Kraftomnibusverkehr sind zusammen nur für 9 % des Energieverbrauchs verantwortlich.

Zuwächse erreichen der Verkehr mit Lastkraftfahrzeugen (+40 %) und die Luftfahrt (+42%) und in geringerem Maße die Binnenschifffahrt, wohingegen der motorisierte Individualverkehr im Jahre 2020 gut 41 % weniger emittiert als 1997 und auch der Kraftomnibusverkehr rund 9% verliert. Die Emissionen des Schienenverkehrs nehmen um 7 % ab.

Ursachen dafür ist das große Minderungspotential, das sich allein im Bereich der Straßenfahrzeuge erschließen lässt. Die aus dem Referenzfahrzeug errechneten Verbrauchsminderungen (*Abb. 5*) ergeben sich beim Übergang vom Globalisierungsszenario zum Modernisierungsszenario aus einer Überlagerung einer effizienteren Antriebstechnologie, verringerter Fahrwiderstände und geringfügig reduzierter Massen, die dessen steigende Verkehrsleistungen überkompensieren. Im Straßengüterverkehr sind die technischen Minderungspotentiale geringer. Zusammen mit seiner enormen Verkehrszunahme führt dies zu steigenden Energieverbräuchen. Obwohl sich der spezifische Verbrauch im Luftverkehr im Modernisierungsszenario gegenüber dem Globalisierungsszenario nochmals um 5 % verringert, steigt auch hier wegen der Bedeutungszunahme des Luftverkehrs der Energieverbrauch. Im Schienenverkehr führen die zusätzlichen Energieeffizienzsteigerungen zu Energieeinsparungen, während die Binnenschifffahrt auch in diesem Szenario leichte Energiezuwächse verzeichnet.

Nach Kraftstoffen gegliedert, hat auch im Modernisierungsszenario lediglich der Verbrauch von Vergaserkraftstoffen, der fast ausschließlich im motorisierten Individualverkehr anfällt, Emissionsminderungen aufzuweisen. Die Emissionen aus dem Verbrauch von Dieselmotoren steigen, bedingt durch den Straßengüterverkehr. Die strombedingten Emissionen nehmen auf Grund der Bedeutungszunahme des elektrifizierten gegenüber dem dieselmotortriebenen Schienenverkehr wenn auch nur geringfügig zu. Kerosin wird nur im Luftverkehr verwendet und seine Emissionen steigen daher. Der Anteil der übrigen Kraftstoffarten (Batterie, Erdgas, Biodiesel und Wasserstoff) steigt wegen des höheren Bestandsanteils der entsprechenden Fahrzeuge im Straßenverkehr.

## 4. Übersicht über das gesamte Aktivitätsfeld Mobilität am Beispiel der Treibhausgasemissionen

Die folgende Tabelle zeigt am Beispiel der Treibhausgasemissionen im Jahre 1993 eine Gesamtbeurteilung des Aktivitätsfeldes Mobilität. In sie fließen die Ergebnisse der Top-down-Analyse des Arbeitspaketes 2 "Flächendeckende Erfassung der Aktivitätsfelder in quantitativer Form" und die Ergebnisse der Bottom-up-Analyse des Aktivitätsfeldes ein.

Sie zeigt an diesem Beispiel, dass es mit Hilfe des Aktivitätsfelderansatzes gelingt, alle mit Mobilität anfallenden Tätigkeiten - Verkehrsnachfrage, Kraftstoffherstellung, Produktion von Verkehrsmittel und Errichtung und Unterhalt der Verkehrsinfrastruktur (einschließlich der Vorleistungen) - zu erfassen.

Sie verdeutlicht die in Kap. 11.4 genannte Dominanz der Verkehrsnachfrage und des Fahrzeugbaus an den Treibhausgasemissionen im Aktivitätsfeld Mobilität.

Sie zeigt, dass die Top-down- und die Bottom-up-Analyse kombiniert werden können, indem letztere die Erkenntnisse aus ersterer präzisiert - hier dargestellt an der Aufschlüsselung der Treibhausgasemissionen der Verkehrsnachfrage und der Kraftstoffherstellung nach Verkehrsarten.

Sie gibt in vereinfachter Form die Struktur der Ergebnisdarstellung der einzelnen Indikatorberechnungen an, soweit sie sich quantifizieren lassen.

Tab. 1: Treibhausgasemissionen im Aktivitätsfeld Mobilität im Jahre 1993

	Motorisierter Individualverkehr	Straßengüterverkehr	Übrige	Summe
Verkehrsnachfrage	132	44	22	198
Kraftstoffherstellung <sup>24</sup>	22	6,5	16,5 <sup>25</sup>	45
Fahrzeugbau <sup>26</sup>				67
Verkehrsinfrastruktur				11
Summe				320

## 5. Zusammenfassung

Die Analyse des Aktivitätsfeldes Mobilität lässt erkennen, dass das Aktivitätsfeld Mobilität in besonderem Maße zum Primärenergieverbrauch, zu den Treibhausgasemissionen und den Luftschadstoffen beiträgt. In erster Linie sind dafür der Energieverbrauch der Verkehrsnachfrage und die Herstellung von Verkehrsmitteln, insbesondere die Produktion von Straßenfahrzeugen, bei einer Betrachtung jeweils einschließlich der Vorleistungen verantwortlich.

---

<sup>24</sup> Einschließlich der Vorleistungen im Ausland.

<sup>25</sup> Einschließlich Strom.

<sup>26</sup> Einschließlich der Vorleistungen im Ausland.

Dies war Anlass, in einem ersten Schritt die beiden Teilbereiche und ihre Wirkungen hinsichtlich Energieverbrauch und Emissionen einer detaillierten Betrachtung mittels Bottom-up-Analysen zu unterwerfen, zumal technologische Verbesserungen von Verkehrsmitteln und Kraftstoffen sowie Beeinflussung der Verkehrsnachfrage als wesentliche Maßnahmen im Aktivitätsfeld Mobilität zur Entwicklung in Richtung Nachhaltigkeit identifiziert wurden.

Mögliche Entwicklungspfade der technischen Entwicklung bei Kraftstoffen und den einzelnen Verkehrsmitteln wurden - den einzelnen Szenarien entsprechend - am Beispiel der Personenkraftwagen dargestellt und ihre Herleitung begründet.

Dabei zeigt sich, dass die durch Leichtbauweise erzielbaren Verbrauchsreduktionen im Betrieb - je nach verwendetem Material - durch Mehraufwendungen für die Herstellung amortisiert werden können. Die Auswahl der Materialien ist also unter Umweltgesichtspunkten entscheidend.

Die Analyse der Potenziale regenerativer Energien offenbart eine Nutzungskonkurrenz zwischen stationärem und mobilen Einsatz und zwischen der Kraftstoffherzeugung auf Energiepflanzenbasis und einer Extensivierung der Landwirtschaft. Zudem zeigt sich, dass die Kostenschere regenerativ/fossil bei Kraftstoffen deutlich höher ist als im Stromsektor. Daraus wird der Schluss gezogen, dass es erst langfristig zu einem Einsatz regenerativer Energieträger im Verkehrssektor kommen wird. Auch die Brennstoffzelle entfaltet ihr volles Umweltpotenzial erst mit durch regenerative Energieträger hergestellten Wasserstoff.

Diese Überlegungen führten zu einer szenariospezifischen Festlegung technischer Parameter, die zusammen mit einer - je nach Szenario - unterschiedlichen Verteilung der Fahrzeuge und Verkehrsmittel nach Antriebskonzepten und Größenklassen mit einer Abschätzung der Verkehrsnachfrage kombiniert wurden. In einem ersten Schritt wurde den Szenarien eine identische Verkehrsentwicklung unterstellt. Sie werden im weiteren Verlauf des Projektes detailliert, für eine Reihe unterschiedlicher Indikatoren berechnet und interpretiert und sollen hier nur zu einer vorläufigen Illustration der zukünftig zu erwartenden Entwicklungen dienen.

Dabei zeigt sich:

Trotz technischer Effizienzsteigerungen lassen sich die Nachhaltigkeitskriterien im Bereich des Energieverbrauchs, was die Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Energieträgern betrifft, und im Bereich der CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht erfüllen – wenn auch Fortschritte nicht zu verkennen sind. Im Bereich der Emissionen lösen technische Innovationen nicht alle Probleme, aber ohne sie sind zusätzliche Emissionen nicht vermeidbar. Verursacher dieser Entwicklungen sind für die bislang bilanzierten Szenarien bei dem vorläufigen Stand der festgelegten Verkehrsleistungen der Straßengüterverkehr und der Luftverkehr. Der MIV wird auch in Zukunft für den größten Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich sein. Bei Szenarien, in denen der MIV eine größere Rolle spielt als hier, könnte die Nachfragesteigerung auch dann die Effizienzsteigerungen überkompensieren. Die übrigen Emissionen entwickeln sich zum Teil schon im Globalisierungs-Szenario – erst recht im Modernisierungs-Szenario – in die richtige Richtung.

## 6. Ausblick auf die nächsten Arbeitsschritte

- Bis zum Sommer 2001 wird die Bestandsanalyse im Aktivitätsfeld Mobilität bis auf einige Aspekte abgeschlossen sein.
- Die Szenarien werden im weiteren Verlauf des Projekts konkretisiert, Nachhaltigkeitslücken festgestellt und entsprechende Strategien entwickelt. Erste Szenarioergebnisse werden bis Herbst 2001 vorliegen und auf einem Workshop zur Diskussion gestellt. Die Ergebnisse der Workshopdiskussion und weitere Expertenmeinungen werden in das Projekt eingearbeitet.
- Nachhaltigkeitspotenziale im Bereich der Luftfahrt und der IuK-Technologien werden zur Zeit untersucht. Die Ergebnisse fließen sukzessive in das Projekt ein.
- Für ausgewählte Aspekte (Sicherheitsprobleme im Verkehr, soziale Indikatoren im Verkehr) werden Expertisen in Auftrag gegeben. Eine Studie zum Verkehrslärm wird bis Herbst 2001 erstellt.
- Ein Entwurf für den Gesamtbericht ist bis zum Frühjahr 2002 geplant.

## 7. Literatur

*Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)*, 1999: Verkehr in Zahlen. 28. Jahrgang. Deutscher Verkehrs-Verlag. Hamburg.

*Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)*, 2000: Verkehrsbericht 2000. Integrierte Verkehrspolitik: Unser Konzept für eine mobile Zukunft. <http://www.bmvbw.de>.

*Carpetis, C.*, 2000: Globale Umweltvorteile bei Nutzung von Elektroantrieben (mit Brennstoffzellen und/oder Batterien) im Vergleich zu Antrieben mit Verbrennungsmotor. STB-Bericht Nr. 22; DLR-IB-200044417400. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart.

*Deutsche Shell AG (Hrsg.)*, 1999: Mehr Autos - weniger Emissionen. Szenarien des Pkw-Bestands und der Neuzulassungen in Deutschland bis zum Jahr 2020. Hamburg.

*Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW)*, Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), 1998: Energie-Effizienz-Indikatoren: Statistische Grundlagen, theoretische Fundierung und Orientierungsbasis für die politische Praxis. Abschlußbericht. Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Wirtschaft Nr. 23/97. Berlin und Karlsruhe.

*Ernst Basler+Partner AG*, 1998: Nachhaltigkeit. Kriterien im Verkehr. Berichte des Nationalen Forschungsprogramms NFP 41 "Verkehr und Umwelt". Eidg. Drucksachen- und Materialienzentrale (EDMZ). Bern.

*Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)*, 1999: Innovationsprozess vom Verbrennungsmotor zur Brennstoffzelle. Symposium zum Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. Stuttgart, 27. 09. 1999.

*Hans-Böckler-Stiftung (Hrsg.)*, 2000: Wege in eine nachhaltige Zukunft. Ergebnisse aus dem Verbundprojekt Arbeit und Ökologie. Bund-Verlag. Frankfurt/Main.

*Hautzinger, H., Heidemann, D., Krämer, B.*, 1996: Inländerfahrleistung 1993. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Mensch und Sicherheit. Heft M 61. Bergisch Gladbach.

*Keimel, H., Ortman, C., Pehnt, M.*, 2000: Nachhaltige Mobilität in einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung. TA-Datenbank-Nachrichten Nr. 4(2000), S. 43-50.

*Langniß, O. u. a.* 1997: Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung - Ein solares Langfristszenario für Deutschland. Workshop 12. 12. 1997. Forschungsverbund Sonnenenergie.

*Maibach, M. u. a.*, 1997: Umweltindikatoren im Verkehr. Kennziffern für einen ökologischen Vergleich der Verkehrsmittel. INFRAS. Zürich.

- Neumann, K.-H., Schindler, K.-P.*, 2000: Zukünftige Fahrzeugantriebe. VDI-Berichte 1565 "Innovative Fahrzeugantriebe". VDI-Verlag, Düsseldorf 2000, S. 3-22.
- Nitsch, J., Trieb, F.*, 2000: Potenziale und Perspektiven regenerativer Energieträger. Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)*, 1997: Towards Sustainable Transportation. Conference organised by the OECD hosted by the Government of Canada. Vancouver, British Columbia, 24 - 27 March 1996. OECD Proceedings. Paris.
- Pehnt, M.*, 2000a: Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen. Dissertation. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart
- Pehnt, M.*, 2000b: Ökobilanzen und Markteintritt von Brennstoffzellen im mobilen Einsatz. VDI-Konferenz Innovative Fahrzeugantriebe. VDI-Bericht 1565. Dresden.
- Pehnt, M.*, 2001: Ökologische Nachhaltigkeitspotenziale von Verkehrsmitteln und Kraftstoffen. Stuttgart. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Institut für Technische Thermodynamik. Stuttgart
- Prognos AG (Hrsg.)*, 2000: Energiereport III. Die langfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Schäffer-Poeschel. Stuttgart.
- Prognos AG*, 2001: Schlesinger, M.: Szenarienerstellung - soziodemografische und ökonomische Rahmendaten. Zwischenbericht für die Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung" des Deutschen Bundestages. Basel.
- Quaschnig, V.*, 1999: Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. Habilitationsschrift. Technische Universität Berlin.
- Schweimer, G. W.*, 1999: Sachbilanz des 3 Liter Lupo. Volkswagen AG. Wolfsburg.
- Seiffert, U.*, 1998: Vergleich zukünftiger Fahrzeugantriebe bezüglich ihrer Umweltverträglichkeit inklusive der CO<sub>2</sub>-Emissionen. MTZ Motortechnische Zeitung. Sonderheft 60 Jahre MTZ, S. 34-37.
- Statistisches Bundesamt* 1998: Umweltökonomische Gesamtrechnung - Material- und Energieflußrechnungen 1997. Fachserie 19. Reihe 5. Metzler-Poeschel. Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt* 2000: Umweltökonomische Gesamtrechnung - Material- und Energieflussrechnungen 1999. Fachserie 19. Reihe 5. Metzler-Poeschel. Stuttgart.
- Walter, F.*, 1999: Zwischenhalt auf dem Weg zum nachhaltigen Verkehr. Gaia 8 (1999), S. 93-101.
- Weiss, M. A. u. a.*, 2000: On the Road in 2020. A life-cycle Analysis of New Automobile Technologies. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge.



## V. Arbeitspaket

### **Aktivitätsfeld »Bauen und Wohnen«**

**J. Jörissen, V. Stelzer**

Forschungszentrum Karlsruhe,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse



Dem Bereich Bauen und Wohnen kommt für die Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung eine herausragende Bedeutung zu. In keinem anderen Aktivitätsfeld wird das komplexe Beziehungsgeflecht zwischen ökologischen, ökonomischen, sozialen und institutionellen Aspekten so offensichtlich. Wohnen ist ein Grundbedürfnis und zugleich Bestandteil der Kultur. In der Art des Wohnens spiegeln sich unterschiedliche Lebensformen, Traditionen, soziale Strukturen, Arbeits- und Konsumgewohnheiten wieder. Nirgends zeigen sich aber auch die Wechselwirkungen zwischen Lebensstilen und Umweltbeeinflussung deutlicher als hier (vgl. dazu *Enquete-Kommission* 1998, S. 126).

Angesichts der zentralen Funktion, die dem Bereich Bauen und Wohnen in der nationalen und internationalen Debatte zugemessen wird, ist die Operationalisierung des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung im Vergleich zu anderen Aktivitätsfeldern weit fortgeschritten. Neben wissenschaftlichen Studien und politischen Absichtserklärungen und Vereinbarungen gibt es hier auch zahlreiche Initiativen zur konkreten Umsetzung in der kommunalen Praxis sowie Forschungs- und Förderprogramme, die diese Umsetzung erleichtern sollen. Das HGF-Projekt kann daher auf den zahlreichen schon vorliegenden Arbeiten aufbauen und sich schwerpunktmäßig solchen Fragestellungen widmen, die bisher noch wenig behandelt worden sind.

Im Mittelpunkt der Untersuchung wird einerseits die Prüfung stehen, inwieweit Zielkonflikte zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitsforderungen auftreten und andererseits die Frage, welchen Beitrag die Nutzung technischer und organisatorischer Effizienzpotentiale zur Lösung solcher Zielkonflikte leisten können. Schließlich soll untersucht werden, mit Hilfe welcher Instrumente die Zielvorgaben einer nachhaltigen Entwicklung im Bereich Bauen und Wohnen umgesetzt werden könnten.

## **1. Problemanalyse**

Eine Analyse der Probleme im „Bereich Bauen und Wohnen“ muss den Blick vor allem auf die städtische Entwicklung richten. In Deutschland leben derzeit rund 80 % der Bevölkerung in Städten, in den Industriestaaten insgesamt rund 75 %, weltweit 45 %, mit vor allem in den Entwicklungsländern stark steigender Tendenz. In den Städten konzentrieren sich die Güterproduktion, die Dienstleistungen, die Energie- und Stoffumsätze, die intensive Flächennutzung, die Verkehrsleistungen, der Bevölkerungszuwachs und die Wohnungsnachfrage. Aufgrund der hohen Konzentration werden die negativen Auswirkungen ressourcenverbrauchender und umweltbelastender Lebensstile und Wirtschaftsformen hier am ehesten deutlich. Zunehmend tragen die Ballungsgebiete nicht nur die Verantwortung für ihre jeweilige lokale Umweltsituation, sondern auch für die Verschärfung der globalen ökologischen Probleme. Auf der anderen Seite bietet die Stadt gerade wegen der hohen Konzentration von Menschen auf relativ engem Raum prinzipiell die Chance zur Realisierung der größtmöglichen Ressourceneffizienz. Die Entwicklung der Städte spielt daher eine Schlüsselrolle für die Umsetzung einer global zukunftsfähigen Entwicklung (vgl. dazu *BfLR* 1996; *Hall/Pfeiffer* 2000).

### **1.1 Die ökologische Situation**

Im Hinblick auf die ökologischen Probleme im Bereich „Bauen und Wohnen“ ist zwischen der stofflichen Komponente (Energie- und Materialverbrauch, Schadstoffemission, Abfallaufkommen) und der räumlichen Komponente (siedlungsstrukturelle Entwicklung, Flächennutzung, Landschaftsverbrauch) zu unterscheiden. Die aktuelle Situation lässt sich anhand folgender Zahlen und Fakten verdeutlichen:

Allein der Wohnungsneubau (Baustoffherstellung und Baugewerbe) nimmt pro Jahr rund 5% des Primärenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland in Anspruch. Der Energieverbrauch während der Nutzungsphase der Gebäude ist deutlich höher, er beansprucht ein Drittel des gesamten Primärenergieeinsatzes, wobei 90% für die Raumheizung benötigt werden. Vor allem dem Trend zu größeren Wohnflächen und freistehenden Häusern ist es zu verdanken, dass der Energieverbrauch der privaten Haushalte trotz besserer Heiz- und Dämmtechniken in den letzten 20 Jahren nicht zurückgegangen ist (*Enquete-Kommission 1998, S. 144*).

Die Emission von Luftschadstoffen durch den Bausektor (Hochbau, Tiefbau, Ausbau) und die Nutzung der Gebäude (einschließlich Heizung) beträgt bei SO<sub>2</sub> etwa 27 %, bei NO<sub>x</sub> etwa 17 %, bei CO etwa 14 % und bei CO<sub>2</sub> etwa 33 % der Gesamtemission der Bundesrepublik Deutschland, wobei der größte Anteil der Emissionen auf die Nutzungsphase entfällt.

Im Jahre 1991 wurden für den Bereich „Hochbau und Ausbau“ ca. 350 Mio. Tonnen an mineralischen Rohstoffen der Natur entnommen. Dies sind etwa 20 % des gesamten durch die deutsche Volkswirtschaft ausgelösten Verbrauchs an mineralischen Rohstoffen. Ein etwa gleich hoher Anteil entfällt auf die Tätigkeiten des Tiefbaus. Für die Bautätigkeit insgesamt (Hochbau, Tiefbau und Ausbau) erfolgt damit der mit Abstand größte Anteil der Ressourcenentnahme an mineralischen Rohstoffen im Inland ( ca. 80 % bezogen auf die alten Bundesländer im Jahre 1990). An biotischen Rohstoffen wurden für den Bereich „Hochbau und Ausbau“ 16 Mio. Tonnen in Anspruch genommen (vgl. *Kohler/ Hassler/ Paschen 1999*)

Spiegelbildlich zu seinem hohen Rohstoffverbrauch spielt der Bausektor auch in der Entsorgung eine dominierende Rolle: Fast die Hälfte des gesamten Abfallaufkommens in der Bundesrepublik Deutschland setzt sich aus baubedingten Abfällen zusammen. Dazu gehören Erdaushub, Straßenaufbruch, Bauschutt und Baustellenabfälle, wobei Erdaushub mengenmäßig die größte Fraktion darstellt, Baustellenabfälle aufgrund ihrer heterogenen Zusammensetzung die problematischste. Jährlich fallen ungefähr 30 Mio. Tonnen Bauschutt an. Dabei handelt es sich um mineralische Bestandteile aus dem Abriss alter Gebäude, während Fenster, Türen, metallische Rohre und ähnliches ausgenommen sind. Dieses im Vergleich zu dem hohen jährlichen Input an mineralischen Rohstoffen eher geringe Bauschutt aufkommen macht deutlich, dass Neubau und Abriss keineswegs ausgeglichen sind. Das Stofflager „Gebäudebestand“ und damit auch das auf künftige Generationen zukommende Entsorgungsproblem wird somit durch die Bautätigkeit permanent vergrößert (*Kohler/Hassler/Paschen 1999*).

Das bisher vorherrschende städtebauliche Leitbild der „Funktionstrennung“ hat zu einem zunehmenden räumlichen Auseinanderfallen der Standorte für Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Dienstleistungen geführt. Der zunehmende Siedlungsdruck verstärkt den anhaltenden Suburbanisierungsprozess und hat eine stetige Ausdehnung der Siedlungsfläche in das weitere Umland der Agglomerationen zur Folge. Das Ergebnis dieser siedlungsstrukturellen Entwicklung ist neben dem Flächenverbrauch ein Verlust städtischer Erlebnisvielfalt und ein ständiges Anwachsen des Verkehrsaufkommens.

Die Siedlungsfläche hat sich seit dem zweiten Weltkrieg verdoppelt, d.h. in den letzten 40 Jahren wurde ebenso viel Fläche für Siedlungszwecke verbraucht wie in der viertausendjährigen Siedlungsgeschichte zuvor (*Beierlorzer/Ganser 1994*). Täglich werden 100-120 Hektar Freifläche für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Anspruch genommen, von der fast die Hälfte versiegelt wird. In den größeren Städten umfasst der Anteil der Verkehrsfläche an der Gesamtfläche 15-20 %. Der Wohnflächenverbrauch pro Einwohner hat sich in den letzten fünfzig Jahren fast verdreifacht: 1950 standen jedem Einwohner im Durchschnitt 14 qm Wohnflächen zur Verfügung, 1970 waren es 24 qm, 1985 lag der Wert bei 36 qm und 1993 ist die Wohnfläche auf mehr als 40 qm pro Einwohner in den alten Ländern angewachsen

(BfLR 1996, S. 24). Ebenso stetig nimmt der Flächenbedarf pro Arbeitsplatz in der gewerblichen Wirtschaft und in den Bereichen Handel und Dienstleistung zu.

Die zunehmende Zersiedlung der Stadtländers führt zu einer Abnahme von ökologischen Ausgleichsflächen für den Klima- und Wasserhaushalt, zu einer Zerstörung der natürlichen Lebensräume und ihrer Artenvorkommen und zu weiterer Bodenversiegelung mit der Folge eingeschränkter Grundwasserneubildung. Der Anteil unzerschnittener Flächen einer bestimmten Größenordnung an der Gesamtfläche nimmt ständig ab.

Die Bundesrepublik Deutschland ist ein wasserreiches Land. Es wird nur etwa ein Drittel der durch Niederschläge und Zuflüsse aus anderen Ländern neu gebildeten Wasserressourcen entnommen. Dennoch ist der Wasserhaushalt in einzelnen Regionen, insbesondere in den städtischen Agglomerationsräumen (z.B. Großraum Berlin und Frankfurt), bereits erheblich übernutzt.

## 1.2 Die soziale und ökonomische Situation

Die zunehmende Wohnungsnot stellt global gesehen eines der drängendsten sozialen Probleme überhaupt dar. Nach WHO-Schätzungen sind weltweit rund eine Milliarde Menschen obdachlos oder müssen in unwürdigen Verhältnissen leben. In den Industriestaaten sind von diesem Schicksal immerhin 20 Mio. Menschen betroffen, innerhalb der EU zwischen 2.5 und 5 Mio. und in Deutschland mehr als 1 Mio., 70 % davon sind jünger als 20 Jahre. Auf der anderen Seite hat eine kürzlich vom WZB vorgelegte umfangreiche Analyse der Wohnsituation in Deutschland<sup>27</sup> ergeben, dass die Deutschen in Ost und West mit ihrer Wohnungsversorgung überdurchschnittlich zufrieden sind. Aufgrund der Tatsache, dass heute in erster Linie die geburtenschwachen Jahrgänge der späten 60er und frühen 70er Jahre als Nachfrager auf dem Wohnungsmarkt in Erscheinung treten und wegen der eher rückläufigen Zuwanderungsrate ausländischer Haushalte, ist das Verhältnis von Angebot und Nachfrage auf dem Wohnungsmarkt quantitativ relativ ausgeglichen.<sup>28</sup> Es fehlen jedoch nach wie vor preiswerte Wohnungen für Familien, insbesondere in den Innenstädten (vgl. *WZB-Mitteilungen* 87, März 2000). Durch den wachsenden Bestand an modernisierten, attraktiven und hochwertigen Altbauten ist das Angebot an bezahlbarem Wohnraum für einkommensschwächere Schichten knapper geworden; obere Einkommensgruppen eignen sich Teile der Innenstädte wieder an (*Schäfer/Schön* 2000, S. 141). Betroffen von diesem Verdrängungswettbewerb sind vor allem Familien mit Kindern, Alleinerziehende, ältere Personen, Zuwanderer sowie die wachsende Zahl von (Langzeit) Arbeitslosen.

Das Angebot an preisgünstigem Wohnraum beschränkt sich meist auf sanierungsbedürftige Altbauquartiere in Innenstädten, die überwiegend im Besitz der Kommunen sind, auf Siedlungen des sozialen Wohnungsbaus und ehemalige Arbeiterquartiere. Diese Wohnungen werden überproportional von sozi-

---

<sup>27</sup> W. Hinrichs: Entwicklung der Wohnverhältnisse in Ost- und Westdeutschland in den neunziger Jahren, November 1999

<sup>28</sup> Die Feststellung eines relativ ausgeglichen Angebots- Nachfrageverhältnisses gilt für Deutschland insgesamt. Betrachtet man Ost- und Westdeutschland separat, ergibt sich ein differenzierteres Bild: Während in Westdeutschland 100 Haushalten 98 Wohnungen zur Verfügung stehen, entfallen in Ostdeutschland auf 100 Haushalte 107 Wohnungen (Quelle: Statistisches Bundesamt, Mikrozensus 1998). In den neuen Bundesländern stehen rund eine Million Wohnungen leer, das sind 13 % des gesamten Bestandes. Ca. 400.000 Wohnungen waren schon 1990 unbewohnbar und verfielen. Durch Neubau und Sanierung hat sich die Zahl der leerstehenden Wohnungen trotz der gestiegenen Zahl der Haushalte mehr als verdoppelt. Nur gut die Hälfte des gesamten Leerstandes wird noch am Markt angeboten (vgl. Abschlußbericht der Expertenkommission "Wohnungswirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern", Herbst 2000).

al benachteiligten Bevölkerungsgruppen genutzt. Mit der räumlichen Konzentration einkommensschwacher Haushalte ist die Tendenz zu sozialer Segregation und Ghettobildung verbunden.

Im Vergleich zu anderen Ländern der EU ist der Anteil des Einkommens, der für das Wohnen ausgegeben wird, in Deutschland relativ hoch. 1960 mussten die westdeutschen Haushalte rund 10 % ihres Einkommens für die Wohnungsmiete aufwenden, bis 1998 stieg dieser Anteil auf rund 25 % . Die Kostenentwicklung ist einerseits auf eine Zunahme der kommunalen Gebühren und andererseits auf eine Erhöhung der Nettomieten zurückzuführen. Knapp 10 % aller Haushalte in Deutschland können die finanzielle Belastung des Wohnens nicht aus eigener wirtschaftlicher Kraft tragen. Besonders problematisch ist die Entwicklung in Ostdeutschland, wo die Angleichung der Mieten an das westdeutsche Niveau seit Jahren schneller verläuft als die Angleichung der Haushaltsnettoeinkommen (*WZB-Mitteilungen* 87, 2000)

Die letzten Jahre sind durch einen stetigen und signifikanten Rückgang der Beschäftigung im Baugewerbe gekennzeichnet, bedingt durch Rationalisierungseffekte, konjunkturelle Einbrüche, Konkurrenz ausländischer Firmen und Schwarzarbeit. Die künftige Entwicklung der Beschäftigung im Bausektor wird nicht zuletzt von der Prioritätensetzung in der staatlichen Wohnungspolitik (Verschärfung der Wärmeschutzverordnung; Umbau im Bestand versus Neubau, ökologische versus konventionelle Bauformen) abhängen.

### 1.3 Erkennbare Trends

Ausgehend von der heutigen Situation zeichnen sich für die Zukunft folgende problematische Trends ab:

- Solange eine vornehmlich neubauorientierte Wohnungspolitik verfolgt wird, werden die großen Massenströme im Sektor Bauen und Wohnen weiterhin auf einem hohen Niveau verharren. Sie sind mit hohen Schadstoffemissionen, hohem Energieverbrauch, erheblichen Eingriffen in Natur und Landschaft verbunden. Sie tragen durch die energieverbrauchsbedingte Emission von CO<sub>2</sub> und durch Flächennutzungsänderungen zum Problem der globalen Klimaveränderung und zur Zerstörung wertvoller Ökosysteme bei.
- Die durchschnittliche Lebenserwartung neuer Baukonstruktionen sinkt. Dies beeinträchtigt die Haltbarkeit der Gesamtobjekte, was eine Beschleunigung der Sanierungszyklen zur Folge hat.
- Nur rund 10 % der im Bauwesen eingesetzten Materialien werden zur Zeit wiederverwendet. Der Grund dafür ist vor allem in der Kontamination großer Mengen unbelasteter Stoffe durch kleine Mengen von Schadstoffen (Chemikalien, Teer, Asbest etc.) zu suchen, die die Verwertbarkeit insgesamt in Frage stellen. Bauschutt wird daher, obwohl er im wesentlichen aus mineralischen Stoffen wie Mauerwerk, Ziegelbruch und Beton besteht, und somit einem hochwertigen Recycling zugeführt werden könnte, derzeit überwiegend deponiert oder für niederwertige Nutzungen wie Lärmschutzwände, Hinterfüllungen, ungebundene Tragschichten im Straßen- und Wegebau eingesetzt („Down-cycling“).
- Die heutigen Recyclingverfahren sind häufig sehr energieintensiv und nicht mehrmals wiederholbar. Eine Erhöhung der Recyclingraten nach dem gegenwärtigen Stand der Technik führt daher u.U. zu einer negativen Gesamtbilanz; zudem besteht die Gefahr einer Verschleppung von Schadstoffen.
- Die Menge toxischer und potentiell gefährlicher Stoffe im Bestand nimmt zu. Bei der überwiegenden Menge der heute im Bau eingesetzten Produkte handelt es sich um komplexe Vielstoffgemische, in denen zum Teil in beträchtlichen Mengen Schwermetalle, organische Lösemittel, Formaldehyd, Benzol, Toluol und andere polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten sind. Dies gilt für die im Neubau wie bei der Sanierung von Altbauten eingesetzten Produkte in gleichem Ma-

ße. Der Einfluss dieser modernen Baustoffe auf die chemische Zusammensetzung des Bauschutts wird sich langfristig verstärken und damit die Verwertungsproblematik verschärfen.

- Der Energieverbrauch ist zwar pro Flächeneinheit zurückgegangen, insgesamt aber infolge der absoluten Zunahme von Wohn- und Nutzfläche nahezu gleichbleibend. Wegen der langen Umsetzungszeiträume von verschärften Wärmeschutzanforderungen, insbesondere, was den Altbestand anbetrifft, kann eine wesentliche Senkung des Verbrauchs allenfalls langfristig erwartet werden.
- Der Trend zur Suburbanisierung und damit zur Ausdehnung der Siedlungsfläche in das Umland hält ungebrochen an, mit dem Resultat, dass Flächenverbrauch, Versiegelung, Zerschneidungseffekte und Biotopverluste weiter zunehmen werden. Nach Schätzungen der BfLR ergibt sich bis zum Jahr 2010 eine zusätzliche Nachfrage von 5.4 Mio. Wohneinheiten, davon ca. 60 % im besonders flächenintensiven Ein- und Zweifamilienhaussektor. Dies hätte einen zusätzlichen Wohnbaulandbedarf von 3.700 km<sup>2</sup> zur Folge.
- Die Tendenz zur Zunahme der Wohnfläche pro Kopf und zur Verminderung der Haushaltsgrößen hält an.
- Das Defizit in der Wohnungsversorgung, insbesondere im Hinblick auf die wachsende Zahl von Langzeitarbeitslosen aber auch für andere sozial benachteiligte Gruppen wie kinderreiche Familien, Alleinerziehende und Zuwanderer nimmt zu. Vielerorts besteht die Gefahr von sozialer Segregation und Ghettobildung.
- Das Niveau der Bau- und Bodenpreise vor allem in den Kerngebieten der Ballungsräume ist nach wie vor sehr hoch, wodurch der Druck auf das Umland verstärkt und die eigentlich erwünschte Rückkehr der Wohnnutzung in die Innenstädte verhindert wird.

## **2. Kriterien und Ziele einer nachhaltigen Bau- und Siedlungspolitik**

Die Formulierung von Kriterien und Zielen müssen an den oben dargestellten Trends anknüpfen, die einer nachhaltigen Bau- und Siedlungspolitik zuwiderlaufen. Dabei ergeben sich drei verschiedene Ansatzpunkte: Zum ersten geht es um eine Optimierung des Ressourceneinsatzes im Bereich Bauen und Wohnen, zum zweiten geht es um eine Korrektur der siedlungsstrukturellen Entwicklung, wobei der Forderung nach einer haushälterischen Bodenpolitik zentrale Bedeutung zukommt, und zum dritten geht es darum, die sozio-kulturellen Rahmenbedingungen des Wohnens zu verbessern und damit die Lebensqualität zu erhöhen.

Neben diesen drei eher materiellen Zielkategorien wird in den meisten Plänen, Programmen und Studien eine vierte thematisiert, bei der es um die Entwicklung einer dem Leitbild der Nachhaltigkeit angemessene „Planungskultur“ geht. Gefordert wird eine Erhöhung von Demokratie und Selbststeuerung durch Einbeziehung aller relevanten Akteure in den Planungsprozess und eine systematische Stärkung von deren Selbstverantwortung und Handlungskompetenz. Aus dem ganzheitlich-integrativen Anspruch des Nachhaltigkeitskonzepts wird weiterhin die Forderung nach Überwindung der Fragmentierung sektoraler Fachplanungen und nach stärkerer Integration verschiedener räumlicher Planungsebenen abgeleitet.

Diese Forderungen nach „Partizipation“ und „integrierter Gesamtplanung“ sind aus planungstheoretischer Sicht nicht neu, gewinnen aber im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte einen qualitativ anderen Charakter (vgl. dazu ausführlich *Kühn/Moss* 1998 S. 233 ff.; *Heil* 2000). Während die Idee einer integrierten Gesamtplanung in der Planungsdebatte der 60er und 70er Jahre von einem umfassenden staatlichen Steuerungsanspruch und dem ungebrochenen Glauben an eine hierarchische Plan- und Steu-

erbarkeit der räumlichen, wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung von Städten und Regionen ausging, dominiert heute die Vorstellung einer Steuerung „von unten“ im Sinne einer stärkeren Selbststeuerung, da nur sie Gewähr dafür bietet, dass Planungsziele auch umgesetzt werden (vgl. BfLR 1996, S. 130). Die erkennbare Priorisierung der „bottom-up“-Ansätze verkennt jedoch, dass diese u.U., strukturell zu begrenzt sind, um das Leitbild der Nachhaltigkeit, das selbst aus einem „top-down“-Ansatz entstanden ist, umzusetzen. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass eine Nachhaltigkeitsstrategie nur erfolgreich sein wird, wenn es ihr gelingt, beide Steuerungsrichtungen zu verbinden

Die Forderung nach demokratischer Teilhabe aller gesellschaftlichen Gruppen an den Planungs- und Entscheidungsprozessen zieht sich wie ein roter Faden durch alle wesentlichen Dokumente zur nachhaltigen Entwicklung. Dieser Forderung liegt ein Verständnis von Partizipation zugrunde, das über den traditionellen Beteiligungsbegriff in der Planung weit hinausgeht. Während die klassische Bürgerbeteiligung auf die Teilnahme an einem Informations- und Erörterungsverfahren im Rahmen eines administrativen Entscheidungsverfahrens beschränkt war, richtet sich der Anspruch auf Partizipation im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte auf eine aktive und stetige Beteiligung aller betroffenen Akteure am Planungsprozess.

Die geforderte Integration ökologischer, ökonomischer und sozialer Belange setzt eine ausreichende Kommunikation zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen sowie die Fähigkeit zu Konsensbildung und Konfliktregulierung voraus. Nach Auffassung vieler Sozial- und Planungswissenschaftler reichen die vorhandenen ordnungsrechtlichen und planerischen Instrumente zur Konfliktlösung dafür nicht aus. Gefordert werden daher alternative Verfahren wie verhandlungsgestützte Moderations- bzw. Mediationsverfahren, „Runde Tische“ und andere diskursive Planungsverfahren. Ziel ist die Suche nach unausgeschöpften Konsens-Potentialen und „win-win-Lösungen“ zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Forderungen. Auch die verstärkte Nutzung solcher kooperativer Verfahren stößt jedoch an strukturelle Grenzen und muss durch entsprechende hierarchische Steuerungsinstrumente flankiert werden, wenn das Leitbild der Nachhaltigkeit nicht zu einer in alle Richtungen beliebig interpretierbaren Leerformel degradiert werden soll (vgl. Kühn/Moss 1998, S. 250).

Im folgenden werden die in den verschiedenen Plänen, Programmen und Studien<sup>29</sup> häufig genannten Ziele einer nachhaltigen Entwicklung im Bereich „Bauen und Wohnen“ vier Zielkategorien übersichtsrartig zugeordnet<sup>30</sup>:

### ***I. Optimierung des Ressourceneinsatzes***

- Reduktion des Rohstoffinputs im Bausektor;
- Sicherung, Instandhaltung und Aufwertung der bestehenden Wohnbausubstanz;
- Möglichst weitgehende Umnutzung des vorhandenen Gebäudebestands anstelle von Neubau;
- Wiedernutzung leerstehender Gebäude;

---

<sup>29</sup> Für diese Synopse von Zielvorstellungen einer nachhaltigen Bau- und Siedlungspolitik wurden u.a. die folgenden Dokumente ausgewertet: Agenda 21, Kap.7; Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Siedlungsentwicklung (HABITAT II); Weltbericht zur Zukunft der Städte; BfLR: Nachhaltige Stadtentwicklung; Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages; IÖW: Bewertung der räumlichen Entwicklung und Planung im Licht der Anforderungen der Agenda 21; Schäfer/ Schön: Nachhaltigkeit als Projekt der Moderne.

<sup>30</sup> Ziele und Kriterien einer nachhaltigen Verkehrspolitik werden dabei nicht berücksichtigt, das sie im HGF-Projekt Gegenstand des Aktivitätsfeldes „Mobilität“ sind.

- Gezielter Rückbau;
- Erhöhung der Wiederverwendungsrate schon genutzter Bauteile;
- Recycling von Baurestmassen auf hohem Niveau (sortenreine Trennung der verschiedenen Fraktionen, Verbesserung der Aufbereitungstechniken);
- Schließung von Stoffkreisläufen bei Baumaterialien;
- Entwicklung und Verwendung von human- und ökotoxikologisch unbedenklichen, langlebigen, trennbaren und wiederverwertbarer Baumaterialien;
- Entwicklung von dauerhaften und reparaturfreundlichen Baukonstruktionen
- Verstärkte Nutzung nachwachsender Rohstoffe;
- Verstärkte Nutzung regionaler Ressourcen;
- Reduktion des Verbrauchs nicht erneuerbarer Energieträger;
- Verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien;
- Reduktion der Emissionen und des Abfallaufkommens
- Orientierung der Wasserentnahme an den spezifischen Bedingungen der jeweiligen Wassereinzugsregionen.

## ***II. Raum- und Siedlungsentwicklung***

- sparsamer Umgang mit Grund und Boden;
- optimale räumliche Zuordnung und Mischung von Nutzungen;
- Vorrang der Wiedernutzung von gewerblichen Brach- und Konversionsflächen vor der Neuinanspruchnahme von Freiflächen;
- Sanierung von Altstandorten;
- Nachverdichtung in Wohngebieten
- Schließung von Baulücken;
- Ausschöpfung der Ausbaupotentiale im Bestand (Ausbau von Dachgeschossen, Aufstockung bestehender Gebäude);
- Förderung des „kosten- und flächensparenden Bauens“;
- Dezentrale Konzentration der Neubautätigkeit;
- Kompensation der durch Siedlungserweiterungen entstandenen Freiflächenverluste durch quantitative und qualitative Ausgleichsmaßnahmen;
- Wahl von Bau- und Erschließungsformen, die die Bodenprofile nicht zerstören und die Abflussverhältnisse nicht verändern;

## ***III. Sozio-kulturelle Rahmenbedingungen des Wohnens***

- Vermeidung einseitiger Siedlungs- und Sozialstrukturen durch soziale Mischung in den Wohnquartieren;
- Erhöhung der Attraktivität und Nutzbarkeit öffentlicher Räume (Straßen, Plätze Grünanlagen);

- Steigerung der Erlebnisvielfalt durch räumliche Integration städtischer Funktionen wie Wohnen, Arbeiten, Freizeit und Versorgung;
- Schaffung und Sicherung von bezahlbarem Wohnraum für alle Bevölkerungsgruppen;
- Berücksichtigung der Lebensinteressen unterschiedlicher Nutzer und sozialer Gruppen;
- Differenziertes Angebot unterschiedlicher Wohnformen und Grundrisstypen;
- „Gesundes Wohnen“ außerhalb und innerhalb der Wohnung;
- Wohnungsnahe Versorgung mit sozialen Einrichtungen;
- Förderung neuer Wohnformen;
- Erhaltung des historischen städtebaulichen Erbes;

#### ***IV. Entwicklung einer neuen Planungskultur***

- Partizipation aller gesellschaftlichen Gruppen an kommunalen Entscheidungsprozessen;
- Gleichstellung von Frauen und Männern in allen Planungs- und Entscheidungsprozessen;
- Förderung dezentraler, selbstverwalteter Planungs- und Entscheidungsstrukturen (Subsidiarität);
- Erhöhung der lokalen und regionalen Handlungs- und Problemlösungskompetenzen;
- Verstärkung des Akteursbezugs;
- Konfliktregelung durch Konsensbildung;
- Förderung der organisierten Selbsthilfe;
- Bildung regionaler Netzwerke;
- Erarbeitung sektorübergreifender regionaler Entwicklungskonzepte;

### **3. Instrumente zur Realisierung einer nachhaltigen Bau- und Siedlungspolitik**

Nach der vorherrschenden Meinung unter den Experten ist eine grundlegende Reform des gesamten Wohnungsbaurechts nötig, um den gewandelten ökonomischen, sozialen, ökologischen und fiskalischen Bedingungen gerecht zu werden (Difu-Bericht 1/ 2000). Die bisher praktizierte Wohnungspolitik basiert auf sich zum Teil widersprechenden Zielen und ist mit den Forderungen einer nachhaltigen Bau- und Siedlungspolitik nicht in Einklang zu bringen (vgl. dazu *Enquete-Kommission* 1998, S. 160 ff; *Schäfer/Schön* 2000, S. 142 ff.)

Ein wichtiges Potential einer nachhaltigen Stadtentwicklung wird in Erhalt und Pflege des Gebäudebestands gesehen. Der Anteil der Bestandsinvestitionen ist jedoch heute, nachdem er Mitte der 80er Jahre aufgrund steuerlicher Begünstigungen von Modernisierungs- und Erneuerungsinvestitionen auf über 50 % angestiegen war, wieder rückläufig. Ursachen dafür werden nicht nur in den ökonomischen Rahmenbedingungen gesehen, sondern auch in dem erhöhten organisatorischen Aufwand, den schwer kalkulierbaren Risiken, der geringen Bereitschaft der Bauwirtschaft, Innovationen für den Sanierungsbereich zu entwickeln sowie in der traditionellen Ausrichtung der Fachkultur auf den Wohnungsneubau. Sowohl die Berufsausbildung und die entsprechenden Standardwerke als auch die Gewährleistungsregelungen, die Regelungen für die einzelnen Gewerke und nicht zuletzt die Honorarordnung für Architekten stellen

weitgehend auf Neubaumaßnahmen ab und erschweren und verteuern Modernisierungs- und Instandsetzungsmaßnahmen erheblich.

Als Folge von Gewährleistungsregelungen und Honorarordnung ziehen Architekten häufig standardisierte und stark überdimensionierte Auslegungswerte einer dem Einzelfall konkret angepassten Auslegung z. B. im Hinblick auf Heizanlagen vor.

Die mangelnde Innovationsbereitschaft von Bauträgern, Architekten und Behörden stellt ein zentrales Hemmnis für die Einführung und Verbreitung innovativer Wohnkonzepte dar. Vorrangiges Ziel von Eigentümern und Investoren ist die Vermietbarkeit und dauerhafte Wertbeständigkeit ihrer Immobilien, so daß am Bewährten festgehalten wird, um unnötige Risiken zu vermeiden werden. Da in der Wohnungsbauplanung keine Beteiligung der Nutzer vorgesehen ist, müssen Innovationen mühsam in Einzelaktivitäten erkämpft werden.

Dem in der Nachhaltigkeitsdebatte unbestrittenen Ziel einer stärkeren Mischung städtischer Funktionen stehen immissionsschutzrechtliche und nachbarschaftsrechtliche Bestimmungen entgegen. Eine Rückkehr der Wohnnutzung in die Kernstädte wird zudem durch das hohe Boden- und Mietpreisniveau verhindert.

Zur Beseitigung der hier nur kurz skizzierten Hemmnisse einer nachhaltigen Bau- und Siedlungspolitik wird eine grundlegende Reform der staatlichen Rahmenbedingungen gefordert, die sowohl die Schaffung neuer als auch die Änderung bekannter bzw. die Abschaffung überholter Regelungen beinhalten müsste.

Am ausführlichsten hat sich bisher die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages mit der notwendigen Veränderung des ökonomischen, fiskalischen und planerischen Instrumentariums befasst. Im Vordergrund müssten ihrer Auffassung nach eine Reform der Grundsteuer, eine Versiegelungsabgabe, die weitere Umorientierung der Wohnungsbauförderung auf den Bestand und auf ökologische Bauformen, eine Änderung der Honorarordnung für Architekten, eine Stärkung der Regionalplanung sowie allgemeine Maßnahmen zur Verbesserung der Kooperation und der Information stehen. Dazu gehört beispielsweise auch die Einführung eines Gebäudepasses, der u.a. Auskunft über Energiekennzahlen gibt.

## **4. Arbeitsschritte im Rahmen des HGF-Projekts**

Im Anschluss an eine ausführliche Problemanalyse und Bestandsaufnahme vorhandener Ansätze zur Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung im Bereich „Bauen Wohnen“ sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen, mit denen zum Teil bereits begonnen wurde:

### **4.1 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs und Bilanzierung des Status quo**

Mit der Studie „Stoffströme und Kosten im Sektor Bauen und Wohnen“, die von ITAS und dem Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe im Auftrag der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages erstellt wurde, liegen schon wesentliche Vorarbeiten vor. Im Gegensatz zur der Studie für die Enquete-Kommission, die den Vorgaben entsprechend auf den Hoch- und Ausbau (einschließlich der Vorleistungen) beschränkt war, liegt dem Aktivitätsfeld „Bauen und Wohnen“ des Strategiefondsprojekts jedoch eine wesentliche breitere

Definition zugrunde. Sie umfasst neben dem Hoch- und Ausbau auch den Bereich Tiefbau und Infrastruktur, die Einrichtung von Gebäuden sowie die mit der Nutzung von Gebäuden verbundene Nachfrage (Energiebedarf, Wasserverbrauch, Müllentsorgung etc.). Die bereits vorliegenden Basisdatensätze mussten daher entsprechend der neuen Abgrenzung verändert und ergänzt werden. Diese methodischen Vorarbeiten sind inzwischen weitgehend abgeschlossen.

## **4.2 Formulierung von Nachhaltigkeitszielen für den Bereich Bauen und „Wohnen“**

Das HGF-Projekt folgt einem „top-down“-Ansatz: Ausgehend von dem Postulat der intra- und intergenerativen Gerechtigkeit wurden in Form von „Regeln“ Mindestbedingungen einer nachhaltigen Entwicklung formuliert, auf deren Gewährleistung alle Mitglieder der Weltgesellschaft einschließlich der kommenden Generationen einen moralischen Anspruch haben. Diese Mindestanforderungen sind inzwischen durch einen Satz von Indikatoren weiter operationalisiert worden.

Was die Formulierung spezifischer Ziele für den Bereich „Bauen und Wohnen“ anbetrifft, wird zunächst zu prüfen sein, inwieweit die aus dem integrativen Konzept („top-down“) abgeleiteten Ziele und Indikatoren kompatibel sind mit den Indikatoren und Zielsystemen, die in der Praxis bzw. in anderen Arbeiten zum Bereich „Bauen und Wohnen“ („bottom-up“) erarbeitet worden sind. Die bisher vorgenommene grobe Prüfung hat gezeigt, dass sich die in der Praxis aufgestellten Ziele im Großen und Ganzen problemlos den im HGF-Ansatz formulierten Regeln zuordnen lassen.

Im weiteren soll untersucht werden, inwieweit Zielkonflikte zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitsforderungen, insbesondere auch zwischen ökologischen Forderungen auftreten. Wie lässt sich z.B. die Forderung nach Nachverdichtung mit der Forderung nach Freiflächenschutz in Einklang bringen oder die Forderung nach einer Steuerung „von unten“ im Sinne einer verstärkten Selbststeuerung mit der Umsetzung globaler Ziele? Ist die Forderung nach Erhaltung des Bestands, wenn man etwa an die Trabantenstädte der 60er und 70er Jahre denkt, kompatibel mit der Forderung nach einer stärkeren Mischung städtischer Funktion oder nach Reduktion des Individualverkehrs? Die Analyse von Konfliktpotentialen zwischen verschiedenen Nachhaltigkeitsforderungen beinhaltet natürlich ebenso die Suche nach sog. „win-win-Lösungen“, also der gegenseitigen Verstärkung ökologischer, ökonomischer und sozialer Zielsetzungen. Ein Beispiel dafür ist die positive Korrelation zwischen der geforderten Intensivierung der Investitionstätigkeit im Bestand und der vermehrten Schaffung von Arbeitsplätzen im Bau-sektor (vgl. *Wochenbericht des DIW* 31/2000)

## **4.3 Entwicklung von Szenarien und Abschätzung von Nachhaltigkeitspotentialen**

In diesem Arbeitsschritt sollen die möglichen Beiträge sowohl technologischer als auch gesellschaftlicher, organisatorischer und institutioneller Innovationen zur Erreichung der Ziele einer nachhaltigen Entwicklung abgeschätzt und bewertet werden.

Wie die Problemanalyse gezeigt hat, trägt der Bereich Bauen und Wohnen in erheblichem Umfang sowohl zum Verbrauch von Ressourcen (Energie, Fläche, mineralische und biotische Rohstoffe) als auch zur Emission von Luftschadstoffen (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) bei. Im Hinblick auf die Abschätzung technologischer Innovationspotentiale wird daher die Erhöhung der ökologischen Effizienz im Hinblick auf den Ressourceneinsatz und die Emissionsminderung im Mittelpunkt der Betrachtung stehen. Das beinhaltet u.a. Auslotung der Möglichkeiten der Mikrosystemtechnik zur Energieeinsparung, Ausschöpfung der Effizienzpotentiale im Bereich der Heiz- und Energietechnik (Niedrigenergiestandard durch verbesserte Wärmedämmung, intensive Nutzung von Solartechnologien, Einsatz von Wärmetauschern, Brennstoff-

zellen, Kraft-Wärmekopplung etc.), Optimierung von Baustoffen im Hinblick auf Ressourcenverbrauch, Langlebigkeit und Wiederverwertbarkeit, Nutzung der Fortschritte der Material- und Nanotechnologie im Bausektor (Beschichtung von Oberflächen aus Stein, Putz, Beton, Glas Metall, Einsatz neuartiger „Funktionswerkstoffe“).<sup>31</sup>,

Die Abschätzung und Bewertung der technologischen Innovationspotentiale soll ergänzt werden durch eine Analyse der möglichen Beiträge von Innovationen gesellschaftlicher, institutioneller, organisatorischer und planerischer Natur zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung. Hierbei sollen einerseits die Möglichkeiten einer verbesserten Anpassung des Wohnungsangebots an die Bedürfnisse der Nutzer (nutzungsoffene Grundrissgestaltung, Gemeinschaftsnutzungseinrichtungen, Förderung von Wohnungstauschaktionen, Umzugsmanagement, „Mitwohnzentralen“, Nutzer-Mieterbeteiligung an der Gestaltung, Unterstützung von Selbsthilfemaßnahmen, neue Wohnformen) ausgelotet werden, andererseits die planerischen Möglichkeiten im Hinblick auf einen sparsamen Umgang mit Grund und Boden (Funktionale Mischung von Wohnen, Arbeiten, Freizeit, Ausnutzung des vorhandenen Gebäudebestands, Schließung von Baulücken, Nutzung städtischer Brachen, Nachverdichtung im Bestand).

Das Ausmaß, in dem vorhandene technologische, institutionelle und organisatorische Innovationspotentiale künftig genutzt werden können, wird wesentlich durch die allgemeine gesellschaftspolitische und ökonomische Entwicklung bestimmt werden. Ausgehend von der Überlegung, dass sich im Hinblick auf das Leitbild der Nachhaltigkeit in der heutigen Situation sowohl positive als auch negative Trends abzeichnen, von denen sich die einen oder die anderen verstärkt durchsetzen könnten, soll die Potentialabschätzung auf der Basis unterschiedlicher Szenarien vorgenommen werden, die mögliche künftige Entwicklungspfade skizzieren.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Die Abschätzung der technologischen Innovationspotentiale im Bereich Bauen und Wohnen wird in enger Abstimmung mit dem Arbeitspaket 9: „Schlüsseltechnologie“ des HGF-Verbundprojekts durchgeführt, siehe dazu die Beiträge von *Nitsch/ Rösch* („Regenerative Energien“) sowie *Fleischer* („Mikrosystemtechnik- und Nanotechnologie“).

<sup>32</sup> Zur Ausgestaltung der Szenarien siehe den Beitrag von *Kopfmüller/ Coenen/ Sardemann* zum Arbeitspaket 1

#### 4.4 Entwicklung von Umsetzungsstrategien und Handlungsoptionen

Im Hinblick auf den Bereich Bauen und Wohnen, besteht ein weitgehender Konsens unter den Experten, dass die bisher praktizierte Bau- und Wohnungspolitik auf sich zum Teil widersprechenden Zielen basiert und mit den Forderungen einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung nicht in Einklang zu bringen ist (siehe oben Abschnitt 3). Gefordert wird daher eine grundlegende Reform des ökonomischen, fiskalischen und planerischen Instrumentariums, wozu bereits zahlreiche Vorschläge vorliegen. Diese Vorschläge sollen gesichtet und im Hinblick auf ihre Umsetzbarkeit bewertet werden.

#### Literatur

- Beierlorzer, H./ Ganser, K.:* Ein neuer städtebaulicher Standard: Wohn- und Arbeitsorte für die unteren Einkommenschichten. In: *Bauwelt* (1994), Heft 1, S.657-660
- Birzer, M./ Feindt, P.H./ Spindler, E.A.:* Nachhaltige Stadtentwicklung: Konzepte und Projekte. *Economica Verlag*, Bonn 1997
- Bringezu, S.:* Ressourcennutzung in Wirtschaftsräumen. Stoffstromanalysen für eine nachhaltige Raumentwicklung. *Springer*, Berlin Heidelberg New York 2000
- Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (BfLR):* Städtebaulicher Bericht: Nachhaltige Stadtentwicklung, Herausforderungen an einen ressourcenschonenden und umweltverträglichen Städtebau. Bonn, Februar 1996
- Deutsches Nationalkomitee HABITAT II:* Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Siedlungsentwicklung. Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.), Bonn, März 1996
- Deutsches Institut für Urbanistik:* Ideenwettbewerb Stadt 2030. Ausschreibungstext (Entwurf), Berlin, März 2000
- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung:* Energieeinsparung im Wohnungsbestand- Investitionen müssen verstärkt werden. Wochenbericht des DIW 31/2000, S.499-507
- Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“:* Konzept Nachhaltigkeit, vom Leitbild zur Umsetzung. Abschlußbericht. BT-Drs. 13/11200 vom 28.6.98
- Hall, P./ Pfeiffer, U.:* *URBAN 21:* Der Expertenbericht zur Zukunft der Städte. *Deutsche Verlags-Anstalt*, Stuttgart München 2000
- Hassler, U./ Kohler, N./ Wang, W.:* Umbau: Über die Zukunft des Baubestandes. *Ernst Wasmuth Verlag*, Tübingen Berlin 1999
- Heil, K.:* Stadtentwicklungsplanung und Nachhaltigkeit - neuer Wein in alten Schläuchen? Bemerkungen über die Perspektiven eines nicht mehr ganz neuen Leitbegriffs in der Planung. *Informationen zur Raumentwicklung* 1/2000, S. 21-32
- Hinrichs, W.:* Entwicklung der Wohnungsverhältnisse in Ost- und Westdeutschland in den neunziger Jahren. *WZB-Berichte FS III 99-409*, November 1999
- Hoffmann-Axthelm, D.:* Die dritte Stadt: Bausteine eines neuen Gründungsvertrages. *Edition Suhrkamp*, Frankfurt 1993
- Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW):* Bewertung der räumlichen Entwicklung und Planung in Deutschland im Licht der Anforderungen der Agenda 21. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Reihe Forschungen, Heft 94 (2000)
- Kohler, N./ Hassler, U./ Paschen, H. (Hrsg.):* Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Studie im Auftrag der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages, *Springer*, Berlin Heidelberg New York 1999
- Kühn, M./ Moss, Th. (Hrsg.):* Planungskultur und Nachhaltigkeit: Neue Steuerungs- und Planungsmodelle für eine nachhaltige Stadt- und Regionalentwicklung. *VWF Verlag für Wissenschaft und Forschung*, Berlin 1998

- Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW* (Hrsg.): Stoffströme beim Modernisieren. Einsparpotenziale, Konstruktionsvergleiche, Rechenbeispiele. Aachen 2000
- Meyer, J.*: Die zukunftsfähige Stadt: Nachhaltige Entwicklung in Stadt und Land. Werner Verlag, Düsseldorf 1997
- OECD*: Stadtentwicklungspolitik in Deutschland: Auf dem Weg zur nachhaltigen städtischen Entwicklung. OECD Publications 1999
- O'Meara, M.*: Eine neue Vision für unsere Städte. In: Worldwatch Institute Report: Zur Lage der Welt 1999. Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt 1999, S. 181-212
- Redle, M./Baccini, P.*: Stadt mit wenig Energie, viel Kies und neuer Identität: Metabolische Modelle für den Umbau urbaner Siedlungen am Beispiel der Wohngebäude. In: GAIA 7 (1998), S.184-195
- Schäfer, M./Schön, S.*: Nachhaltigkeit als Projekt der Moderne: Skizzen und Widersprüche eines zukunftsfähigen Gesellschaftsmodells. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung: Abteilung Organisation und Technikgenese, Edition Sigma, Berlin 2000
- Spengler, Th./Ruch, M./Schultmann, F./Rentz, O.*: Stand und Perspektiven des Bauschuttrecyclings im Oberrheingraben (Baden/ Elsaß). In: Müll und Abfall 2 (1995), S. 97-109



## VI. Arbeitspaket

### **Aktivitätsfeld »Ernährung und Landwirtschaft«**

**Ch. Rösch, M. Heincke**

Forschungszentrum Karlsruhe,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse



## **Zusammenfassung**

Essen ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Der Ernährungsstatus hat starke Auswirkungen auf Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Wohlbefinden. Sowohl im historischen als auch im internationalen Vergleich nimmt unser heutiges Nahrungsmittelangebot hinsichtlich Sortimentsbreite, Qualität, Sicherheit und Preis eine Spitzenstellung ein. Ursachen hierfür sind u.a. landwirtschaftliche Produktivitätssteigerungen sowie europaweite Standardisierungs-, Spezialisierungs- und Konzentrationsprozesse.

Die Preise für Nahrungsmittel spiegeln (mit Ausnahme ökologisch erzeugter oder fair gehandelter Produkte) die wahren Kosten ihrer Produktion nicht wieder. Der Ernährungssektor hat massive Nachhaltigkeitsdefizite. Er ist beispielsweise für einen wesentlichen Anteil des inländischen Material- und Primärenergieverbrauchs sowie des Transport- und Abfallaufkommens verantwortlich. Die Landwirtschaft hat als größter Flächennutzer Deutschlands (54 % der Gesamtfläche) einen großen Einfluss auf den ökologischen Zustand von Boden, Wasser, Luft und Artenvielfalt.

Trotz sehr hoher Subventionen im landwirtschaftlichen Bereich und zunehmenden Unternehmensgrößen im gesamten Ernährungsbereich hinkt die Einkommens- und Gewinnentwicklung sowie die Kapitalbildung anderen Sektoren mit immer größerem Abstand hinterher. Vor dem Hintergrund eines übersättigten Inlandmarktes wird der Trend zur Konzentration und Spezialisierung im Ernährungssektor weiter anhalten. Bio- und Gentechnologie sowie neue IuK-Technologien sind Schlüsseltechnologien im Ernährungssystem. Diese Technologien könnten potentiell dazu beitragen, die Bereitstellung von Nahrungsmitteln im Sinne der Nachhaltigkeit effizienter und konsistenter zu gestalten.

Der gesamte inländische Nahrungsmittelbedarf könnte durch eine extensivierte Landbewirtschaftung (z. B. Ökolandbau) auf der bestehenden inländischen Landwirtschaftsfläche gedeckt werden. Dies würde jedoch bei gleichbleibender Kaloriennachfrage eine Veränderung des Ernährungsverhaltens - vor allem eine Verringerung des Fleischkonsums – erfordern. Bestimmte Nachhaltigkeitsdefizite in der Landwirtschaft könnten dadurch deutlich verringert werden. Jedoch könnten andere Flächennutzungsanforderungen an die derzeitige Landwirtschaftsfläche (z. B. Naturschutzgebiete, Energiepflanzenanbau) in einem solchen Szenario nicht mehr bedient werden.

Aus langfristiger globaler Perspektive betrachtet, wird die Welternährung aufgrund des hohen Bevölkerungswachstums und der im Vergleich dazu geringeren landwirtschaftlichen Produktivitätssteigerung nicht nur ein Verteilungs- sondern auch ein Kapazitätsproblem darstellen. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Ernährungsstil der Industrieländer (Überernährung, hoher Fleischkonsum) von bevölkerungsreichen Schwellenländern mit ansteigender Kaufkraft übernommen wird.

## **1. Hintergrund**

Essen und Trinken gehören zu den Grundbedürfnissen des Menschen. Die Ernährungsweise hat einen entscheidenden Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden. Rund ein Drittel aller Kosten im Gesundheitswesen werden auf ernährungsbedingte Krankheiten zurückgeführt. Der Bereich Ernährung hat daneben ökonomische, ökologische und gesellschaftlich relevante Auswirkungen. Er ist für ca. 20 % des Primärenergie- und Materialverbrauchs (mineralische und biotische Rohstoffe, fossile Energieträger) in Deutschland verantwortlich (Wuppertal Institut, 1996). Und er hat einen bedeutenden Anteil am

Transport- und Abfallaufkommen. Andererseits stellt der Ernährungssektor einen wichtigen Wirtschaftszweig dar. Jeder neunte Arbeitsplatz ist hier angesiedelt.

Bis direkt nach dem 2. Weltkrieg herrschten in Deutschland abwechselnd Sättigungs- und Hungerperioden. Seit Ende der 60er Jahre besteht ein Überangebot an Nahrung. Nahrungsmittel wurden im Verhältnis zur Einkommensentwicklung immer preiswerter. Der Anteil der Ernährung an den Ausgaben für den privaten Verbrauch liegt im Schnitt nur noch bei 18 %. Neben der gewachsenen Kaufkraft sind dafür die Produktivitätssteigerungen im landwirtschaftlichen Bereich und die Spezialisierung und Standardisierung der Nahrungsmittelherstellung verantwortlich. Im Handel hat der übersättigte Inlandsmarkt einen enormen Wettbewerbsdruck ausgelöst und zu einer starken Konzentration und Internationalisierung der Unternehmen geführt.

Die Verarbeitung von Nahrungsmitteln, die traditionell im Haushalt erfolgte und Frauenarbeit war, findet heute zum größten Teil in Handwerks- und Industriebetrieben statt. Nur noch wenige Produkte (z. B. Eier, Kartoffeln, Gemüse, Fleisch) werden in nahezu unverarbeiteter oder wenig bearbeiteter Form gekauft. Diverse Lebensmittelkandale (z. B. BSE-Krise) haben in der Vergangenheit zu teilweise dramatischen Nachfrageeinbrüchen in Teilmärkten des Nahrungsmittelsektors geführt. Gleichzeitig besteht bei der Implementierung neuer Technologien (z. B. Bio- und Gentechnik, E-commerce) bei den Verbrauchern eine hohe Sensibilität im Hinblick auf die damit verbundenen potentiellen Risiken. Das Ernährungssystem ist mit fast allen politischen Bereichen verknüpft (Wirtschafts-, Gesundheits-, Umwelt-, Landwirtschafts-, Sozial-, Entwicklungs-, Raumordnungs- und Wissenschaftspolitik). Hinzu kommt eine wachsende Einbindung in das europäische<sup>33</sup> und internationale Agrar- und Lebensmittelrecht. Trotz großer Zielkonflikte wurde in Deutschland bislang die Festlegung von gesellschaftlich-politischen Ernährungszielen und die Ausarbeitung einer koordinierten Ernährungspolitik vernachlässigt. Ein erster Ansatz dazu war die Einrichtung des ressortübergreifenden „Ministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft“ im Januar 2001.

## 2. Zielsetzung

Das Ziel dieses Vorhabens ist eine umfassende interdisziplinäre Betrachtung des Bedürfnisfeldes Ernährung einschließlich vor- und nachgelagerter Bereiche. Die gesamte Prozesskette, von der landwirtschaftlichen Erzeugung über den Transport, die Verarbeitung, den Handel, dem Verbrauch und die Entsorgung der Nahrungsmittel wird in die Analyse einbezogen. Bestehende Nachhaltigkeitsdefizite sollen anhand von Nachhaltigkeitszielen und -indikatoren identifiziert werden. Dies soll vor dem Hintergrund von Leitbildern, die wünschenswerte Ernährungssysteme von hoher Gesundheits-, Umwelt- und Sozialverträglichkeit und ökonomischer Stabilität skizzieren, erfolgen.

Drei explorative Rahmenszenarien, die im Spannungsfeld zwischen „nicht nachhaltig“ und „nachhaltig“ angesiedelt werden sollen, sind für das Aktivitätsfeld Ernährung & Landwirtschaft auszugestalten. Diese detaillierten Szenarien sollen anhand des HGF-Nachhaltigkeitskonzepts sowie der Regeln und Indikatoren bewertet und in Hinblick auf ihre spezifischen Nachhaltigkeitspotentiale untersucht werden. Der Zeithorizont der Szenarien ist 2020 für quantitative Aussagen und 2050 für qualitative Aussagen.

Auf diesen möglichen gesellschaftspolitischen und ökonomischen Entwicklungspfaden (Zukunftsszenarien) aufbauend sollen deren Nachhaltigkeitsdefizite und -potentiale ausgelotet und diskutiert werden. In diesem Kontext sollen die möglichen Beiträge relevanter technologischer Innovationen zur Erreichung

---

<sup>33</sup> z. B. Einrichtung einer europäischen Lebensmittelbehörde

einer nachhaltigen Entwicklung abgeschätzt und bewertet werden. Betrachtet werden sollen Schlüsseltechnologien, wie die Bio- und Gentechnologie<sup>34</sup> sowie neue IuK-Technologien (z.B. precision farming, Melkroboter, e-commerce). Abschließend sollen Handlungsstrategien und Instrumente zur Bewältigung von Nachhaltigkeitsdefiziten und zur Transformation des Bedürfnisfeldes Ernährung Richtung Nachhaltigkeit aufgezeigt werden.

### **3. Stand der Arbeiten**

Auf der Grundlage der Auswertung des Literaturbestandes und aktueller Forschungsergebnisse der einschlägigen Wissenschaftsdiziplinen (z. B. Agrarwissenschaft, Wirtschaftswissenschaft, Handel, Ökologie, Sozialwissenschaften, Ernährungsökologie, Ernährungsmedizin) wurde eine umfassende interdisziplinäre Problemanalyse ausgearbeitet. Nachfolgend werden die wesentlichen ökonomischen, ökologischen, gesundheitlichen und sozialen Herausforderungen im Bereich Ernährung dargestellt.

#### **3.1 Problemanalyse**

##### ***3.1.1 Ökonomische Dimension***

Der Lebensmittelsektor (inklusive Landwirtschaft und vorgelagerter Bereiche<sup>35</sup>, Ernährungshandwerk bzw. -industrie und Handel) hat in Deutschland einen Anteil von 14,8 % am volkswirtschaftlichen Produktionswert (PW) und von 6,1 % an der Bruttowertschöpfung (*Tabelle 1*). Er beschäftigt rd. 11,3 % aller Erwerbstätigen. Der Beitrag der Landwirtschaft an der wirtschaftlichen Bedeutung des Sektors ist bescheiden: sie hat einen Anteil von 8,5 % am PW, von 15,3 % an der BWS und von 22,7 % an den Erwerbstätigen. Im Gegensatz zu den anderen Bereichen sind die Erwerbstätigen in der Landwirtschaft überwiegend als eigenständige Unternehmer tätig.

Die Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe hat sich zwischen 1971 und heute in den alten Bundesländern durch einen jährlichen Rückgang von 3 % pro Jahr mehr als halbiert (Fasterding 2000). Heute existieren noch 429.000 landwirtschaftliche Betriebe (> 2 ha), davon 93,5 % in den alten Bundesländern (ABL) und 6,5 % in den neuen Bundesländern (NBL). Fast alle Betriebe (95 %) werden als Einzelunternehmen geführt, davon jedoch nur 43 % im Haupterwerb (BML 2000). Die mittlere Betriebsgröße umfasst in den ABL, wo der Familienbetrieb dominiert, 29 ha. In den NBL, wo zu DDR-Zeiten Landwirtschaft in volkseigenen Gütern (VEG) und landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften (LPG) betrieben wurde, sind die Betriebe im Schnitt 201 ha groß.

---

<sup>34</sup> FZJ-MUT beschäftigt sich mit den Chancen und Potentialen der grünen Gentechnik

<sup>35</sup> Agrarforschung, Züchtungsunternehmen, Futtermittel-, Landmaschinen-, Pflanzenschutz-, Düngemittelindustrie, Agrarversicherungen, Veterinärwesen, Fachmedien usw.

**Tabelle 1: Wirtschaftliche Kenngrößen des Ernährungssektors (Stand 1998)**

	<b>Produktionswert t<sup>36</sup></b> <b>(Mrd. DM)</b>	<b>Bruttowertschöpfung (Mrd. DM)</b>	<b>Erwerbstätige in 1.000</b>
<b>Vorgelagerte Bereiche*</b>	102,3	17,0	136,8
<b>Landwirtschaft</b>	85,6	33,0	921,0
<b>Ernährungsindustrie/-handwerk, Handel, Gastronomie</b>	818,9	165,3	2.992,2
<b>Summe</b>	1.006,8	215,3	4.050,0
<b>Anteil an Gesamt in Deutschland</b>	14,8 %	6,1 %	11,3 %

Quelle: BML 2000

Der langjährige Trend beim Strukturwandel in der Landwirtschaft setzt sich fort. Täglich geben 50 bis 60 Unternehmen, insbesondere jene mit geringer Flächenausstattung und älteren Betriebsleitern, ihren Betrieb auf. Die Hauptgründe, die zu einem weiteren Konzentrationsprozess bei den Betrieben führen, sind der gestiegene wirtschaftliche Druck, die fortschreitende technische Entwicklung und die limitierten Möglichkeiten, ein dauerhaft ausreichendes Einkommen zu erwirtschaften. Dies zeigt die Wachstumsschwelle<sup>37</sup>, die Anfang der 80er Jahre bei 30 ha lag und jetzt bereits über 50 ha liegt (BML 2000). Die Übernahme von Flächen erfolgt in der Regel durch Zupacht. Der Pachtflächenanteil ist auf über 63 % gestiegen.

Für den Großteil der Betriebe sind Transferzahlungen (von EU, Bund, Ländern) heute zur wichtigsten Einkommensquelle geworden. Gleichzeitig erzielen die Landwirte nur noch ungefähr ein Viertel<sup>38</sup> ihres Einkommens aus den Erlösen vom Verkauf ihrer landwirtschaftlicher Produkte an die Ernährungsindustrie. Die Einkommensentwicklung und Kapitalbildung im landwirtschaftlichen Bereich hinken trotz zunehmender Betriebsgröße und Subventionen in vielen Fällen dem gewerblichen Bereich mit immer größerem Abstand hinterher.

Der Agrarhandel, über den die Landwirte ihre Produktionsmittel<sup>39</sup> beziehen, ist durch oligopolistische Strukturen gekennzeichnet. Die 10 größten Agrochemie-Unternehmen hatten 1996 einen Anteil von 82 % am weltweiten Umsatz mit landwirtschaftlichen Chemieprodukten. Die 10 größten Saatgutunternehmen kontrollieren etwa 40 % des globalen Saatgutmarktes (Neunteufel 2000). Die Konzentration (und damit die Abhängigkeit der Landwirte) nimmt weiter zu, da Konzerne, die in mehreren Bereichen tätig sind (z. B. Saatgut, Agrochemie), dazu übergehen, komplementäre Produkte (z. B. herbizidtolerantes Saatgut + Herbizid) anzubieten.

<sup>36</sup> Der Produktionswert der Unternehmen stellt den Wert der Verkäufe von Waren und Dienstleistungen aus eigener Produktion sowie von Handelsware an andere (in- und ausländische) Wirtschaftseinheiten dar, vermehrt um den Wert der Bestandsveränderung an halbfertigen und fertigen Erzeugnissen aus eigener Produktion und um den Wert der selbsterstellten Anlagen. Firmeninterne Lieferungen und Leistungen sind nicht einbezogen.

<sup>37</sup> Dieser Indikator für den Strukturwandel gibt die Betriebsfläche an, unterhalb derer die Zahl der Betriebe ab- und oberhalb derer sie zunimmt.

<sup>38</sup> Zum Vergleich: 1950 lag der Umsatzanteil noch zu zwei Dritteln beim Landwirt.

<sup>39</sup> Hochleistungs- und Hybridsaatgut, Mineraldünger und synthetische Pflanzenschutzmittel, Maschinen

Die Ernährungsindustrie ist – am Umsatz gemessen – der viertgrößte deutsche Industriezweig (BVE 1999). Sie umfasst rd. 5.500 Unternehmen, mehr als 500.000 Beschäftigte (entspricht 1,5 % aller Erwerbstätigen) und hat einen Jahresumsatz von rd. 230 Milliarden DM (dies entspricht rd. 10 % vom Umsatz der Gesamtindustrie). Der Anteil der Auslandsumsätze am Gesamtumsatz der deutschen Nahrungsmittelproduzenten steigt seit Jahren kontinuierlich an (BVE 1999). Die Branche erzielt 16,4 % (1998)<sup>40</sup> ihres Umsatzes im Ausland (v.a. EU-Länder). Wichtigste Ausfuhrerzeugnisse sind Molkereiprodukte, Fleisch und Fleischwaren sowie Bier.

Die Nahrungsmittelherstellung erfolgt heute überwiegend in zentralen und großen Verarbeitungsstätten. Dennoch ist die Branche – mit wenigen Ausnahmen wie die Zuckerindustrie und die Margarine- und Speiseeisherstellung - sehr mittelständisch geprägt. Der Umsatz pro Betrieb liegt im Schnitt bei nur 39 Millionen DM (BVE 1999). Im Vergleich zum Lebensmittelhandel ist die Unternehmenskonzentration noch sehr niedrig. Die 10 größten Lebensmittelhersteller tätigen zusammen nur 11,2 % des Umsatzes der deutschen Ernährungsindustrie, allerdings mit steigender Tendenz.

Die Verarbeitungstiefe hat sich insgesamt stark erhöht. Die Ernährungsindustrie stellt aus wenigen pflanzlichen und tierischen Rohstoffen rd. 230.000 Produkte her (Oltersdorf 2000). Viele Nahrungsmittel werden inzwischen national oder global vermarktet. Mit dem Niedergang individueller Handwerksbetriebe (Bäckereien und Metzgereien) zugunsten bundesweiter Filialketten (z.B. Kamps) ist gleichzeitig die Anzahl lokaler und regionaler Produkte zurückgegangen. Große Verarbeitungsbetriebe bevorzugen wiederum große landwirtschaftliche Betriebe und Genossenschaften als Lieferanten, da der Beschaffungsaufwand geringer, die Qualität einheitlicher und die Einkaufskonditionen günstiger sind.

Die überwiegend mittelständisch strukturierte Ernährungsindustrie ist auf die Absatzkanäle der 10 größten Handelsunternehmen angewiesen. Eine Auslistung bei einem der großen Handelspartner führt zu einem meist nicht zu kompensierenden Absatzverlust und kann den Bestand des Unternehmens gefährden. Um dies zu vermeiden, werden „Auslistungsvermeidungsgelder“ und „Umsatzförderungsgelder“ bezahlt. Andererseits klagt der Lebensmittelhandel über den gnadenlosen Preiskampf, der dessen Gewinnmargen beträchtlich schmälert. Die Ausnutzung von „economies of scale“ und die Senkung der Einkaufskosten werden als essentiell angesehen, um am Markt zu bestehen.

Die Distribution von Nahrungsmitteln, die vom Erzeuger oder Lebensmitteleinzelhändler durchgeführt wird, kann in institutioneller Hinsicht in den Lebensmittelgroßhandel<sup>41</sup> und den Lebensmitteleinzelhandel<sup>42</sup> unterschieden werden. Der Großhandel erzielt in Deutschland mit 12.085 Unternehmen und rd. 225.000 Beschäftigten einen Umsatz von 235 Mrd. DM (BML Statistisches Jahrbuch 1999). Der Einzelhandel macht dagegen mit rd. 880.000 Beschäftigten einen Umsatz von rd. 240 Mrd. DM.

Die Einführung von Selbstbedienung und Supermärkten mit breitem Produktsortiment und die Aufhebung der vertikalen Preisbindung haben in den 70er Jahren zu einem verstärkten und bis heute anhaltenden Strukturwandel im Lebensmitteleinzelhandel geführt. Die Zahl der Lebensmitteleinzelgeschäfte sinkt beständig. Die 10 größten Lebensmittelhandelsunternehmen in Deutschland haben einen Umsatz-

---

<sup>40</sup> Zum Vergleich: die Exportquote der Gesamtindustrie liegt bei 33,5 %.

<sup>41</sup> Zum Lebensmittelgroßhandel zählt im wesentlichen der agrarische Erfassungsgroßhandel und der Fachgroßhandel.

<sup>42</sup> Der Lebensmitteleinzelhandel umfasst alle Handelsbetriebe, die hauptsächlich mit dem Verkauf von Lebensmitteln an den Konsumenten befasst sind. Hierzu gehören aber auch die vielfältigen Formen der Direktvermarktung von Lebensmitteln sowie neuen Vertriebsformen, wie der Lebensmittelverkauf an Tankstellen oder die Hauszustellung von Lebensmitteln.

anteil von 83 % (Drescher 1999). Die fünf größten Lebensmittelhändler in Europa haben ihren Marktanteil innerhalb von 10 Jahren nahezu verdoppelt auf einen Marktanteil von 26 % bzw. rd. 230 Mrd. € (@rar.de 2000). Ein Ende des Konzentrations- und Wachstumsprozesses ist nicht zu erkennen. Prognosen zufolge sollen im Jahr 2030 die 10 größten Handelsunternehmen 95 % des europäischen Lebensmittelhandels unter sich aufteilen (FAZ 1995 in Drescher 1999). Neben der steigenden Konzentration entstanden neue Vertriebsformen. Von den rd. 72.500 Lebensmitteleinzelhandelsgeschäften in Deutschland sind 3 % SB-Warenhäuser und Verbrauchermärkte, 18 % Discounter, 13 % Supermärkte, 52 % andere SB-Geschäfte und 14 % Bedienungsgeschäfte. Vom Umsatz entfallen fast 83 % auf Discounter, Supermärkte, SB-Geschäfte und Verbrauchermärkte und nur 1 % auf Bedienungsläden (ACNielsen 2000).

In Deutschland gibt es 82 Millionen Verbraucher. Der Verzehr von Lebensmitteln findet zu 85 % in privaten Haushalten statt, wofür die jährlichen Ausgaben 240 Milliarden DM betragen. Der Verzehr außer Haus (15 %) ist mit jährlichen Ausgaben von 130 Milliarden DM wesentlich teurer (Oltersdorf 2000). Der Verbrauch der verschiedenen Lebensmittelgruppen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stark verschoben. Der Verzehr an Getreideerzeugnissen, Kartoffeln, Frischmilch, Eiern, Fleisch und tierischen Fetten ist gesunken, während der Verzehr an Gemüse, Frischobst, Milchprodukten, Geflügel, Fisch, pflanzlichen Fetten und Zucker zugenommen hat. Im Verhältnis zur Einkommensentwicklung sind Nahrungsmittel immer billiger geworden. Noch in den siebziger Jahren betrug der mittlere Anteil vom privaten Verbrauch für Ernährung etwa 30 %, heute sind es nur noch ca. 18 % (Oltersdorf 2000).

### 3.1.2 *Ökologische Dimension*

Die Landwirtschaft ist der größte Flächennutzer Deutschlands (rd. 173.270 km<sup>2</sup> oder 54 % der Fläche). Davon werden 68,3 % ackerbaulich und 30,4 % als Dauergrünland genutzt (BML 2000). Die Landbewirtschaftung hat über die Fläche einen großen Einfluss auf den ökologischen Zustand von Boden, Wasser und Luft. Die Desintegration von Pflanzenbau und Tierhaltung bei gleichzeitiger Erhöhung der Tierbesatzdichten und regionaler Konzentration, der Einsatz von Mineraldüngern, synthetischen Pflanzenschutzmitteln und schweren Maschinen, die Schaffung von maschinengerechten Ackerschlägen (durch Flurbereinigung) und modernen Verfahren in der Reproduktionstechnik der Tierzucht und in der Tierhaltung sind mit folgenden ökologisch relevanten Auswirkungen verbunden:

- Verbrauch endlicher Ressourcen (z. B. fossile Energie, Phosphat),
- Erosion und Verdichtung von Böden,
- Freisetzung klimarelevanter<sup>43</sup> und versauernd wirkender Emissionen,
- Eintrag von Nitrat, Phosphat, Pflanzenschutzmitteln und Medikamenten in Böden, Grundwasser, Gewässer und angrenzende Ökosysteme, dadurch u. a. Eutrophierung,
- Verringerung der Arten-, Rassen- und Sortenvielfalt bei landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und Nutztieren<sup>44</sup>,
- Reduzierung der Biotopvielfalt in der Kulturlandschaft, damit verbunden Bedrohung oder Verringerung der Artenvielfalt der wildlebenden Tiere und Pflanzen.

---

<sup>43</sup> Die Landwirtschaft trägt global wie national zu 15 % zum anthropogenen Treibhauseffekt bei (Meyer 1997).

<sup>44</sup> In der Rindtierhaltung stellen heute vier Rassen bundesweit 96 % des Gesamtbestandes. Zum Vergleich: Allein in Bayern gab es noch Ende des 19. Jahrhunderts 35 Rinderrassen (GEH 2000)

Das Ausmaß an Ressourcenverbrauch und der Grad der Beanspruchung der Umwelt als Senke werden maßgeblich durch die Rahmenbedingungen, d. h. durch Agrar- und Umweltpolitik, Standortvoraussetzungen, Produktionsverfahren und Produktart<sup>45</sup> beeinflusst. Dennoch lassen sich einige prinzipielle Nachhaltigkeitsdefizite benennen. Beispielsweise beim Energieverbrauch. Der Primärenergie(PE)-Einsatz im konventionellen Pflanzenbau liegt bei rd. 1,5 GJ/t erzeugtes Produkt<sup>46</sup>. Die Produktion tierischer Produkte ist deutlich energieintensiver: Für die Erzeugung von Milch werden rd. 2,7 GJ/t und von Schweinefleisch 20,6 GJ/t benötigt (Bockisch 2000). Der hohe PE-Verbrauch im Pflanzenbau ist in erster Linie auf den Einsatz mineralischer Stickstoffdünger zurückzuführen, die zwischen 30 und 60 % des PE-Einsatzes bedingen. Eine Umstellung auf ökologischen Landbau würde den PE-Bedarf pro Fläche um rd. 2/3 verringern und pro Produkteinheit fast halbieren. Durch Verwendung hofeigener Futtermittel statt industrieller Mischfuttermittel kann der PE-Bedarf zur Erzeugung tierischer Produkte deutlich reduziert werden (Wuppertal-Institut 1996, Bockisch 2000).

Im Rahmen der Agrarumweltmaßnahmen<sup>47</sup> (EU-Agrarreform 1992) werden in Deutschland auf rd. 5 Millionen ha, das sind 29 % der 17,3 Mill. ha LF, umweltgerechtere Produktionsverfahren gefördert. Dadurch wurden die negativen Effekte der Nahrungsmittelerzeugung auf die Boden-, Wasser- und Luftqualität, das Klima und die Artenvielfalt verringert, die ökologischen Probleme aber nicht grundsätzlich gelöst. Der ökologische Landbau, den 1,74 % der Betriebe auf 2,3 % der landwirtschaftlichen Fläche praktizieren (AGÖL 2000), hat zwar in einigen wichtigen jedoch nicht in allen Bereichen eine positivere Ökobilanz<sup>48</sup> als die konventionelle Wirtschaftsweise. Bei der Bewertung spielt die Bezugsgröße (Fläche oder Ertrag) eine entscheidende Rolle (Priorr und Werner 1999).

Die Tätigkeiten der Nahrungsmittelverarbeitung sind vielfältig und werden mit verschiedenen Produktionstechniken bewerkstelligt. Sie reichen von einfachen Behandlungen (z. B. Trocknen) bis hin zur Herstellung von verzehrfertigen Mahlzeiten (z.B. TK-Pizza). Entsprechend unterschiedlich sind ihre ökologischen Effekte. Dennoch kann festgehalten werden, dass die ökologisch relevanten Herausforderungen der Nahrungsmittelverarbeitung Einträge in die Medien Wasser<sup>49</sup> (belastete Abwässer mit Löse-, Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sowie organischen Frachten) und Luft (Luftschadstoff- und Geruchsemissionen), der Energieverbrauch und das Transport- und Abfallaufkommen sind.

Die Höhe des Energieeinsatzes in der Nahrungsmittelindustrie hängt von der Branche<sup>50</sup>, dem Betrieb, der Produktpalette und der Produktionsmenge, der eingesetzten Prozesstechnik, der zeitlichen Auslastung der Anlagen sowie dem Automatisierungsgrad ab. Die Spezialisierung und Arbeitsteilung in der

---

<sup>45</sup> Etwa 80 % der Emissionen sind in der Landwirtschaft auf die Erzeugung tierischer Lebensmittel zurückzuführen, davon 75 % auf die Rinderhaltung (Kjier et al. 1994). Bei der Erzeugung pflanzlicher Lebensmittel kommt es darauf an, ob Freilandbau oder Treibhauskultur betrieben wird.

<sup>46</sup> Durchschnittliche Werte für Winterweizen, Kartoffeln, Maissilage, Grassilage und Weidegras

<sup>47</sup> Die Zuwendungen dienen der Honorierung von Wirtschaftsweisen, die über die gute fachliche Praxis hinausgehen und den Belangen des Schutzes von Natur und Umwelt in besonderem Maße gerecht werden, deren zusätzliche Kosten jedoch nicht über den Marktpreis der Erzeugnisse abgedeckt sind.

<sup>48</sup> Positive Effekte resultieren aus einer verringerten Produktionsintensität infolge des Verzichts auf Mineraldünger und synthetische Pflanzenschutzmittel und einer artgerechten Tierhaltung mit geringen Bestandesdichten. Weniger positiv bzw. umstritten sind die Effekte des Ökolandbaus auf das Klima und die Nitratauswaschung (Linckh et al. 1997; Tappeser et al. 1999).

<sup>49</sup> Die stärkste Abwasserbelastung kommt aus der Schlachtung und Fleischverarbeitung, Brauereien, Molkereien und der Kartoffelstärkeindustrie (FhG-ILV 1990).

<sup>50</sup> Die Fleischverarbeitung weist einen sehr geringen und innerhalb der Branche wenig schwankenden Energiekostenanteil auf, wohingegen die Milchverarbeitung mit einer Streuung von 1 % bis 14 % sehr unterschiedliche Kostenstrukturen zeigt (Meyer 1999).

Ernährungsindustrie hat zu einer Verringerung der Fertigungstiefe innerhalb der Betriebe und zur Erhöhung der Transportdistanzen für die Beschaffung der Roh- bzw. Zusatzstoffe und die Verteilung der Zwischen- bzw. Endprodukte geführt. Die regionale Erzeugung und Vermarktung von Nahrungsmitteln ist dagegen mit kurzen Transportwegen verbunden. Es zeigt sich jedoch, dass größere, überregional wirtschaftende Unternehmen mit modernen, energiesparenden Produktionsverfahren (z. B. mit Wärmerückgewinnung) arbeiten und über durch Routenplanung optimierte Transportprozesse eine größere Nutzlast bzw. einen geringeren Anteil an Leerfahrten erreichen und dadurch deutlich effizienter sein können als regional agierende Betriebe (Schlich 2000, Tagwerk 2000).

Art und Aufkommen an Verpackungen<sup>51</sup> und Abfällen kann produktbedingt stark variieren. Der Verpackungsaufwand (Vor-, Zwischen-, Transport-, Regal- und Endverpackung) liegt zwischen 1 % (bei Eiern) und 38 % (bei Getränken) bezogen auf den Warenwert (Utz et al. 1991). Die Verpackungen können entweder aus endlichen fossilen oder regenerativen Rohstoffen (z. B. biologisch abbaubare Kunststoffe) hergestellt werden.

Deutschland ist größter Importeur und viertgrößter Exporteur im internationalen Agrarhandel. Der deutsche Konsum landwirtschaftlicher Produkte beruht auf einer Netto-Beanspruchung landwirtschaftlicher Flächen im Ausland, die ca. 30 % der deutschen Landwirtschaftsfläche entspricht<sup>52</sup>. Von den in Deutschland verbrauchten landwirtschaftlichen Erzeugnissen stammen nur ca. 30 % von inländischen Ackerflächen (Wuppertal-Institut 1996). Andererseits wird auf der Hälfte der deutschen Landwirtschaftsfläche für den Export produziert. Deshalb ist im Nahrungsmittelhandel der Anstieg des Transportaufkommens ein wesentliches ökologisches Problem.

Bei der Entsorgung von Abfällen fallen durch Rückführungs- und Verwertungsverpflichtungen (Kreislaufwirtschaftsgesetz, Verpackungsverordnung) steigende Transporte an. Zusätzlich werden durch Zentralisierung der Entsorgungseinrichtungen die Transportwege insgesamt länger. Hohe Transportleistungen (v. a. beim Straßentransport) können sich nachteilig auf das Klima, die Ozonbildung, den Ressourcenverbrauch, die Schadstoffemissionen, die Bodenversiegelung und auf die Produktqualität auswirken.

Mit ihren Ernährungsgewohnheiten, ihrer Produktauswahl, ihrem Einkaufsverhalten, der Lagerung und Zubereitung der Nahrungsmittel und der Entsorgung von Nahrungsrückständen haben die Verbraucher einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch und die Umweltbelastungen durch das Ernährungssystem. Es bestehen große ökologische Unterschiede je nach Produkt und Produktlebensweg, z.B. sind tiefgekühlte Fertiggerichte extrem energieintensiv. Überernährung – insbesondere der hohe Fleischkonsum - geht mit Ressourcenverschwendung einher (Wuppertal-Institut 1996). Die Neigung der Verbraucher, einerseits in großflächigen, an Ortsrändern angesiedelten Supermärkten und andererseits in spezialisierten Einzelhandelsgeschäften (Naturkost, italienische und asiatische Spezialitäten) einzukaufen, hat zu einem Anstieg der PKW-Nutzung bei der Nahrungsmittelbeschaffung geführt (durchschnittlich pro Jahr und Haushalt 370 PKW-km; Taylor 2000).

Die Entsorgung bzw. Wiederverwertung der Nahrungsmittelverpackung stellt ein weiteres ökologisches Problem dar. Der Verbrauch von Verkaufsverpackungen in privaten Haushalten und Kleingewerbe beträgt ca. 82 kg pro Einwohner und Jahr. Er setzt sich hauptsächlich aus Glas, Papier/Pappe/Karton,

---

<sup>51</sup> Umlaufzahlen bei Mehrwegsystemen, Transporte zur Distribution und die Entsorgung von Einwegverpackungen sind ergebnisbestimmende Einflussfaktoren.

<sup>52</sup> Der Anteil an Produkten, die aus klimatischen Gründen importiert werden müssen wie z.B. Südfrüchte, Kaffee, Tee, Kakao macht an dieser Flächenbelegung im Ausland für deutsche Importe weniger als 20 % aus (Wuppertal-Institut 1996).

Weißblech, Aluminium, Kunststoffe und Verbundstoffe zusammen (UBA 1997). Der Verbrauch von Verkaufsverpackungen in privaten Haushalten und Kleingewerbe betrug 1998 6.730.000 Tonnen (BMU 2000). Außerdem entstehen große Mengen an Nahrungsmittelabfällen (rd. 70 kg/Kopf/Jahr) und Abwasser in den privaten Haushalten durch die Ernährung (Winter et al. 1996).

### 3.1.3 Soziale Dimension

Die Produktionssysteme in der Landwirtschaft wurden durch den Einsatz von effektiven Maschinen, Techniken und Produktionsmitteln so verändert, dass bei minimalem Einsatz von menschlicher Arbeit Höchsterträge erzielt werden können. Der Arbeitseinsatz je Flächeneinheit verringerte sich auf heute 2,1 Arbeitskrafteinheiten je 100 ha landwirtschaftliche genutzte Fläche (Fasterding 2000). Insgesamt sind in Deutschland nur noch ca. 1,4 Millionen Arbeitskräfte haupt- und nebenberuflich in der Landwirtschaft tätig. Die Familienarbeitskräfte stellen 65 % der Arbeitskräfte, davon jedoch nur ein Viertel als Vollbeschäftigte (BML 2000). Von den familienfremden Arbeitskräften sind über 60 % Saisonarbeitskräfte. Mit jeder Betriebsaufgabe verringert sich die Zahl der Arbeitskräfte in der Landwirtschaft. Der überproportional starke Rückgang der Familienarbeitskräfte wird damit erklärt, dass auch in den landwirtschaftlichen Betrieben die Familien kleiner und der familiäre Verbund schwächer wird (Anonymus 2000).

Der Strukturwandel in der Landwirtschaft erfolgt über die Hofnachfolge. Die Möglichkeiten eines Betriebes zur Erwirtschaftung eines angemessenen Einkommens, regionale Ausbildungs- und Beschäftigungsalternativen, die (hohe) Arbeitsbelastung, die persönliche Lebensauffassung (z. B. Gewichtung von Arbeit und Freizeit) und die soziale Stellung der Tätigkeit<sup>53</sup> spielen bei der Entscheidung eine wichtige Rolle (Fasterding 2000). Parallel zum Strukturwandel in der Landwirtschaft haben sich auch die Wünsche an die Nutzung ländlicher Räume verändert, d.h. sie sind vielseitiger geworden: Früher wurde als Hauptaufgabe des ländlichen Raums die landwirtschaftliche Produktion (Kornkammer) angesehen. Die landwirtschaftliche Überproduktion hat dazu geführt, dass heute andere Landschaftsfunktionen in den Vordergrund getreten sind. Die Wünsche der Gesellschaft zur Nutzung der (landwirtschaftlichen) Fläche reichen vom Totalreservat für die Natur über Kultur-, Erholungs- und Freizeitlandschaften (z.B. Golfplätze) bis hin zu landschaftlich attraktiven Wohnregionen mit optimaler Verkehrsanbindung an Ballungsgebiete.

Das Ernährungsverhalten der Verbraucher hängt eng mit dem sonstigen Konsum- und Lebensstil zusammen (ökonomische, kulturelle, politische, ethische, traditionelle, soziale, gesundheitliche, emotionale Einflüsse). Schlankheit gilt als Attraktivitäts- und Leistungskriterium, Übergewicht als massiver sozialer und beruflicher Diskriminierungsfaktor (Deutsche Adipositas-Gesellschaft 2000)<sup>54</sup>.

Gestiegener gesamtgesellschaftlicher Wohlstand und Kaufkraft, Bildungsexpansion und Arbeitszeitverkürzung haben zu einer zunehmenden Individualisierung der Lebensformen und zu einem situationsabhängigen und multioptionalen Einkaufs- und Ernährungsverhalten unter Zeitdruck geführt. Intensive Le-

---

<sup>53</sup> Die Veränderungen in der Landschaft, die Umweltbelastungen und die Nahrungsmittelskandale haben zur wachsenden gesellschaftlichen Desintegration der Landwirtschaft (Brunnenvergifter usw..) geführt. Distanz und Kommunikationsprobleme zwischen Produzenten und Konsumenten werden durch die zentralisierte Verarbeitung und Vermarktung der Nahrungsmittel sowie den hohen Verarbeitungsgrad der Nahrungsmittel gefördert.

<sup>54</sup> Untersuchungen zeigen z.B., dass in den USA und England Übergewichtige bei gleicher beruflichen Qualifikation geringere Einkommen und geringere berufliche Aufstiegschancen als Schlanke haben, übergewichtige Frauen bei Heirat häufiger in niedrigere soziale Schichten wechseln als Normalgewichtige, etc..

bensmittelwerbung und die Massenmedien üben starken Einfluss auf das Verbraucherverhalten aus. Öffentliche Ernährungsbildung und Verbraucheraufklärung sind bislang unterrepräsentiert.

Früher waren Vorratshaltung, Verarbeitung, Konservierung und Zubereitung von Nahrung zentrale Aufgaben der Haushalte. Heute werden diese Aufgaben aufgrund der veränderten Lebens<sup>55</sup> - und Arbeitsbedingungen immer mehr externalisiert. In fast unbearbeiteter und wenig veränderter Form werden fast nur noch Kartoffeln, Eier, Obst, Gemüse und Fleisch eingekauft. Der Wunsch nach sofortiger, zeitsparender, bequemer und genussvoller Bedürfnisbefriedigung ist weit verbreitet. Dadurch wird die Nachfrage nach Convenience-Produkten weiterhin stark ansteigen<sup>56</sup>. Die Zeitersparnis im Haushalt wird für andere Zwecke (z. B. Berufstätigkeit der Frau) verwendet. Der Außer-Haus-Konsum ist – durch steigende räumliche und zeitliche Flexibilisierung der Arbeitswelt - sprunghaft angestiegen. Dabei werden vor allem billige Einheitsprodukte (weltweite McDonaldisierung) verzehrt. In Zukunft wird vermutlich noch weniger Zeit für Einkaufen, Kochen und gemeinsame Mahlzeiten verwendet<sup>57</sup>. Insbesondere bei jungen Verbrauchern nimmt das Wissen und die praktische Kompetenz im Umgang mit Lebensmitteln stark ab (Oltersdorf, 2000). Frauen tragen – trotz steigender Berufstätigkeit - noch immer die Hauptverantwortung für die Ernährung und sonstige Reproduktionsarbeit. Sie haben profundere Kochkenntnisse als Männer und ernähren sich gesünder und umweltgerechter.

Neben der Zeitersparnis ist der wichtigste Einflussfaktor für den Kauf von Lebensmitteln noch immer deren Preis. Dies gilt insbesondere für untere Einkommensschichten. Jedoch wird von Nahrungsmitteln zunehmend eine Kombination von teilweise immateriellen Zusatznutzen (value added) erwartet. Beispielsweise sollten die Nahrungsmittel nicht nur schmackhaft, gesund und preiswert sein, sondern darüber hinaus umweltverträglich, regional und sozial gerecht erzeugt und gehandelt. Oder sie dienen als Statussymbol.

### **3.1.4 Gesundheitliche Dimension**

Der Ernährungszustand ist ein entscheidender Faktor für die körperliche, geistige und seelische Entwicklungs- und Leistungsfähigkeit des Menschen. In Deutschland gibt es ein sehr vielfältiges Angebot an gesunden und preiswerten Nahrungsmitteln. Dennoch verursachen ernährungsbedingte Krankheiten rund ein Drittel aller direkten Kosten (z. B. Behandlung, Pflege) sowie indirekten Kosten (z. B. Arbeitsunfähigkeit, Mortalität) im Gesundheitswesen. Dies entsprach im Jahr 2000 Ausgaben von ca. 145 Milliarden DM (DIET 2001). Ernährungsabhängige Erkrankungen haben einen Anteil von rund 64 % an den Sterbefällen (DIET 2001).

Chronische Überernährung (zu viel Kalorien, Zucker, Salz, Fett, Protein, Cholesterin, Alkohol) in Verbindung mit körperlicher Inaktivität stellt in das größte ernährungsbedingte Gesundheitsrisiko dar. Vor allem Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, des Stoffwechsels, der Leber, des Gelenk-, Stütz- und Bewegungsapparates aber auch Krebs, Karies, Anämie, Kropf, etc. können durch Fehlernährung mitverursacht werden. Das Verhältnis der Makronährstoffe Eiweiß, Fette und Kohlenhydrate der deutschen Durchschnittskost beträgt ca. 16:33:51 gegenüber dem von der Deutschen Gesellschaft für Er-

---

<sup>55</sup> z.B. starker Anstieg der Single-Haushalte

<sup>56</sup> Bsp.: jährlichen Pro-Kopf-Verbrauchs von Tiefkühlkost 1980: 8,4 kg, 1999: 26,6 kg (tiefkühlinstitut 2001)

<sup>57</sup> Heute verwenden Frauen und Männer pro Tag ca. 80 Minuten für die Mahlzeiten, hinzu kommt noch die tägliche Zeit für die Beschaffung der Lebensmittel (Frauen: ca. 82 Minuten, Männer: ca. 21 Minuten) (Oltersdorf 2000)

nahrung (DGE) empfohlenen Verhältnis von 10:30:60 (Mensink et. al. 1999). Für den gesundheitlich bedenklich hohen Fett- und Eiweißkonsum sind vor allem die tierischen Lebensmittel verantwortlich<sup>58</sup>.

In Westdeutschland sind 67 % der Männer und 52 % der Frauen übergewichtig (BMI über 25)<sup>59</sup>, an Adipositas (BMI über 30) leiden 18 % der Männer und 21 % der Frauen (Bergmann und Mensink 1999). Tendenz steigend. Bereits 10-20 % der Kinder und Jugendlichen haben Übergewicht. Dabei steigt nicht nur die Häufigkeit sondern auch das Ausmaß an kindlicher Adipositas stark an (Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter 2001). Übergewichtige Kinder stammen überdurchschnittlich oft aus sozial benachteiligten Schichten (Süddeutsche Zeitung 2001). Sie haben erhebliche Gesundheitsprobleme (Bluthochdruck, erhöhte Cholesterinwerte, Gelenkschäden, etc.), die sich im Erwachsenenalter weiter verschärfen können<sup>60</sup>.

Die Gründe für Übergewicht und Fehlernährung sind vielschichtig. Unter anderem können mangelndes Wissen über gesunde Ernährung, Überfluss- und Bequemlichkeitssituationen<sup>61</sup>, zeitfunktionale Leitbilder wie sie in Fast Food und Convenience Food zum Ausdruck kommen, psychosoziale Probleme und psychische Erkrankungen, genetische Dispositionen, andere schwerwiegende Erkrankungen z.B. des Stoffwechsels die Ursachen hierfür sein.

In mitten des Überflusses gibt es jedoch auch Ernährungsmängel. Aus gesundheitlicher Sicht ist in Deutschland die durchschnittliche Aufnahme von Kohlenhydraten, Ballaststoffen sowie Calcium, Eisen, Zink, Jod, bestimmten Vitaminen und Folsäure zu niedrig. In Deutschland sind mindestens 3,7 Millionen Menschen deutlich unterernährt (DIET 2001). Unterernährte erkranken aufgrund von Immunschwächen häufiger und sterben früher als Normalgewichtige (DIET 2001). Eine sehr große Risikogruppe stellen junge Frauen zwischen 15 und 35 Jahren dar. Sie nehmen häufig z.T. erheblich zu wenig Nahrungsenergie zu sich und haben weitverbreitet eine Unterversorgung bei vielen Vitaminen und Mineralstoffen. Stark ansteigend ist außerdem die Zahl junger Frauen mit schweren psychosomatischen Essstörungen<sup>62</sup>. Weitere Risikogruppen für Unter- und qualitative Mangelernährung sind Krebs-, Dialyse- und AIDS-Patienten sowie geriatrische Patienten. Von den hochbetagten Kranken (über 75 Jahre) sind ca. 60 % untergewichtig (DIET 2001). Von qualitativer Mangelernährung, welche mit Übergewicht einhergehen kann, sind besonders ökonomisch und sozial Benachteiligte betroffen (z. B. kinderreiche Familien, Obdachlose).

Trotz vielfältiger Information über die Zusammenhänge zwischen Fehlernährung und Gesundheit schätzt der Verbraucher sein eigenes falsches Ernährungsverhalten als wenig problematisch ein. Hauptrisiken

---

<sup>58</sup> Jährlicher Verzehr an Fleisch pro Kopf: ca. 65 kg (Oltdersdorf 2000)

<sup>59</sup> BMI = Body Mass Index, berechnet durch: Körpergewicht in Kilogramm geteilt durch Körpergröße in Metern zum Quadrat. Der BMI dient zur Abschätzung des Fettanteils am Körper. Nach WHO gilt ein BMI unter 18,5 als Untergewicht, ein BMI zwischen 18,5 bis 24,9 als Normalgewicht, ein BMI zwischen 25-29,9 als Übergewicht Grad I und ein BMI über 30 als Übergewicht Grad II bzw. III. Bei einem BMI zwischen 25 und 30 wird in Abhängigkeit von sonstigen Erkrankungen oft zunächst eine Gewichtsstabilisierung angestrebt. Ab einem BMI von 30 ist das Risiko von Folgeerkrankungen so hoch, dass eine Gewichtsreduktion dringend erforderlich ist.

<sup>60</sup> Ca. 75 % der übergewichtigen Kinder aber nur ca. 15 % der normalgewichtigen Kinder werden übergewichtige Erwachsene (Süddeutsche Zeitung 2001).

<sup>61</sup> Hoher Fernseh- und PC-Konsum geht mit Bewegungsmangel einher. Der durchschnittliche tägliche Fernsehkonsum von Schülern beträgt ca. 2 Stunden, bei vielsehenden Kindern über 4 Stunden (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg 2000).

<sup>62</sup> Bundesweit leiden ca. 100.000 Frauen an Magersucht (bei 15 % der Fälle mit tödlichem Verlauf); ca. 600.000 Frauen an Bulimie; ca. 70.000 Männer an Bulimie; ca. 6-8 % der Bevölkerung an Binge-Eating-Disorder (Bundeszentrale für Gesundheitliche Aufklärung 2000)

sieht der Verbraucher im Konsum von Gentechnikprodukten sowie Schad- und Zusatzstoffen in Nahrungsmitteln. Im Gegensatz dazu bewerten Ernährungswissenschaftler lebensmittelbürtige Infektionen durch pathogene Mikroorganismen (z. B. Salmonellen in Eiprodukten, Listerien im Käse) als größte ernährungsbedingte Gesundheitsgefahr (abgesehen von der Fehlernährung). Wichtigste Ursache hierfür ist die fehlende Lebensmittelhygiene beim Endverbraucher. Biogene Toxine (z. B. Bakterio- und Mykotoxine), die während der Lagerung oder Zubereitung von Lebensmitteln entstehen, anthropogene Umweltkontaminationen, chemische Rückstände und Verunreinigungen aus landwirtschaftlicher Produktion oder Verarbeitung werden als untergeordnete Probleme beurteilt. Ob und in welchem Umfang niedrige Dosen oder Synergismen von Zusatz- und Fremdstoffen (z. B. Dioxine) in Nahrungsmitteln zum Krankheitsgeschehen beitragen, entzieht sich derzeit einer Bewertung. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass bei häufigem Konsum von hochverarbeiteten Produkten pro Person jährlich mehrere Kilogramm Lebensmittelzusatzstoffe aufgenommen werden.

In Westdeutschland leiden 43 % und in Ostdeutschland 30 % der Bevölkerung unter einer Allergie. Eine Lebensmittelallergie haben ca. 6 % der Bevölkerung (Hermann-Kurz 1999). Transgene Pflanzen und daraus hergestellte Nahrungsmittel könnten evtl. ein höheres aber auch ein niedrigeres allergenes Potenzial haben als konventionell gezüchtete Pflanzen. Gesundheitsrelevante Risiken durch Aufnahme gentechnisch veränderter oder bestrahlter Lebensmittel sind theoretisch vermutbar (z. B. durch Aufnahme von Fremd-DNA, Antibiotikaresistenzen oder modifizierten Inhaltsstoffen), aber bisher nicht nachweisbar.

## 3.2. Trends

### 3.2.1 Agrarische Produktion

Die agrarpolitischen bzw. wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und die Einführung neuer Produktionstechniken bzw. -mittel<sup>63</sup> haben zur Intensivierung und Spezialisierung der deutschen Landwirtschaft geführt. Die zukünftigen Ertragssteigerungen durch technische Innovationen und Verfahren zur Produktivitätssteigerung werden aus gegenwärtiger Sicht vermutlich deutlich geringer ausfallen als in der Vergangenheit. Besonders im Pflanzenbau werden die biologischen Grenzen des Ertragszuwachses erkennbar werden.

Wenn die gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU sich wie geplant verstärkt am Weltmarkt orientiert, würde es zu einem weiteren Abbau von Schutzzöllen und produktionsbezogenen Subventionen kommen. Die geplante EU Osterweiterung<sup>64</sup> wird den Verdrängungswettbewerb (Wachsen, Spezialisieren oder Weichen) im Nahrungssektor verschärfen und den Strukturwandel beschleunigen.

Vorausgesetzt, dass der mit der EU-Agrarreform 1992 eingeschlagene Weg des Abbaus der Preis- und Exportstützungen für Getreide, Rindfleisch und Milch und der Flächenstilllegungen beibehalten würde, müsste dieser auch weiterhin durch direkten Einkommensausgleich<sup>65</sup> flankiert werden, wenn man

---

<sup>63</sup> Mineraldünger, synthetische Pflanzenschutzmittel, Tiermedikamente und moderne Züchtungsmethoden

<sup>64</sup> Im Falle einer Übertragung der gegenwärtigen GAP auf die Beitrittsländer würde dies eine erhebliche Angebotsreaktion zur Folge haben, weil dort die Opportunitätskosten der landwirtschaftlichen Produktionsfaktoren relativ niedrig sind.

<sup>65</sup> Jährlich fließen in Deutschland ca. 27 Mrd. DM öffentliche Hilfen in den Sektor Landwirtschaft. Davon entfallen 12,6 Mrd. DM auf die EU und 10,2 Mrd. DM auf den Bund (Künast 2000). Mit rd. 7,6 Mrd. DM sind ca. 70 % des nationalen Agrarhaushaltes für die landwirtschaftliche Sozialpolitik bestimmt.

nicht einen raschen und sozial harten Strukturwandel in Kauf nehmen will. Trotz Transferzahlungen wird sich die intensivierete landwirtschaftliche Produktion voraussichtlich auf infrastrukturell und natürlich begünstigte Standorte beschränken. Dies würde bedeuten, dass gleichzeitig die landwirtschaftliche Produktion in benachteiligten Regionen mit ungünstigen Standortdingungen (z. B. Hoch- und Steillagen) extensiviert und neuen Anforderungen<sup>66</sup> angepasst oder aber ganz aufgegeben würde. Die Zahl der Gemeinden ohne landwirtschaftlichen Betrieb steigt jetzt schon beständig (@grar.de 2000), mit weiter zunehmender Tendenz. Dies ist mit sozialen, wirtschaftlichen, infrastrukturellen und kulturellen Veränderungen in ländlichen Regionen verbunden.

### 3.2.2 Lebensmittelverarbeitung

Die europäische Lebensmittelverarbeitung steht aufgrund der starken Sättigung der Lebensmittelmärkte, der weltweiten Konzentration im Lebensmittelhandel und umfangreicher Überkapazitäten unter enormem Wettbewerbsdruck, der sich mittelfristig nicht abschwächen dürfte. Insbesondere klein- und mittelständische Betriebe (Mühlen, Zucker-/Stärkefabriken, Molkereien, Schlachtereien und Bäckereien sowie Metzgereien) bleiben die Verlierer in diesem harten Verdrängungswettbewerb.

Größere Unternehmen können die begrenzten Absatzchancen im Inland z.T. durch Erschließung von Exportmärkten kompensieren<sup>67</sup>. Neue Verarbeitungs- und Herstellungsverfahren sowie die Verringerung bzw. Stagnation der Wertschöpfung entlang der Produktionskette dürften auch bei den Großunternehmen zu einem weiter anhaltenden Wettbewerbs- und Innovations- bzw. Differenzierungsdruck führen. Dies könnte eine weitere horizontale Konzentration und einen Zuwachs an Marktmacht einzelner international agierender Großunternehmen<sup>68</sup> bewirken. Die starke Abhängigkeit der Nahrungsmittelindustrie vom Handel und dessen Sortiments- und Distributionspolitik wird mittelfristig bestehen bleiben. Insgesamt dürfte sich der Trend zur Spaltung der Märkte in einerseits billige Massenprodukte und andererseits teure Markenware verstärken.

Aufgrund des gesättigten Inlandmarktes werden Produkt- oder Verpackungsinnovationen für die Ernährungsindustrie zukünftig immer wichtiger werden. Im Trend liegt die systematisch Erschließung bestimmter Zielgruppen mit speziellen, maßgeschneiderten Nahrungsmitteln. Bekannte Beispiele sind Baby-, Kinder-, Senioren-, Diabetiker-, Allergiker- und Sportlernahrung. In diesem Kontext sind auch die Functional Foods (z. B. probiotischer Joghurt) zu nennen, die laut Hersteller aufgrund besonderer Inhaltsstoffe der Förderung der Gesundheit dienen sollen. Eine spezielle Gruppe der funktionellen Lebensmittel sind die sogenannten Nutreuticals, isolierte Nährstoffe, die mittels Gentechnik erzeugt werden. Sie sind zwischen Lebensmitteln und Medikamenten angesiedelt. Von den neuen Produkten sind gegenwärtig 50-80 % kommerziell nicht erfolgreich und müssen nach kurzer Zeit vom Markt zurückgezogen werden (Stockmeyer und Weindlmaier 1999). Auch zukünftig ist von einer hohen Flopprate auszugehen.

---

<sup>66</sup> Die Landwirte könnten evtl. weiter zurückgehende Einnahmen aus der Nahrungsmittelproduktion durch Aktivitäten für die Erhaltung, Pflege und Entwicklung der Kulturlandschaft, für Umwelt- und Naturschutz oder im Bereich Freizeit, Erholung und Tourismus kompensieren.

<sup>67</sup> Deutschland besitzt hervorragende klimatische Bedingungen für die Erzeugung wichtiger Agrarprodukte, großes Know-how in der Produktion und Verarbeitung und eine interessante Produktpalette von hoher Qualität und Wertschätzung. Eine wachsende Weltbevölkerung mit mehr Kaufkraft könnte die zurückgehende Inlandsnachfrage kompensieren. Insbesondere in den asiatischen Schwellenländern könnte die Nachfrage nach hochwertigen Nahrungsmitteln mit höherer Verarbeitungstiefe und Wertschöpfung in den nächsten Jahren ansteigen.

<sup>68</sup> Weltweit setzen 10 Unternehmen (u. a. Nestlé, Novartis, Unilever, Philipp Morris, Procter & Gamble und Mars Incorporated) fast 300 Mrd. DM oder 85 % des Welthandels mit Nahrungsmitteln um (Hofer 1999).

### 3.2.3 *Nahrungsmittelhandel*

Im Nahrungsmittelhandel wird die Konzentrationswelle vermutlich weiter anhalten. Ein Ergebnis dieses Trends könnte sein, dass in wenigen Jahren eine Handvoll global agierender Handelsunternehmen den Großteil des europäischen Nahrungsmittelumsatzes unter sich ausmachen. Dieser Konzentrationsprozess dürfte zu Kosten der Nahversorgung gehen. Viele Gemeinden sind bereits heute ohne Lebensmittelgeschäft. Es deuten sich jedoch auch Gegentrends an. Beispiele sind der Trend zur Regionalisierung<sup>69</sup> und zur Direktvermarktung sowie die Errichtung kleinstrukturierter Nahrungsmittel-Distributionsnetze, z. B. über Tankstellen-Shops. Die zur Zeit diskutierte Verlängerung der Nahrungsmittelversorgungskette bis zum Verbraucher (durch Zustelldienste) und die EU-Osterweiterung könnten zu einem weiteren Anstieg des Straßentransportaufkommens im Nahrungsmittelhandel führen.

### 3.2.4 *Nahrungsmittelnachfrage*

Es wird eine Abnahme der Einwohnerzahl Deutschlands von derzeit 82 Millionen auf 70 Millionen im Jahr 2050 prognostiziert (Statistisches Bundesamt 2000). Dies würde zu einer Verringerung der mengenmäßigen Nachfrage nach Nahrung führen. Durch die demographische Veränderung der Bevölkerungsstruktur (Abnahme junger und Zunahme älterer Kohorte) verschiebt sich außerdem die Zusammensetzung der Nachfrage. Der Bedarf an Nahrungsmitteln für Säuglinge und Kinder wird abnehmen und die Nachfrage nach diätischen, funktionellen und seniorengeeigneten Lebensmitteln steigen. Eine weitere Verringerung der gesetzlichen Leistungen bei der Krankenversicherung und Anreize zum eigenverantwortlichen Erhalt der Gesundheit könnten die Nachfrage nach „gesunden“ Nahrungsmitteln weiter ansteigen lassen.

Für die Weltbevölkerung wird ein Anstieg von derzeit 6,1 Milliarden auf ca. 9,3 Milliarden Menschen im Jahr 2050 prognostiziert (UN 2001). Angemessene Nahrung ist ein Menschenrecht (UNO 1948). Und ein gravierender ökonomischer und politischer Entwicklungsfaktor (FAO 2000). In Entwicklungsländern leiden weltweit 792 Millionen Menschen - vor allem Kinder und Frauen - armutsbedingt an chronischer Unterernährung<sup>70</sup>. Hauptursachen für den Hunger sind kriegsbedingte Auseinandersetzungen sowie Naturkatastrophen. In den Industrienationen und Transformationsländern Osteuropas und der ehemaligen Sowjetunion gibt es 34 Millionen unterernährte Menschen<sup>71</sup>. Gleichzeitig werden in den Industrienationen ca. 800 Millionen Menschen durch Übergewicht gesundheitlich beeinträchtigt (FAO 2000). Bei einer Umstellung auf eine überwiegend pflanzliche Ernährung<sup>72</sup> und einer gleichmäßigen Verteilung der weltweit produzierten Nahrung würde sie z.Z. für die gesamte Weltbevölkerung ausreichen. Jedoch spätestens ab 2025 besteht die Gefahr, dass die Welternährung aufgrund des hohen Bevölkerungswachstums und der im Vergleich dazu geringeren landwirtschaftlichen Produktivitätssteigerung nicht mehr ausschließlich ein Verteilungs- sondern auch ein Kapazitätsproblem darstellen wird. Wenn der Ernährungsstil der Industrieländer (Überernährung, hoher Fleischkonsum) von den wohlhabenden Bevölkerungsgruppen in den Schwellenländern übernommen würde, könnte bei einem anhaltenden Anstieg der Kaufkraft in bestimmten bevölkerungsreichen Staaten (z. B. China, Indien) die weltweite Nachfrage nach tierischen Nahrungsmitteln massiv zunehmen.

---

<sup>69</sup> enge räumliche Verknüpfung zwischen Landwirtschaft, Ernährungshandwerk bzw. Nahrungsmittelindustrie, Handel und Konsum

<sup>70</sup> Z.B. beträgt in 46 % der afrikanischen Staaten südlich der Sahara der Mangel mehr als - 300 kcal/Tag/Person (FAO 2000).

<sup>71</sup> Der Mangel beträgt im Durchschnitt - 130 kcal/Tag/Person (FAO 2000).

<sup>72</sup> Etwa 38 % der Weltgetreideernte wird an Tiere zur Fleischproduktion verfüttert (UBA 1997).

### 3.3 Schlüsseltechnologien

Die Bio- und Gentechnik, neue IuK-Technologien und regenerative Energietechnologien finden in zunehmendem Maße Eingang in den Nahrungsmittelsektor und stellen dort Schlüsseltechnologien dar. Die nachfolgenden Beispiele spiegeln einen Ausschnitt des außerordentlich breiten Anwendungsbereichs der genannten Schlüsseltechnologien wider.

#### 3.3.1 Bio- und Gentechnologie

Nach einer im Auftrag des Bundesforschungsministeriums durchgeführten Studie wird von den 30 wichtigsten Innovationen bis zum Jahr 2020 etwa die Hälfte aus der Biotechnologie kommen. Ein Teilbereich der Biotechnologie ist die Gentechnik – ein die Zukunft prägendes Wissenschaftsgebiet, das auch im Agrar- und Ernährungsbereich neue Perspektiven eröffnen könnte. Wie bei allen umfassenden neuen Entwicklungen stehen auch hier den Chancen mögliche Risiken gegenüber.

##### *Einsatz in der Pflanzenzüchtung und -produktion*

Ein Ausschnitt dieses vielfältigen Spektrums stellen die gentechnisch veränderten Nutzpflanzen und aus ihnen hergestellte Lebensmittel dar. Fast alle Kulturpflanzen werden heute in einer Kombination von Gentechnik und klassischer Züchtung fortentwickelt. Gegenwärtig sind weltweit 54 transgene Pflanzen zugelassen. Davon werden 21 in Nordamerika flächenmäßig angebaut. Weltweit (ohne China) beträgt die Anbaufläche mit transgenen Pflanzen ca. 40 Mill. ha (Jany und Kiener 1999). Wichtigste Ziele der gentechnischen Züchtung sind Toleranzen gegenüber Herbiziden (71 %) sowie Resistenzen gegen Pilz- und Viruserkrankungen oder Insektenbefall (29 %). Die Forschungsarbeiten richten sich jedoch auch auf multigenetisch bedingte Qualitätsverbesserungen<sup>73</sup>. Die Freisetzung und das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen unterliegen in Deutschland einer Genehmigungspflicht<sup>74</sup>. Gegenwärtig ist noch keine abschließende wissenschaftliche Beurteilung der ökologischen und gesundheitlichen Potentiale und Risiken eines weitergehenden Einsatzes der grünen Gentechnik möglich. Dazu sind diese Technologien noch zu jung. Aufgrund ihrer potentiell großen Bedeutung im Rahmen des HGF-Projektes werden von FZJ-MUT die Chancen der grünen Gentechnik detailliert bearbeitet.

##### *Einsatz in der Tierzüchtung und -haltung*

Von Ausnahmen abgesehen sind die Erfolge der gentechnischen Veränderungen in der Tierzüchtung noch sehr gering. Bei Forellen, Karpfen und Lachsen wurde ein schnelleres Wachstum durch die Übertragung von Genen für Wachstumshormone erreicht. In den USA wurde 1994 das Wachstumshormon rBST (rekombinantes bovines Somatotropin) zugelassen. Die Forscher erwarten durch regelmäßige Injektion beim Kalb einen höheren Fleischansatz, bei Milchkühen eine höhere Milchleistung. Kritiker

---

<sup>73</sup> Erstes Produkt war die 1994 entwickelte Flavr-Savr-Tomate von Calgene. Weiter Beispiele sind Kartoffeln mit unterschiedlichem verwendungsorientiertem Verzweigungsgrad der Stärke (d.h. Speise- oder Industriekartoffel), Raps mit mehr ungesättigten Fettsäuren und der goldene Reis mit einem erhöhten Anteil Vitamin A.

<sup>74</sup> Federführende Behörde ist dabei das Robert-Koch-Institut in Berlin; für den Geschäftsbereich des BML wirken die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) bzw. die Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten der Tiere (BFAV) bei den Genehmigungsverfahren mit.

warnen davor, dass dadurch der gesamte Hormonstoffwechsel der Tiere in Mitleidenschaft gezogen werden könnte und erhöhte Konzentrationen körpereigener Hormone in die Milch gelangen<sup>75</sup>.

### *Einsatz in der Nahrungsmittelverarbeitung*

Neben den gentechnisch veränderten Pflanzen (z. B. die Anti-Matsch-Tomate<sup>76</sup>) gehören zu den gentechnisch veränderten Lebensmitteln auch solche, die aus GVOs (Gentechnisch Veränderte Organismen) bestehen (z. B. Ketchup aus den o. g. Tomaten), lebende oder abgetötete GVOs enthalten (z. B. Joghurt mit Lebendkulturen) oder Produkte aus GVOs enthalten (z. B. Zusatzstoffe). In der Lebensmittelverarbeitung werden GVOs als Starter- und Schutzkulturen (z. B. Milchsäurebakterien)<sup>77</sup> oder zur fermentativen Gewinnung von Hilfs- und Zusatzstoffen<sup>78</sup> verwendet. Gegenwärtig sind in der EU und in Deutschland keine GVO-Lebensmittel zugelassen. Jedoch wird die Gentechnik inzwischen bei 60 bis 70 % aller verarbeiteten Lebensmittel im Herstellungsverfahren eingesetzt (Jany und Kiener 1999). Der Einsatz von GVO kann zu Effizienzsteigerungen im Produktionsverfahren führen. Ein Beispiel: In Großbritannien werden beim Bierbrauen gentechnisch veränderte Hefen eingesetzt mit denen die Gärzeit durch Steigerung der Kohlendioxid-Entwicklung verkürzt ist.

### *Handel mit gentechnisch veränderten Lebensmitteln*

Lebensmittel, die aus gentechnisch veränderten Organismen hergestellt werden oder entsprechende Zutaten enthalten (z.B. Soja), stoßen bei den Verbrauchern auf große Skepsis und Ängste. Damit die Verbraucher beim Einkaufen eine Wahlmöglichkeit haben, sieht die Novel Food-Verordnung der EU eine Kennzeichnungspflicht für Lebensmittel mit nachweisbaren gentechnischen Veränderungen vor. Inzwischen gibt es eine Reihe von Nahrungsmittelherstellern und -händler, die auf die Verwendung von Gentech-Soja oder generell auf den Einsatz der Gentechnik verzichten (z. B. HIPP, Dr. Oetker).

### **3.3.2 Internet-Technologien (B2B, B2C)**

Die Nutzung des Internet zu Informations-, Kommunikations- und Geschäftszwecken hat sich in den letzten Jahren auch im Ernährungssektor mit hohen Wachstumsraten ausgeweitet. Dies gilt sowohl für Aktionen zwischen Unternehmen (Business to Business, B2B), Unternehmen-Kundenziehungen (Business to Customer, B2C) und den Kontakt von Unternehmen mit Dienstleistungsunternehmen und öffentlichen Organisationen (Business to Administration, B2A).

---

<sup>75</sup> Ferner muss befürchtet werden, dass es bei mit rBSR behandelten Kühen zu einer geringeren Fruchtbarkeit, einer niedrigeren Lebenserwartung und vermehrtem Auftreten von Mastitis (Euterentzündung) kommt. Der Einsatz in der Fleischproduktion kann bei Kälbern zu Gelenkschwächen, Knochenbrüchigkeit und Herzschwäche führen.

<sup>76</sup> Die Firma Calgene Inc. entwickelte diese transgene Tomate, bei der der Abbau der Zellwände durch Polygalacturonidase unterdrückt und der mikrobielle Verderb verlangsamt werden. Die Tomaten können im Gegensatz zur herkömmlichen Tomate im reifen Zustand geerntet werden und so wertgebende Inhaltsstoffe (Carotin, Vitamin C) voll ausbilden. Da man diesen Tomaten ihr Alter aber nicht unbedingt ansehen kann, ist eine Kennzeichnung des Erntedatums wünschenswert. Die eingeschleuste DNA der Flavr-Savr enthält zusätzlich Information für eine Resistenz gegen Kanamycin, was äußerst bedenklich ist.

<sup>77</sup> Diese GVO sollen/werden in der Milch-, Fleisch-, Obst- und Gemüseverarbeitung, im Back- und Braugewerbe sowie bei Fein- und Frischkostprodukten eingesetzt (werden).

<sup>78</sup> Aus GVO oder den Fermentationsbrühen werden Enzyme, Geschmacksverstärker, Süßstoffe, Aromen, Vitamine und Dickungsmittel isoliert.

In der Nahrungsmittelverarbeitung und im Handel können Internet-Technologien dazu beitragen, Effektivität und Effizienz des Supply-Chain Management durch bessere Zusammenarbeit zwischen Händlern und Herstellern und durch Re-Strukturierungen der Beschaffungs-, Wertschöpfungs- und Logistikketten zu erhöhen. Ziel ist u.a. die Reduzierung der Durchlaufzeiten, Erhöhung der Lieferflexibilität und der Abbau von Lagerbeständen. Gegenwärtig investieren Hersteller (z. B. Global Market Exchange - GMX, Transora) und Händler (z. B. World Wide Retail Exchange - WWRE) von Nahrungsmitteln massiv in die Errichtung und Etablierung elektronischer Marktplätze. Derzeit dienen diese e-marketplaces primär zur Information und Abstimmung von Planungsprozessen, Implikationen auf makrologistische Strukturen sind jedoch wahrscheinlich.

Im B2C-Bereich haben sich bereits verschiedene, allerdings nicht immer erfolgreiche Modelle herausgebildet, um den Point of Sale (POS) vom stationären Handel näher zum Konsumenten zu verschieben (z. B. Home Shopping, Home Delivery). Bei dieser Verlängerung der Versorgungskette mit der Zielsetzung die „letzte Meile“ zum Konsumenten und damit neue Wertschöpfungs-, Marktdifferenzierungs- und Ertragspotentiale zu erschließen, ergeben sich neue Herausforderungen. Insbesondere geht es um die Beherrschung der logistischen Erfüllungsprozesse (Fulfilment) eines sehr heterogen zusammengesetzten Sortiments (Größe, Frische, Druckfestigkeit usw.), dessen Handlingsanforderungen stark variieren.

Zurzeit werden in Deutschland nur 5 % des gesamten Einzelhandelsumsatzes über das Internet abgesetzt (HDE 2000). Dem Online Lebensmittelmarkt wird jedoch eine Spitzenstellung im B2C-Geschäft prognostiziert. Neben traditionellen Lebensmittelhändlern sind deshalb auch andere Unternehmen (z. B. Otto-Versand) in das Online-Geschäft mit Nahrungsmitteln eingestiegen. Wenn e-commerce einen deutlichen Anteil an der Nahrungsmittelbeschaffung erreichen würde, hätte dies weitreichende und mehrdimensionale Konsequenzen. Unklar ist, ob e-commerce zur Erhöhung (Atomisierungseffekt) oder zur Verringerung (Optimierungseffekt) des Verkehrsaufkommens führt und welche Auswirkungen er auf die Stadt- und Raumentwicklung hat.

### **3.3.3 Neue Technologien und Produktionsverfahren**

Neue Techniken<sup>79</sup>, wie beispielsweise die Satellitennavigations-Simulation<sup>80</sup> (englisch sprachig: global positioning system – GPS) zur differenzierten, teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (precision agriculture) können nennenswerte Beiträge zur Verringerung negativer ökologischer Effekte durch die Landbewirtschaftung leisten. Mit dem GPS-System können Bodenbearbeitungstiefe, Saatstärke und Dünger- bzw. Pflanzenschutzmittelgaben an die Standort- und Ertragsverhältnisse große Ackerschläge mit ungleichmäßigen Ertragsvoraussetzungen angepasst werden. Die Nahrungsmittelproduktion könnte so möglicherweise deutlich effizienter (Ressourcenallokation, erhöhte Ressourcenproduktivität) und umweltverträglicher gestaltet werden.

In der Tierhaltung ermöglichen Elektronik und rechnergestützte Prozesssteuerung eine artgerechtere Gruppenhaltung bei intensiver Einzeltierbetreuung und weitgehender Automatisierung aller Arbeitsgänge

---

<sup>79</sup> Geräte zur Ausbringung von Betriebsmitteln (z. B. die PSM-Spritze) sind mit entsprechender Elektronik ausgerüstet. Die Steuerung erfolgt durch Satellitennavigations-Simulation (GPS) mit einem Schlepper-Bordcomputer (BMBF-Forschungs-Verbundprojekt pre agro).

<sup>80</sup> Bilder des Satelliten Landsat-TM werden heute u.a. für europaweite Informationen zu Anbauverteilung (incl. Anteil von Stilllegungsflächen) sowie für aktuelle, großflächige Ertragsschätzungen genutzt. Die bisherige Bildauflösung von 30 x 30 m wird durch freien Zugang zu einem amerikanischen Satellit mit einer Auflösung von 1 x 1 m erheblich übertroffen.

(Schön und Auernhammer 1999). In der Landwirtschaft findet die neueste Technik aufgrund des hohen Kapitalbedarfs nur langsam im Zuge der Ersatzbeschaffung Eingang. Nutznießer dieser Neuentwicklungen dürften in erster Linie kapitalkräftige Haupterwerbsbetriebe und Betriebe, die mit Lohnunternehmen arbeiten, sein.

In der Lebensmittelverarbeitung wird es zu einem vermehrten Einsatz neuer Produktionstechnologien kommen. Dazu zählen beispielsweise die bessere Haltbarmachung durch Hochdruckhygienisierung oder ionisierende Strahlen, der Einsatz von neuen Zusatzstoffen und neuartige Verpackungen (z.B. Active Packaging). Diese Entwicklungen können ökonomische und ökologische Vorteile bringen (z. B. Verringerung des Energiebedarfs zur Kühlung oder Tiefgefrierung).

### 3.3.4 Regenerative Energien

Der Einsatz regenerativer Energieträger (z.B. Rapsöl oder Biodiesel) ist aufgrund der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Gasölverbilligung<sup>74</sup>) gering. Würde der landwirtschaftliche Bedarf an Dieselmotorkraftstoff (1998: 1,67 Mio. t bzw. 5 % des deutschen Dieselmotorkraftstoffverbrauchs) vollständig aus eigenen Quellen (z. B. Rapsöl) erzeugt, würden hierfür rd. 1,7 Mio. ha Anbaufläche (rd. 14 % der Ackerfläche) benötigt.

## Literatur

@*grar.de* (2000): 29 Gemeinden in Baden-Württemberg ohne hauptberuflichen Landwirt. Email-Mitteilung vom 04.10.2000

*ACNielsen* (2000): *Universen 2000*.

*AGÖL (Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau e.V.)*: <http://www.agoel.de>

*Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*. Gravierende Folgen des Fernsehkonsums von Schülern. Pressemitteilung. <http://www.uni-freiburg.de/presse/0009/schu.html>

*Anonymus* (2000): Landwirtschaftszählung 1999 – Erste Ergebnisse einer Großzählung. Baden-Württemberg in Wort und Zahl, 3/2000, S. 131-134

*Arbeitsgemeinschaft Adipositas im Kindes- und Jugendalter* (2001): Leitlinien. <http://www.a-g-a.de>

*Bergmann K. E. und Mensink G. B. M.* (1999): Körpermaße und Übergewicht. *Gesundheitswesen* 61, Sonderheft 2, S. 115-120

*BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hrsg., 2000)*: Agrarbericht der Bundesregierung 2000. BML Bonn

*Bockisch, F.-J.* (Hrsg., 2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Studie als Sondergutachten im Auftrag des BML. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Landbau Völknerode, Sonderheft 211

*Bundeszentrale für Gesundheitliche Aufklärung* (2000): Ess-Störungen – Magersucht, Bulimie und Adipositas. Pressemitteilung. <http://www.bzga.de/aktuell/presse/2000/20001023.htm>

*BVE (Bundesvereinigung der Deutschen Ernährungsindustrie e.V.)*: Jahresbericht 1998/99, Bonn, 130 S.

---

<sup>74</sup> Nach dem seit 1968 bestehenden Landwirtschafts-Gasölverwendungsgesetzes (LwGVG) wird der deutschen Landwirtschaft eine Teilerstattung der Gasölaufwendungen (sog. Gasölverbilligung) von rd. 30,- DM/100 l (jedoch max. 3.000,- DM je Betrieb) gewährt, um Wettbewerbsnachteile gegenüber den EU-Partnern auszugleichen. Der Steuersatz auf Agrardiesel für die Landwirtschaft liegt zurzeit bei 57 Pf/l, soll aber auf 47 Pf/l gesenkt werden. Dann werden von den erhobenen, 80 Pf Mineralöl-/Ökosteuer 33 Pf zurück erstattet.

- Deutsche Adipositas-Gesellschaft* (2001): Adipositas Leitlinien. Psychosoziale Komplikationen.  
[http://www.adipositas-gesellschaft.de/cnt/kap\\_4\\_2.html](http://www.adipositas-gesellschaft.de/cnt/kap_4_2.html)
- Deutsches Institut für Ernährungsmedizin und Diätetik (D.I.E.T.)* (2000): Eröffnungspressekonferenz.  
<http://www.diet-aachen.de/infos.htm>
- Deutsches Institut für Ernährungsmedizin und Diätetik (D.I.E.T.)* (2001): Wie kann ich Mangelernährung erkennen? Verhungern im Schlaraffenland: 3,686 Millionen Menschen in Deutschland sind gefährlich unterernährt.  
<http://www.diet-aachen.de/infos.htm>
- Deutschen Instituts für Ernährungsmedizin und Diätetik (D.I.E.T.)* (2001): Fat is bad. Übergewicht macht krank, unzufrieden, unattraktiv: Fett ist schlecht für die Lebensqualität, die Gesundheit und die Lebenserwartung.  
<http://www.diet-aachen.de/infos.htm>
- Drescher, K.* (1999): Preisbildung und Konzentration im deutschen Lebensmitteleinzelhandel. *Agrarwirtschaft* 48, Heft 6, S. 230-239
- FAO* (2000): The state of the food insecurity in the world 2000. Food insecurity: when people live with hunger and fear starvation. [http://www.fao.org/sof/sofi/index\\_en.htm](http://www.fao.org/sof/sofi/index_en.htm)
- Fasterding, F.* (2000): Nachfolge in landwirtschaftlichen Betrieben in Deutschland. *Berichte über Landwirtschaft*, S. 165-183
- Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung* (1990): Emissionssituation in der Nahrungsmittelindustrie. Studie des Fraunhofer-Instituts für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, Freising
- GEH (Gesellschaft zur Erhaltung alter und gefährdeter Haustierrassen e.V.)*: <http://www.g-e-h.de>
- Hermann-Kurz, E.* (1999): Häufigkeit allergischer Krankheiten in Ost- und Westdeutschland. *Gesundheitswesen* 61, Sonderheft 2, S. 100-105
- Jany, K.-D.; Kiener, C.* (1999): Gentechnik – ein Beitrag zur nachhaltigen Produktion neuer Lebensmittel . Novel Foods, Designer Foods, Functional Foods. Internes Arbeitspapier der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe
- Jungbluth, N.* (2000): Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums: Beurteilung von Produktmerkmalen auf Grundlage einer modularen Ökobilanz. Dissertation. Institut für Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften, ETH Zürich
- Kjier, I.; Simon, K.-H.; Zehr, M.; Kaspar, F.; Bossel, H.; Meier-Ploeger, A.; Vogtmann, H.* (1994): Landwirtschaft und Ernährung. Teil A. Quantitative Analysen und Fallstudien. In: Enquête-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“. Band I (Landwirtschaft), Teil II, *Economia*, Bonn
- Kühn-Mengel, H.* (2001): Verbraucher, Handel und Landwirtschaft zum Verbündeten für eine gesunde Ernährung machen. In SPD-Bundestagsfraktion (Hrsg.): *Argumente – Zukunft sichern- Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland*.
- Leitschuh-Fecht, H.* (2001): Unsere rastlose Lebensweise beschert uns minderwertige Nahrungsmittel. In SPD-Bundestagsfraktion (Hrsg.): *Argumente – Zukunft sichern- Nachhaltigkeitsstrategie für Deutschland*.
- Linckh, G.; Sprich, H.; Flaig, H.; Mohr, H.* (1997): Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Eigenverlag, Stuttgart
- Mensink G. B., Thamm M. und Haas K.* (1999): Die Ernährung in Deutschland 1998. *Gesundheitswesen* 61, Sonderheft 2, S. 200-206
- Neunteufel, M. G.* (2000). Nachhaltige Landwirtschaft – von der Theorie zur Praxis. In: Härdtlein, M. et al. (Hrsg.): *Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft: Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialwissenschaften. Initiativen zum Umweltschutz*, Band 15, Erich Schmidt Verlag, S- 301- 323
- Oltersdorf, U.* (2000): Entwicklungstendenzen bei Nahrungsmittelnachfrage und ihre Folgen. Internes Gutachten der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe im Auftrag des Deutschen Bundestages
- Piorr, A.; Werner, W.* (1999): Nachhaltige Landnutzungssysteme im Vergleich – Bewertung anhand von Umweltindikatoren. In: *Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V., Hrsg.): Nachhaltige Landwirtschaft – Wege zum neuen Leitbild“*. Band 195, DLG Verlag

- Schön, H.; Auernhammer, H. (1999): Neue Techniken der Prozeßsteuerung und Automatisierung im Pflanzenbau und in der Tierhaltung. *Agrarwirtschaft* 48, Heft 3/4, S. 130-140
- Statistisches Bundesamt/Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung (2001): Bevölkerung. Fakten – Trends – Ursachen- Erwartungen. <http://www.statistik-bund.de/>
- Stockmeyer, B.; Weindlmaier, H. (1999): Produktentwicklung in der Ernährungsindustrie – Ausgestaltung und Erfolg. Arbeitsbericht 99/2. Forschungszentrum für Milch und Lebensmittel Weihenstephan, TU München, 8 S.
- Süddeutsche Zeitung (2001): Sozial benachteiligte Kinder essen mehr. <http://www.sueddeutsche.de/gesundheit/thema/uebergewicht/kinder.php3>
- Süddeutsche Zeitung (2001): Volkskrankheit Übergewicht. <http://www.sueddeutsche.de/gesundheit...ma/uebergewicht/uebergewicht.php3>
- Tagwerk (2000): Nachhaltigkeit durch regionale Vernetzung Erzeuger-Verbraucher-Gemeinschaften im Bedürfnisfeld Ernährung (Verbund). Entwicklung und Generalisierung eines innovativen Modells (TAGWERK-Genossenschaft). <http://www.nachhaltig.org/tagwerk/skalen.htm>
- Tapesser, B.; Baier, A.; Ebinger, F.; Jäger, M. (1999): Globalisierung in der Speisekammer. Auf der Suche nach eine nachhaltigen Ernährung. Öko-Institut e.V., Freiburg
- Taylor, C. (2000): Ökologische Bewertung von Ernährungsweisen anhand von ausgewählter Indikatoren. Dissertation am Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotröphologie und Umweltmanagement der Justus-Liebig-Universität Gießen, 179 S.
- Tiefkühlinstitut (2001): Pro-Kopf-Verbrauch 1970-1999. [http://www.tiefkuehlinstitut.de/tkmarkt/allgemeines\\_prokopf99.shtml](http://www.tiefkuehlinstitut.de/tkmarkt/allgemeines_prokopf99.shtml)
- UBA (1997): Nachhaltiges Deutschland. Wege zu einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung. Erich Schmidt Verlag, 355 S.
- UBA (1997): Daten zur Umwelt. Verpackungen. <http://www.umweltbundesamt.org/dzu/Y00191.html>
- UN (2001): World Population Prospects. The 2000 Revision. <http://www.un.org/esa/population/wpp2000.htm>
- UNO (1948): Allgemeine Erklärung der Menschenrechte. <http://amnesty.de/kampagnen/aedmr50/aemr.htm>
- Utz, H.; Korn, M.; Brune, D. (1991): Untersuchung zum Einsatz bioabbaubarer Kunststoffe im Verpackungsbereich. BMFT-Forschungsbericht Nr. 01-ZV 8904. Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, München
- von Koerber et al. (1999): Vollwert-Ernährung, Konzeption einer zeitgemässen Ernährungsweise; 9. überarb. Auflage, Karl F. Haug Vlg. Heidelberg
- Wintzer, D.; Leible, L.; Rösch, C.; Bräutigam, R.; Fürniss, B. Sardemann, G. (1996): Wege zur umweltverträglichen Verwertung organischer Abfälle. Schriftenreihe Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 97, Erich Schmidt Verlag, 373 S.
- Wuppertal-Institut (1996): Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie GmbH im Auftrag von BUND und MISEREOR, Birkhäuser Verlag, Basel





## VII. Arbeitspaket

# **Nachhaltige Landnutzung in der Kulturlandschaft**

**Prof. Dr. Heidrun Mühle**

Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (UFZ)

**Dr. Robert Backhaus**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)



## 1. Zusammenfassung

Ziel des Projekts ist, die Nachhaltigkeit der Landnutzung – unter Zuhilfenahme von Qualitätszielen, Qualitätsstandards und Indikatoren(systemen) – anhand ihres Anpassungsgrades an das Leitbild zu überprüfen. Während über allgemein formulierte Nachhaltigkeitsziele sowohl national als auch international oft Konsens besteht, bedarf die Operationalisierung dieser Ziele in vielen Fällen eines regionalisierten Ansatzes (vgl. JAEGER 2000), d.h. einer räumlichen und funktionsbezogenen Differenzierung von Umweltqualitätszielen. Dies gilt insbesondere für die Nachhaltigkeit der Landnutzung in stark anthropogen geprägten Kulturlandschaften.

In einer vergleichenden Untersuchung zweier (nord)mitteleuropäischer Landschaftsräume (Eilenburger Endmoränengebiet bei Leipzig in Sachsen sowie Eider-Treene-Sorge – Niederung in Schleswig-Holstein) mit starken Unterschieden in Nutzungsintensität, Bewirtschaftungssystem sowie Nutzungsgeschichte in den vergangenen Jahrzehnten sollen bewährte sowie neue Methoden und Konzepte der Landschaftsbewertung und -optimierung sowie Indikatorensysteme im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der aktuellen realen Nutzung dieser Landschaften erprobt und weiterentwickelt werden. Es wird ein umsetzungsorientierter, landschafts- und landnutzungsbezogener, multikriterieller Forschungsansatz gewählt, der mehrere Landschaftsfunktionen gleichzeitig betrachtet.

Auf der Basis von normativen Vorgaben<sup>82</sup> und einer Analyse und Bewertung des Ist-Zustandes der Regionen werden Szenarien für zukünftige Landnutzungsoptionen definiert und die Auswirkungen ihrer Umsetzung auf die landschaftsökologischen Funktionen (z.B. DE GROOT 1992, MANNSFELD 1999) bewertet und zur räumlich expliziten Präzisierung des Leitbildes herangezogen. Ein maßgebliche Rolle spielen hierbei funktionelle und strukturelle Indikatoren, sowie Indikatoren der zeitlichen Veränderungsdynamik, und deren Umsetzung in regionale Umwelt-Qualitätsziele. In *Abbildung 1* ist die Vorgehensweise im Projekt schematisch dargestellt. Das Projekt wird vom Umwelt-Forschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (UFZ) und vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) gemeinsam im Verbund mit dem HGF-Projekt "Zukunftsfähigkeit" durchgeführt.

## 2. Projektziele

Gravierende Nachhaltigkeitsrisiken für die Bundesrepublik Deutschland lassen sich auf den Konflikt zwischen den raum-zeitlichen Verteilungsmustern von intensiver landwirtschaftlicher Produktion und urbaner Infrastruktur einerseits und den hochgradig nachhaltigkeitsrelevanten ökologischen Regulationsfunktionen andererseits zurückführen. Als Beispiele für diesen Problemkomplex seien genannt die **Degradation** von **Boden** und **Landschaftswasserhaushalt** (PIMENTEL 1997, HELD 1997, RIPL 1995) sowie die Verluste an ökologisch funktionaler **Biodiversität** infolge von Biotopzerstörung. So hat für die ökologische Nachhaltigkeitsdimension der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen bereits wiederholt auf die Notwendigkeit des räumlichen Bezugs hingewiesen, und zwar unter dem Aspekt der **Zustandsbewertung** und der Ableitung von **Handlungsempfehlungen** (SRU 1994, Tz. 157; SRU 1998, Tz. 206).

---

<sup>82</sup> Gesetzliche Programmen und Pläne der landes- und regionalen Planungsebenen, sowie die Nachhaltigkeitsregeln der ökologischen Dimension (Enquete Kommission des Deutschen Bundestages)

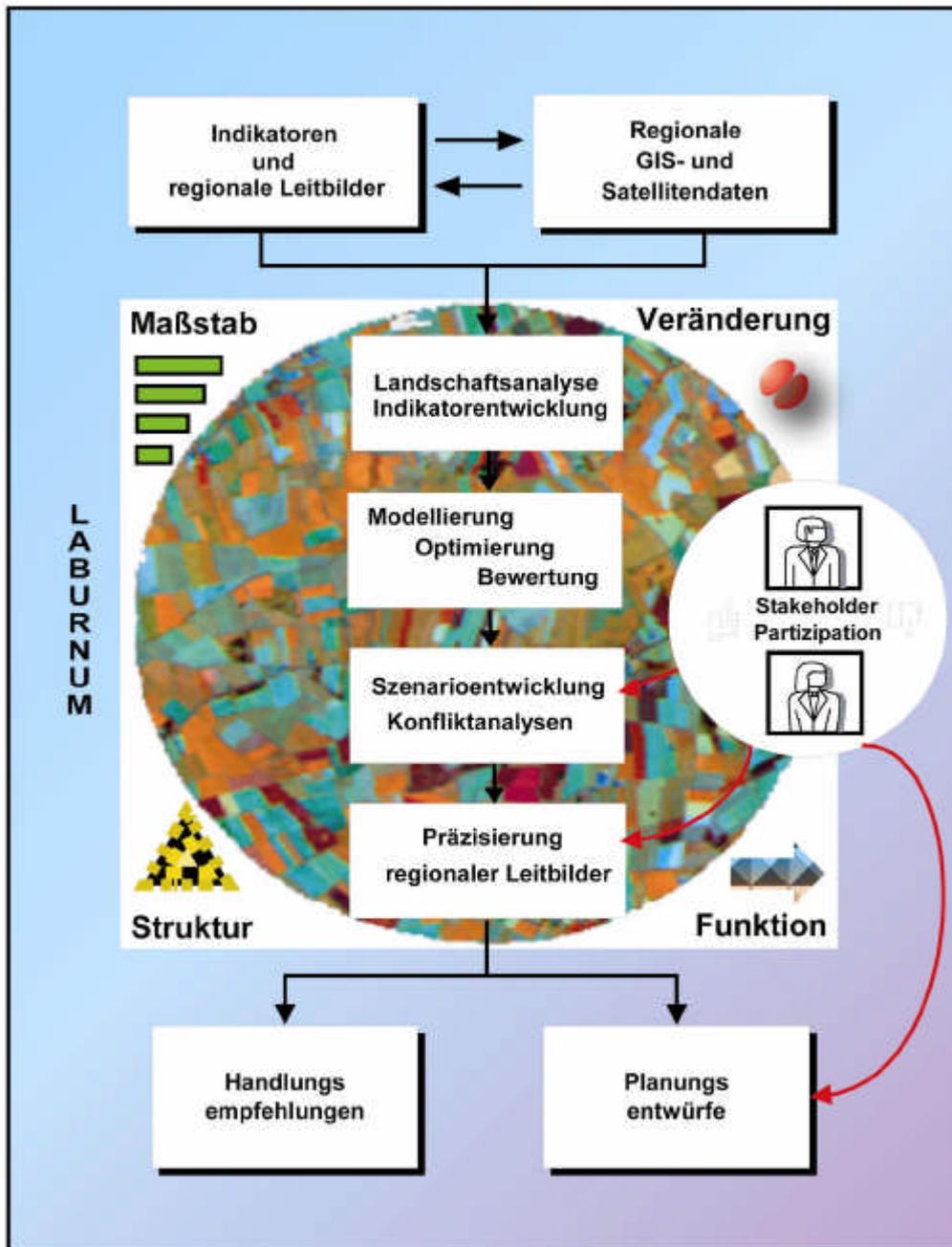


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Projektstruktur. Wesentliche Indikationsprinzipien: Veränderung, Struktur, Funktion, in Abhängigkeit vom Maßstab.

Im Rahmen eines integrierten Konzepts nachhaltiger Entwicklung kann daher auf die Einbeziehung **räumlich expliziter regionale Ansätze** nicht verzichtet werden. Dies gilt vorrangig für intensiv genutzte und partiell urbanisierte Agrarlandschaften im Hinblick auf Wasserhaushalt, Bodenfruchtbarkeit und Ertragssicherung, ökologisch funktionale Artenvielfalt und abiotische Regulationsfunktionen.

Die Umsetzung derartiger Konzepte erfordert die Ermittlung des Ist-Zustandes der Region und die Formulierung eines Zielszenarios, von dem Umgestaltungsmaßnahmen abzuleiten sind. Regionen sind meist geprägt von einer typischen abiotischen und biotischen Ausstattung sowie von ökonomischen und sozialen Besonderheiten, die sowohl bei der Einschätzung des Ist-Zustandes als auch bei der Zieldefinition und bei der Ableitung der Maßnahmen berücksichtigt werden müssen.

Die in dem Projekt untersuchten Regionen unterliegen unterschiedlichen Determinanten der Landnutzung und des Landschaftswandels. Die **Altmoränenlandschaft der Eider Treene-Sorge-Niederung in Schleswig-Holstein** ist charakterisiert durch entwässerte Hoch- und Niedermoore und eine ausgedehnte Milchwirtschaft. Größere Gebiete der Region sind als integriertes Großschutzgebiet für die Flora-Fauna-Habitat Richtlinie vorgesehen. Generell ist eine Extensivierung der Landschaft zu beobachten. Das **Einlenburger Endmoränen-Hügelland in Sachsen** ist durch Intensivlandwirtschaft gekennzeichnet, in der ein bestimmter Flächenanteil zum Schutz der biotischen und abiotischen Ressourcen umgewidmet werden sollte, da das Testgebiet erosionsgefährdet ist. Es sind verinselte Stellen von Trockenrasen zu finden. Der Raum ist wenig zerschnitten und würde daher einer Reihe von Tier- und Pflanzenarten Möglichkeiten der Erhaltung geben.

In der ländlichen Region in Sachsen soll ein **umsetzungsorientiertes Konzept** für die Erhaltung bzw. die Wiederherstellung der **ökologischen Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes** sowie für eine **dauerhaft umweltgerechte Entwicklung der Landwirtschaft** erarbeitet werden. Es wird ein Verfahren weiterentwickelt, das mehrere Landschaftsfunktionen nach deren Bewertung zu einem Kompromiss zusammenführt. Dazu wird geprüft, wie und in welchem Maße eine derartige Landschaft wieder möglichst viele Funktionen erfüllen kann, das heißt, ob eine höhere biologische Diversität mit einem stärkeren Schutz der abiotischen Ressourcen Boden und Wasser unter Beibehaltung angemessener Erträge zu verbinden ist. Die Ergebnisse können zur Präzisierung des Leitbildes verwendet werden. Das genannte Verfahren ist landschaftsbezogen und landnutzungsorientiert und beruht auf Landschaftsbewertung und –optimierung mit anschließendem landschaftsplanerischem Entwurf. Dabei soll eine Reihe von wichtigen Funktionen wie z.B. die Bodenerosionsgefährdung, die Grundwasserneubildung, das Wasserretentionsvermögen oder die Produktivität einbezogen werden.

In der Eider-Treene-Sorge-Region wird im wesentlichen der gleiche Ansatz verfolgt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die skalenabhängige Evaluierung von strukturellen Nachhaltigkeitsindikatoren auf der Basis von Fernerkundungs- und Geodaten und deren Integration in die Verfahren zur Landschaftsbewertung und –optimierung. Bestehende planerische Entwürfe des Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU), wie die aktuellen Landschaftsrahmenpläne und das aktuelle Landschaftsprogramm mit bestehenden und geplanten Schutzgebieten, sowie die regionalen Raumordnungspläne werden in die Verfahren mit einbezogen.

Für beide Landschaftsräume sind ein **Leitbild, Qualitätsziele und -standards** zu formulieren bzw. zu präzisieren, um sowohl den Ist-Zustand als auch den Soll-Zustand anhand von **Szenarien** miteinander zu vergleichen und **Empfehlungen für die Entscheidungsträger** zu geben. Das bedeutet:

- die Entwicklung von Szenariotechniken zur Bestimmung von optimalen Landnutzungsmustern,
- die Qualifizierung und Quantifizierung multikriterieller Wirkungen von Landnutzungsmustern;
- die räumlich konkrete Darstellung optimaler Landnutzungsmuster auf der Basis einer Bewertung und Optimierung von Landschaftsfunktionen.

Indikatoren, die in regionale Umweltqualitätsziele umgesetzt werden sollen und die der Sicherung von Qualitätsstandards dienen, spielen dabei eine maßgebliche Rolle.

Dabei handelt es sich um

- funktionale Indikatoren
- strukturelle Indikatoren
- Indikatoren der zeitlichen Veränderungsdynamik

**Funktionale Indikatoren** zeigen die Erfüllung landschaftshaushaltlicher Funktionen der untersuchten Landschaftseinheiten in Anlehnung an die Bewertungsanleitung zum Leistungsvermögen des Landschaftshaushaltes (BALV) an. Der funktions-räumliche Forschungsansatz untersucht das Vermögen des Landschaftshaushaltes, bestimmte Leistungen der Ökosysteme und die gesellschaftlichen Funktionen zu erfüllen. In diesem Projekt wird der Ansatz von DE GROOT (1992) verfolgt, der die Funktionen von Natur und Landschaft in Regulations-, Träger-, Produktions- und Informationsfunktionen gruppiert.

**Strukturelle Indikatoren** beruhen auf dem Konzept der Landschaftsmaße (*landscape metrics*) und untersuchen räumliche Verteilungsmuster von Landschaftsobjekten und -klassen in Bezug auf deren Nachbarschaftsbeziehungen, Fragmentierung, Konnektivität etc., um Rückschlüsse auf zugrundeliegende Prozesse und geoökologische Differenzierungen zu erhalten. Viele ökologische Prozesse wie die Sukzession von Pflanzengesellschaften, die Biodiversität, Fragmentierung von Habitaten oder die Ausbreitung von ökosystemaren Störungen werden von räumlichen Faktoren bestimmt (TURNER 1991). Landschaftsstrukturen sind also nicht nur als das Ergebnis ökologischer Prozesse sondern auch als eigener Wirkungsfaktor zu betrachten. Entsprechend widmet sich die landschaftsökologische Forschung in den letzten 2 Jahrzehnten zunehmend der ökologischen Bedeutung von Landschaftsstrukturen und deren Dynamik (FORMAN und GORDON 1986, FORMAN 1995, HOBBS 1997, TURNER 1991).

Die **zeitliche Veränderungsdynamik** kann mit Satellitenbildern (auf einem thematisch und räumlich vergrößerten Raster) bis in die frühen 70er und mit Luftbildern bis in die 30er Jahre zurück untersucht werden. Auch die zeitliche Veränderung der Landschaft soll in ihrer funktionalen und strukturellen Ausprägung untersucht werden. In der funktionalen Kategorie wird die landschaftsökologische Perspektive durch die Untersuchung sozioökonomischer Determinanten ('driving forces') ergänzt. Veränderungen weisen typische raumzeitliche Muster in der Landschaft auf und repräsentieren damit sozioökonomische Transformations- und natürliche Sukzessionsprozesse. Eine Typisierung und differenzierte Analyse dieser Muster in bezug auf ihre landschaftsökologische und sozioökonomische Aussagekraft kann zu neuen Indikatoren mit hohem operativen Nutzen führen.

Der **Anwendungsbezug** wird sowohl 'bottom up' als auch 'top down' sichergestellt. Auf lokalem Maßstab werden Akteure auf einzelbetrieblicher und (landschafts-) planerischer Ebene eingebunden. Nach Möglichkeit wird das Anwendungspotential durch direkte Beteiligung dieser Akteure im Projekt überprüft.

Auf der **übergeordneten strategischen Ebene** ist das HGF-Projekt "Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland" die Plattform zur interdisziplinären Kommunikation der Projektergebnisse und deren Übertragung auf die Ebene der Politikberatung. Die Anwendungen reichen von nationalen Umweltbeobachtungsprogrammen bis hin zu europäischen Initiativen zum Monitoring ländlicher Räume.

### 3. Ausgangshypothesen und Untersuchungsrahmen

Das Ziel einer nachhaltigen Landnutzung kann nur erreicht werden, wenn gesicherte Kenntnisse über die Landschaftsstruktur und ihre Prozesseigenschaften gewonnen und für die Anforderungen in der Praxis aufbereitet werden (MANNSELD 1999). Nachhaltige Landnutzung impliziert, dass sich die Nutzungssysteme in der Kulturlandschaft im Gleichgewicht mit dem Selbstregulierungspotential der betrachteten Landschaftseinheit befindet. Der zunehmende räumliche Druck auf die begrenzten Landschaftsreserven in Mitteleuropa zur Erfüllung verschiedener gesellschaftlicher Nutzungsanforderungen erfordert eine räumliche Optimierung der multifunktionalen Nutzung der Landschaften.

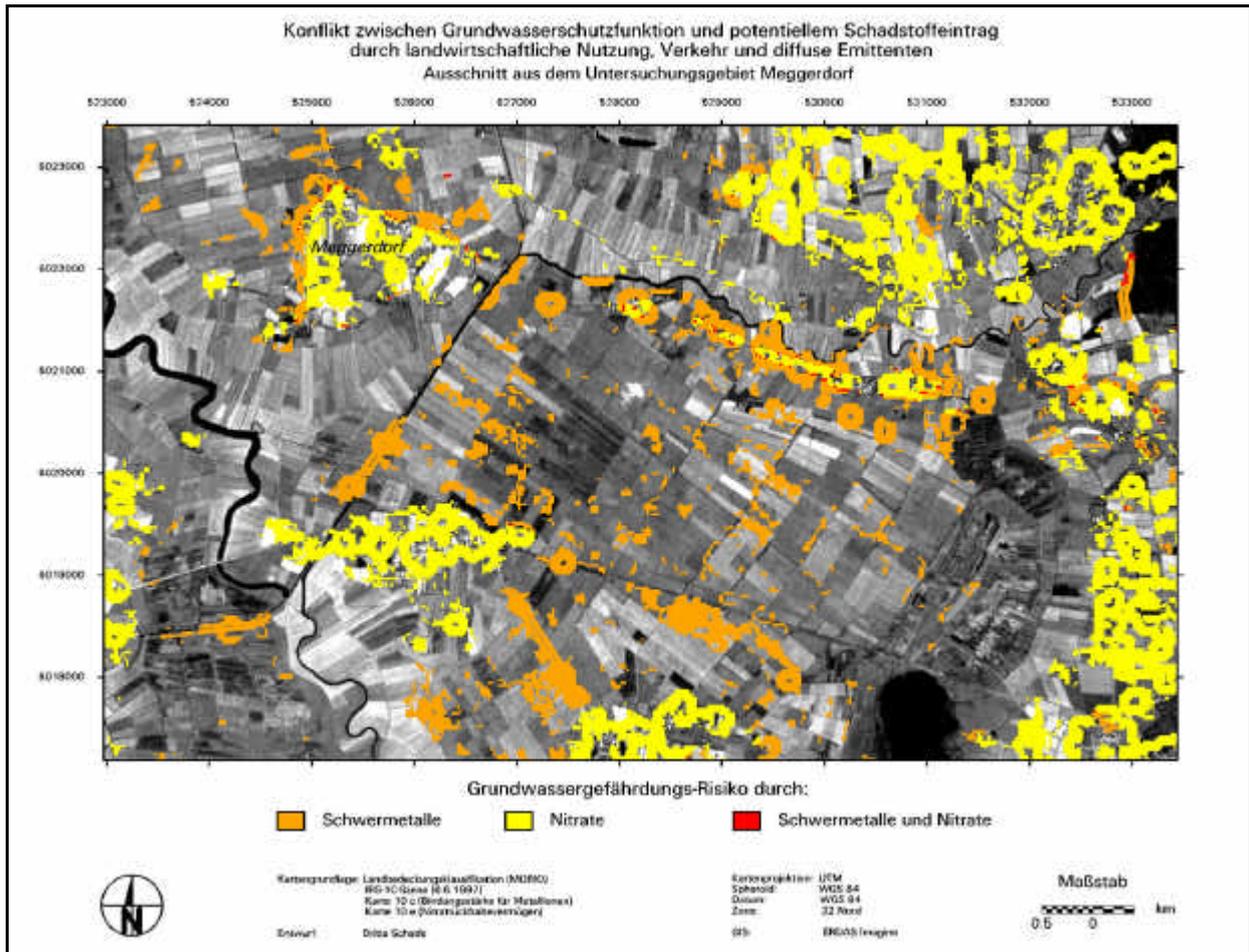


Abbildung 2: Konfliktzonen der Grundwasserschutzfunktion und des potentiellen Schadstoffeintrags diverser Emittenten. (SCHADE 1999)

Die Untersuchung der **funktionalen Indikatoren** dient der Auswahl geeigneter Funktionen für die anschließende multikriterielle Landschaftsoptimierung, mit deren Hilfe Kompromisse zwischen den ausgewählten Landschaftsfunktionen gefunden werden sollen. Während in der Vergangenheit in agrarisch geprägten Räumen die Produktions- und Trägerfunktionen im Mittelpunkt des Interesses standen, sind im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung möglichst alle Hauptfunktionen mit einer bestimmten Anzahl der Teilfunktionen zu betrachten. Die Regulationsfunktion des Landschaftshaushaltes soll nicht mehr als Gratisleistung, sondern gleichrangig mit den anderen Funktionen bewertet werden. Soweit möglich

werden vorhandene dynamische Prozessmodelle<sup>83</sup> komplementär zur besseren Fundierung der Indikatoren eingesetzt. Abbildung 2 zeigt ein Ergebnis einer räumlich expliziten Ausweisung des Konflikts zwischen Grundwasserschutzfunktion und potentiell Schadstoffeintrag diverser Emittenten auf der Basis von integrativen GIS-basierten Bewertungsmodellen.

Das Verfahren der **multikriteriellen Landschaftsoptimierung** wurde für ein Testgebiet auf der Querfurter Platte entwickelt und soll nun unter Einbeziehung weiterer wesentlicher Funktionen auf die beiden Testgebiete übertragen werden. Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine breit und allgemein angelegte Methode zur integrativen Landschaftsentwicklung, die landschaftsspezifisch optimale Landnutzungsmuster begründet.

Dieses Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

1. *Zieldefinition bzw. allgemeine Einschätzung.*  
Die Zieldefinitionen leiten sich aus der Landschafts-Analyse, Diskussionen mit Stakeholdern, regionalen und überregionalen Plänen ab.
2. *Dateneingabe und Wahl der Bewertungsalgorithmen bzw. -methoden.*  
Die Wahl der Bewertungsverfahren ergibt sich aus der Landschaftsanalyse. Die Bewertungsverfahren wiederum bestimmen den Datenbedarf. Die Daten werden in einem Geographischen Informationssystem (GIS) erfasst.
3. *Erste Bewertung, Einordnung in Bewertungsklassen der Funktionserfüllung.*  
Die Bewertungen werden mit GIS durchgeführt. Dabei werden validierte Bewertungsverfahren verwendet.
4. *Landschaftsoptimierung mit dem Ergebnis der optimalen Landnutzungsmuster.*  
Mit dem Verfahren der Landschaftsoptimierung werden Kompromisse zwischen den einzelnen Zielen berechnet. Dafür sind Vorgaben für bestimmte Landnutzungen notwendig. Im Beispielfall „Querfurter Platte“ wurden in entsprechenden Szenarien 7,5%, 15% und 30% der Ackerfläche in naturnähere Strukturen wie extensives Grünland, Wäldchen oder Feldgehölze umgewandelt. Diese Szenarien wurden mit den Stakeholdern diskutiert, die in Übereinstimmung mit den Entwicklern des Verfahrens die Variante „Umwandlung von 7,5% der Ackerfläche in extensives Grünland oder Feldgehölze präferierten.
5. *Entwicklung eines Landschaftsplanes oder eines landschaftsplanerischen Entwurfes zur Einbeziehung kulturlandschaftlicher Information und Strukturen.*  
Da einige kulturlandschaftliche Informationen und lineare Landschaftsstrukturen in der Optimierung momentan noch nicht berücksichtigt werden können, müssen diese in einen Landschaftsplan eingearbeitet werden, wenn sie für die Zielrichtung relevant sind. Das trifft z.B. für Feldraine, Obstbaumalleen oder wegbegleitende Hecken zu, die große Schläge teilen und damit gleichzeitig die Bodenerosion mindern und die biologische Vielfalt erhöhen können.
6. *Zweite Bewertung dient zur Messung der Veränderungen zwischen potentieller Verbesserung und Ziel.*  
Diese Bewertung erfolgt mit den oben verwendeten Methoden. Die potentielle Verbesserung der Funktionseinstufungen werden messbar und dienen zur Argumentation für die Entscheidungsträger.
7. *Handlungsempfehlungen als Ergebnis.*

---

<sup>83</sup> z. B. das Modellsystem CANDY (Carbon And Nitrogen Dynamics) zur Quantifizierung wichtiger Komponenten des Landschaftshaushaltes – Sektion Bodenforschung, UFZ

Für die betrachteten Szenarien der Landnutzung wird der Grad der Funktionserfüllung als Maß der Güte der gefundenen Kompromisse bestimmt. Die Szenarien und deren Funktionserfüllung können kartographisch, textlich und statistisch dargestellt werden.

Die Zusammenhänge zwischen **Strukturmerkmalen** und den zugrundeliegenden Prozessen sind - obwohl in nahezu allen einschlägigen Veröffentlichungen postuliert - bisher nur unzureichend empirisch belegt worden. Sie sind ausgehend von hypothetischen Zusammenhängen unter Isolierung bestimmter Randbedingungen mit empirischen Ansätzen zu untersuchen. Die Aussagekraft dieser vorwiegend geometrischen Indikatoren ist im Hinblick auf die nachhaltige Bewirtschaftung zu überprüfen. Der Zusammenhang mit den funktionalen landschaftsökologischen Bedingungen ist empirisch anhand von Fallbeispielen und diagnostischen Modellen zu prüfen. Die vergleichende regionale Untersuchung kann dazu wertvolle Erkenntnisse beitragen. Die zeitliche Dimension wird als Bindeglied zur Untersuchung der Zusammenhänge funktionaler und struktureller Variablen einbezogen.

Eine weitere Hypothese ist die **Skalenabhängigkeit** (räumlich und zeitlich) der genannten Indikatorensysteme. Die Untersuchung der Skalenabhängigkeit soll letztendlich zu einem konsistenten und anwendungsorientierten System von Arbeitsmaßstäben führen.

Die untersuchten Regionen jeweils in einem alten und neuen Bundesland unterliegen unterschiedlichen Determinanten des **Landschaftswandels**. Während der Wandel in Schleswig-Holstein von einer kontinuierlichen über 20 Jahre ablaufenden Strukturanpassung der Landwirtschaft (z.B. Zunahme der Betriebsgröße, Tendenz zu Konzentration bei gleichzeitiger Zunahme der Nebenerwerbswirtschaft), der schnellen Reaktion auf Maßnahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU sowie der langsamen Reaktion auf naturschutzorientierte Extensivierungsprogramme bestimmt wird, sind die Agrarlandschaften der neuen Bundesländer mit anderen Transformationsprozessen konfrontiert. So ist beispielsweise das Eilenburger Endmoränengebiet bei Leipzig heute durch Gemischt- bzw. Marktfruchtbetriebe mit deutlicher Ausrichtung auf einen möglichst hohen betrieblichen Gewinn (unter Ausnutzung der Fördermittel von Land, Bund und EU) geprägt. Mit Bildung der landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften in den 60-er Jahren wurden eine Vielzahl von Flächen zu großen Produktionsschlägen zusammengelegt, die auch heute noch das Landschaftsbild bestimmen. Die Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung auf einzelnen Flächen sowie die Vorgabe von leitbildbestimmenden Qualitätszielen können zur Gründung neuer Landschaftselemente führen.

#### 4. Stakeholder Partizipation

Die regionale **Konfliktanalyse** und die Erstellung von **Szenarios** wird unter der Einbindung von Stakeholders u.a. in Workshops und Diskussionsforen durchgeführt. Neben Handlungsempfehlungen zur Nutzung und Umwidmung offener, unversiegelter Flächen wird auch die Rolle der Landwirtschaft als Vermittler von Naturbezug und Kulturlandschaft-Pflege im ländlichen Raum analysiert werden.

Das **UFZ** kooperiert hierzu mit dem Staatlichen Umweltfachamt Leipzig, dem Landesamt für Geologie und Umwelt, der Sächsischen Landesanstalt und dem Amt für ländliche Neuordnung Wurzen, welche auch Basisdaten bereitstellen. Schwerpunkte sind u.a. die Untersuchung der Determinanten für eine Flächenumwidmung in intensiv genutzten ländlichen Räumen und die Erarbeitung eines landschaftsplanerischen Entwurfes.

Das **DLR** untersucht schwerpunktmäßig die Auswirkungen von Naturschutz- und Flächenstilllegungsprogrammen auf den Landschaftswandel in den Beispielgebieten, um einen Vergleich der

bestehenden Landschaftsrahmenpläne mit den Ergebnissen der Landschaftsbewertung durchführen und weitergehende Handlungsempfehlungen geben zu können. Das DLR arbeitet eng mit dem Landesamt für Natur und Umwelt in Schleswig-Holstein (LANU) als Schnittstelle zur operativen Planungsebene zusammen, welches auch die erforderlichen Basisdaten zur Verfügung stellt. Die Einbindung weiterer Institutionen aus der Landwirtschaft und Raumplanung und Verbände (NABU) ist in Abstimmung mit dem LANU vorgesehen.

## 5. Stand der Arbeiten

In der z.Zt. laufenden ersten Projektphase wurden / werden von den beiden Projekt-Partnern die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Evaluierung und Zusammenstellung der verfügbaren regionalen Datensätze
- Recherche über verfügbare aktuelle und historische Satelliten- und Luftbildaufnahmen
- Zusammenstellung und Ableitung vorläufiger regionaler Leitbilder
- Evaluierung und Zusammenstellung der gängigen funktionalen Indikatoren unter Berücksichtigung der vorhandenen Datensätze
- Recherche und Aufbau einer Datenbank der aktuellen Veröffentlichungen über die Anwendung von funktionalen und strukturellen Indikatoren in etablierten Fachzeitschriften (*Landscape ecology*, *Landscape and Urban Planning*, *Ecological Modelling*, etc.) und weiteren Arbeiten und Projekte der englisch- und deutschsprachigen geographischen Landschaftsforschung.
- Recherche über verfügbare dynamische Modelle und deren Anwendbarkeit im Projekt.

Nach Abschluss der Datenzusammenstellung wird die Aufstellung eines Datenkatalogs und die Aufbereitung der Daten für die GIS-Integration erfolgen. Darauf aufbauend wird in der zweiten Projektphase die Auswahl und Entwicklung relevanter Indikatoren und Bewertungsmodelle Schwerpunkt sein.

## Literatur

BACKHAUS, R. and S. WEIERS (2000): Der Raumbezug von Nachhaltigkeitsindikatoren. TA-Datenbank-Nachrichten Vol. 9, Nr. 2, 53-56

BLASCHKE, T. and J. PETCH (1999): Landscape structure and scale: comparative studies on some landscape indices in Germany and the UK. In: MAUDSLEY M.J., MARSHALL J.P. (1999): Heterogeneity in Landscape Ecology, IALE(UK)

FORMAN, R. T. T. (1995): Land Mosaics. The ecology of landscapes and regions. Cambridge

FORMAN, R. and M. GODRON (1986): Landscape Ecology. Chichester

GRABAUM, R., MEYER, B. C., & H. MÜHLE (1999): Landschaftsbewertung und –Optimierung. Ein integratives Konzept zur Landschaftsentwicklung. UFZ-Bericht 32/1999, 109 S.

GRABAUM, R.; MEYER, B. C. (1998): Multicriteria optimization of landscapes using GIS-based functional assessments. Landscape and Urban Planning 554 (1998) 1-14

GROOT, R. S: de (1992): Functions of Nature. Evaluation of nature in environmental planning and decision making. Wolters-Noordhoff, Groningen

- HELD, M.*, (1997): Der letzte Dreck - Gründe für die gesellschaftliche Ignoranz der Tragweite der Bodendegradation, *GAIA* 6 Nr. 3, 205-211
- HOBBS, R.* (1997): Future landscapes and the future of landscape ecology. In: *Landscape and Urban Planning* 37 (1997), Nr. 1-2, S. 1-9
- JAEGER, C.C.* (2000): Ein Nachhaltigkeits-Geoskop. Memo zuhanden des deutschen Nationalkomitees für Global Change Forschung
- MANNSFELD, K.* (1999): Naturraumpotentiale, Landschaftsfunktionen. In: *BASTIAN, O.* (Hrsg.) ; *SCHREIBER, K. F.* (Hrsg.): *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft.* Berlin, 1999
- MARKS, R., MÜLLER, M.J., LESER, H. and H. J. KLINK* (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BALVL). *Forschungen zur Deutschen Landeskunde*, Vol. 229, Trier
- PIMENTEL, D.* (1997): Soil Erosion and Agricultural Productivity: The Global Population/Food Problem. *GAIA* 6, no. 3, 197-204
- RIPL, W.*, (1995): Nachhaltige Bewirtschaftung von Ökosystemen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. In: *P. Fritz, J. Huber, H.W. Levi* (Hrsg.): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive*, Hirzel, Stuttgart, 69-80
- SCHADE, B.* (1999): Bewertung von Bodenschutz und Wasserhaushaltsfunktionen mit Hilfe von GIS- und Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Landschaft Stapelholm (Schleswig-Holstein). Unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut der Universität Köln
- SRU* (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1994): *Umweltgutachten 1994: Für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung.* Metzler-Poeschel, Stuttgart
- SRU* (Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1998): *Umweltgutachten 1998: Umweltschutz: Erreichtes sichern - Neue Wege gehen.* Metzler-Poeschel, Stuttgart
- TURNER* (1991): *Quantitative methods in landscape ecology: an introduction.* In: *TURNER, M.* (Hrsg.) ; *GARDNER, R.* (Hrsg.): *Ecological Studies.* Bd. 82: *Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity.* New York, 1991



## VIII. Arbeitspaket

# **Schlüsseltechnologie »Biotechnologie: Innovation und nachhaltige Entwicklung«**

**P. Wiedemann, C. Karger, A. Brüggemann, W.-D. Fugger**

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Programmgruppe „Mensch, Umwelt, Technik“ (MUT)



## 1. Ausgangspunkt und Ansatz

Das HGF-Projekt „Zukunftsfähiges Deutschland“ untersucht neben Aktivitätsfeldern auch Schlüsseltechnologien, um deren Beitrag zur Nachhaltigkeit zu bewerten. Dieser Ansatz der wissenschaftlichen Politikberatung zielt somit auf eine rationale Bewertung von Schlüsseltechnologien ab.

Das HGF-Projekt „Zukunftsfähiges Deutschland“ hat hierzu bereits wichtige Beiträge erbracht (Jörissen et al 1999). Zum einen ist das Konzept der Nachhaltigkeit durch das 4-Säulen-Modell genauer bestimmt und durch die Angabe von Nachhaltigkeitsregeln und Indikatoren weitgehend operationalisiert.

Damit der Beitrag einer „*Emerging Technology*“<sup>84</sup>, wie z.B. der IuK Technologie, der Nanotechnik oder der Biotechnologie, zur Nachhaltigkeit abschätzt werden kann, sind eine Reihe von Problemen zu lösen. Dazu gehören u.a. die Bestimmung der Systemgrenzen (z.B. Zeithorizonte und Betrachtungsgebiete) und die Auswahl der Referenztechnologien.

Eine besondere Schwierigkeit jedoch besteht darin, dass bei sogenannten emerging Technologies - im Gegensatz zu reifen Technologien - der empirischen Technikfolgenabschätzung enge Grenzen gesetzt sind (Doering & Parayre 2000). Zwar ist es allgemeines Wissen, dass Technologien gesellschaftliche Wirklichkeit verändern. Ob diese Veränderungen vorab erkannt und beeinflusst werden können ist jedoch eher eine ungelöste Frage (Day et al., 2000).

Per Definition befinden sich „Emerging Technologies“ noch weitgehend im Vorfeld technischer Anwendungen bzw. in einem Entwicklungsprozess, der immer wieder neue Möglichkeiten eröffnet. Somit bestehen erhebliche Unsicherheiten darüber, welche Möglichkeiten diese Technologien haben werden, wo sie zum Einsatz kommen und welche Folgen resultieren. Zum anderen werden diese Unsicherheiten - sowohl von Experten als auch bei den verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen - unterschiedlich bewertet. Deshalb kann über die Chancen und Risiken selbst dann kein Konsens erreicht werden, wenn die Beurteilungsaspekte über Nachhaltigkeitsindikatoren präziser gefaßt sind.

Aus der Sicht der Politikberatung, um die es letztlich auch bei der Umsetzung der Nachhaltigkeit geht, läßt sich somit festhalten: Ein entscheidender Aspekt bei der Bewertung, ob eine neue Technologie nachhaltig ist oder nicht, betrifft den Umgang mit Urteilsunsicherheiten (Courtney et al. 1999). An dieser Stelle setzt unser Projekt an. Ziel ist es, die folgenden Sachverhalte zu erfassen:

- Wie werden die Chancen und Risiken der Schlüsseltechnologie beurteilt?
- Wie werden diese Urteile begründet?
- Welches Maß an Urteilssicherheit ist damit verbunden und wie wird die Unsicherheit bei der Bewertung der Technologie berücksichtigt?

Dazu werden Experten unterschiedlicher Werthaltungen in einen Reflexionsprozess einbezogen, der nicht nur Chancen- und Risikourteile, sondern insbesondere die Basis der Urteile offenlegt (siehe Abb.1). Der Expertenpluralismus soll gewährleisten, die gesamte Bandbreite von Argumenten zu erfassen.

---

<sup>84</sup> „Emerging technologies are science –based innovations that have the potential to create a new industry or transform an existing one.... Emerging technologies are those where (1) the knowledge base is expanding, (2) the application to existing markets is undergoing transformation, or (3) new markets are being tapped or created.“  
Day et al., 2000, S.2).

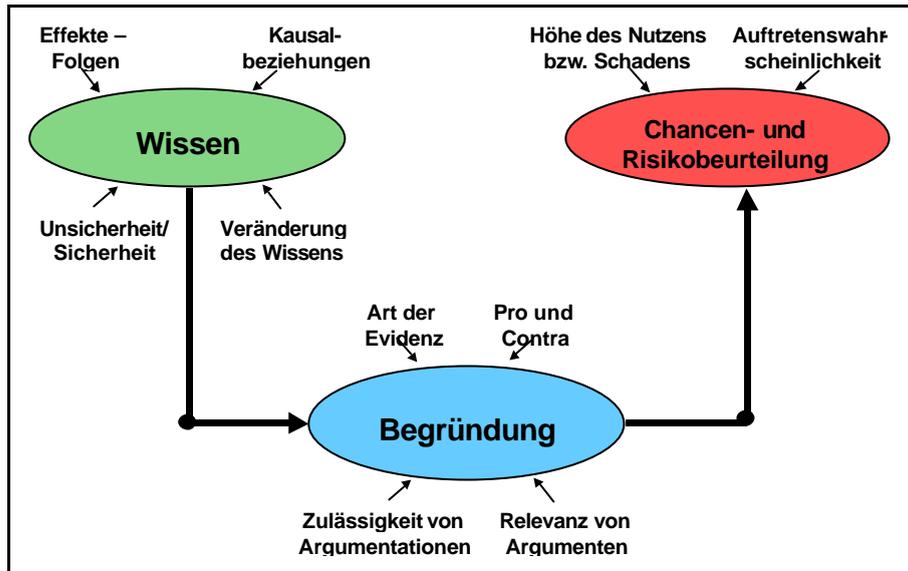


Abbildung 1: Ansatz zur Analyse der Evidenz

Begründungen werden in zweifacher Hinsicht eingefordert: Begründungen für das Chancen- bzw. Risikourteil „Was spricht dafür“ bzw. „Was spricht dagegen“ und Begründungen für die Urteilssicherheit bzw. -unsicherheit des eigenen Urteils „Was macht mich sicher“ bzw. „Was macht mich unsicher“.

Mit diesen Fragestellungen knüpfen wir an Arbeiten an, die sich mit der Risikobeurteilung der Bio- und Gentechnologie auseinandergesetzt haben (z.B. van den Daele et al., 1996; Beckmann et al., 2000), erweitern diese jedoch, indem wir Begründungen und Urteilssicherheit in den Mittelpunkt stellen. In bezug auf die Chancenbeurteilung ist die Frage der Evidenz so bislang noch nicht bearbeitet worden.

Diese Analyse soll helfen, (1) die Grundlagen für eine rationale Bewertung der Nachhaltigkeit von neuen Technologien zu erweitern. Sie soll weiterhin dazu beitragen, (2) die Möglichkeiten und Grenzen der Nachhaltigkeitsbeurteilung von Technologien aufzuzeigen. Sie soll schließlich (3) zeigen, wie mit nicht weiter einzugrenzenden Unsicherheiten umgegangen werden soll. Damit soll unser Vorhaben auch einen Beitrag zur strategischen Politikberatung liefern: Wie ist mit Technologien zu verfahren, die sich einer eindeutigen Bewertung nach Nachhaltigkeitsaspekten entziehen? Im einzelnen bearbeiten wir dies mit dem nachfolgend beschriebenen Arbeitsprogramm.

## 2. Arbeitsprogramm

Das Arbeitsprogramm gliedert sich in vier Arbeitspakete. Die Ergebnisse der verschiedenen Arbeitspakete bauen aufeinander auf. Die Bearbeitung der verschiedenen Aufgaben in den Arbeitspaketen erfolgt jeweils unter Einbeziehung unterschiedlicher gesellschaftlicher Akteure.

Arbeitspaket 1: Chancenbeurteilung: Im Arbeitspaket 1 werden Chancenpotentiale der Bio- und Gentechnologie am Beispiel der Pflanzenzüchtung in der Grünen Gentechnik identifiziert und im Hinblick auf ihre Evidenz untersucht.

Arbeitspaket 2: Risikobeurteilung: Das Arbeitspaket 2 setzt sich mit der Evidenz von Risiken an zwei Referenzfällen auseinander. Aus dem Bereich der Grünen Gentechnik wird das Gesundheitsrisiko bei Nutraceuticals fokussiert und bei der Roten Gentechnik das Infektionsrisiko bei der Xenotransplantati-

on. Diese Anwendungsbereiche sind in Gesprächen mit Experten über zukünftige innovative Entwicklungen identifiziert worden.

Sowohl in Arbeitspaket 1 als auch in Arbeitspaket 2 werden Biotechnologie-Experten unterschiedlicher Werthaltungen einbezogen.

Arbeitspaket 3: Evidenzmodell: Im Arbeitspaket 3 werden die Ergebnisse aus den Arbeitspaketen 1 und 2 herangezogen, um ein Modell zur Evidenzbewertung zu entwickeln und mit relevanten Stakeholdern zu diskutieren. Dabei ist an Experten der Technikfolgenabschätzung mit unterschiedlicher Werthaltung sowie an Vertreter der Politik und Verwaltung gedacht.

Arbeitspaket 4: Szenarien: Im Arbeitspaket 4 soll gezeigt werden, wie mit Unsicherheiten umgegangen werden kann. Anhand von Szenarien werden Umfeldbedingungen erarbeitet, unter denen Potentiale der Biotechnologie vor dem Hintergrund der Evidenz von Chancen und Risiken Konsens finden. Solche Szenarien werden an den in Arbeitspaket 2 verwendeten Referenzfällen der Biotechnologie mit verschiedenen Interessengruppen erarbeitet und diskutiert. Dies sind Vertreter der Biotechnologie-Industrie ebenso wie Vertreter von Umwelt- und Naturschutzverbänden bzw. Vertreter von Ärzten bzw. Patientenorganisationen.

In Tabelle 1 sind die Meilensteine der verschiedenen Arbeitspakete aufgeführt sowie der Bearbeitungsstand ausgewiesen.

**Tabelle 1: Projektablaufplan**

Arbeitspakete	Meilensteine						
	Potentiale erfassen	Indikatoren konkretisieren	Verfügbare Evidenz bewerten	Bericht	Interviews mit Experten	Auswertung	Veröffentlichungen
<b>Chancenbeurteilung</b>	Potentiale erfassen	Indikatoren konkretisieren	Verfügbare Evidenz bewerten	Bericht	Interviews mit Experten	Auswertung	Veröffentlichungen
<b>Risiko- beurteilung</b>	Innovationen identifizieren	Interviewleitfaden konzipieren	Interviews mit Experten	Quantitative und qualitative Auswertung	Vertiefende Interviews mit Experten	Auswertung	Veröffentlichungen
<b>Evidenzmodell</b>	Evidenzkriterien erfassen	Arten der Evidenz kategorisieren	Workshop TA-Experten u. stakeholder	Auswertung	Veröffentlichung		
<b>Szenarien</b>	Auswertung vorhandener Studien	Rahmenbedingungen konkretisieren	Leitideen entwickeln	Szenarioworkshops zur Grünen Gentechnik	Szenarioworkshops zur Transplantationsmedizin	Auswertung	Veröffentlichungen

Abgeschlossen
  In Arbeit
  Geplant

### 3. Erste Ergebnisse

#### 3.1 Chancenbeurteilung

Transgenen Nutzpflanzen wird weltweit ein großes Potential zur Ernährungssicherung und zur Durchsetzung einer umweltverträglichen Landwirtschaft zugesprochen (Glick & Pasternack, 1995; Potrykus, 1996; IFPRI, 1999; James, 1999; Quaim & Virchow 1999; Schulte & Käppeli, 2000). Die Chancen der Grünen Gentechnik können grob in fünf Kategorien unterteilt werden:

##### *Sicherung des vorhandenen Ertragspotentials*

Ziel ist hier eine Verbesserung des Ertrags und der Ertragsstabilität durch den Einbau von Resistenzen gegen biotische Streßfaktoren (Insekten, Viren, Pilze, Bakterien, Nematoden) und abiotische Streßfaktoren (Salz, Trockenheit, Hitze).

##### *Steigerung des vorhandenen Ertragspotentials*

Besonders zu erwähnen sind hier markergestützte Genkartierungen, die bei einer Rekombination von Genen aus Landsorten Ertragssteigerungen von bis zu 60 % erlauben (Tanksley und McCouch, 1997).

##### *Verbesserung der Nahrungsmittelqualität*

Es werden verschiedene Aspekte der Nahrungsmittelherstellung bzw. der Verbesserung der -qualität diskutiert, z.B. Anreichern des Nährwertes von Lebensmitteln (u.a. mit wichtigen Aminosäuren, Proteinen und Vitaminen), Entfernung von Allergenen, Verbesserung des Geschmacks und der Lagerfähigkeit sowie Anpassung des Reifezeitpunkts (Kempken & Kempken, 2000).

##### *Produktion nachwachsender Rohstoffe*

Neue Optionen für die Grüne Gentechnik werden in der Produktion von nachwachsenden Rohstoffen (Polymere, Öle und Fette, Kohlehydrate) und von Enzymen gesehen (Kempken & Kempken, 2000). Die Verwendung von Pflanzen als (industrielle) Rohstoffproduzenten (Bioreaktoren) hat sich rasant entwickelt. Neue Technologien und Fortschritte bei den Transformationsmethoden und Verfahren ohne selektierbare Markergene haben diesen Prozeß beschleunigt (De Kathen, 2001).

##### *Herstellung von Impfstoffen und Pharmazeutika.*

Ein großes Potential wird bei der Herstellung von medizinisch-pharmazeutischen Produkten gesehen (Fischer et al., 1999; Fischer et al., 2000; De Kathen, 2001). Ganz neu ist hier z.B. die Entwicklung von Pflanzen mit therapeutisch-pharmazeutischen Eigenschaften, wie z.B. die Banane mit Cholera-Impfstoff oder die Kartoffel mit Antigenen gegen das so genannte Norfolk-Virus, einer der häufigsten Auslöser nahrungsmittelbedingter Erkrankungen in den USA

Unter dem Blickwinkel der Nachhaltigkeit werden folgende Aspekte als Chancen gesehen (siehe Tab. 2)

**Tabelle 2: Chancen der Grünen Gentechnik im Hinblick auf Nachhaltigkeit**

- 
- Ertragserhöhung (Korn, Öl, Zucker, Energie etc.)
  - Erhöhung der Widerstandskraft (Herbizide, Krankheiten, Schädlinge)
  - Verbesserung der Anbaueigenschaften (Standfestigkeit, Reifezeitpunkt etc.)
  - Erhöhung der Streßtoleranz (Trockenheit, Hitze, Kälte, Salz)
  - Verbesserung des/der Nährstoffaneignungsvermögen/Nährstoffeffizienz
    - (effektive Nährstoffaufnahme und -verwertung, biologische Stickstofffixierung etc. )
  - Verbesserung der Qualität (menschliche Ernährung, Fütterung, Verarbeitung, Rohstoffe)
  - Erhöhung der Effizienz der pflanzlichen Photosynthese
  - Übertragung der Fähigkeit zur Stickstofffixierung auf Nicht-Leguminosen
  - Erhöhung der Konkurrenzkraft gegenüber der Ackerbegleitflora
  - Optimierung des Habitus (Bodenbedeckung, Bewurzelung, ev. Mehrjährigkeit).
  - Multifunktionalität der Pflanze (z.B. Körner und Fasergewinnung aus dem Halm)
  - Anpassung von Kulturarten und Sorten an vielfältige Fruchtfolgen oder Mischkulturanbau
- 

Derzeit mangelt es noch an Erfahrungswissen aus der landwirtschaftlichen Praxis. Experimentelle Daten liegen bislang nur wenige, Langzeitstudien überhaupt nicht vor (Schulte & Käppeli, 2000; UBA, 2000). Viele Aussagen zu Auswirkungen transgener Nutzpflanzen und insbesondere hinsichtlich Nachhaltigkeit beruhen daher auf Annahmen und Prognosen, die aus Modellen abgeleitet sind.

Empirische Befunde zu den Chancen transgener Pflanzen unter Anbaubedingungen im Freiland liegen derzeit nur aus den USA vor (Economic Research Service (ERS) des US-Landwirtschaftsministeriums). Nach Angaben des ERS (2000) kann der Anbau von transgenen Nutzpflanzen wie Mais, Baumwolle und Sojabohnen in den USA zu höheren Erträgen, reduziertem Herbizideinsatz und vermindertem Insektizideinsatz führen. Da beim Anbau herbizidtoleranter Pflanzen weniger gepflügt werden mußte, konnte zudem die Bodenerosion drastisch verringert werden. Abhängig von Region, Kulturart und Eigenschaft ergibt sich ein differenziertes Bild. Ertragssteigerungen, Einsparungen beim Pflanzenschutz und Einkommenserhöhungen waren nicht in allen Regionen und bei allen Kulturen zu verzeichnen (ERS, 1999; Fernando-Cornejo & McBride, 2000; Gianessi et al., 2000). Diese Beispiele verdeutlichen, daß der Anbau transgener Pflanzen zwar im Einzelfall zu ökologischen Vorteilen führen kann, datengestützte Aussagen zu einzelnen Zielvariablen, wie z.B. Ertrag, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln jedoch für eine Nachhaltigkeitsbewertung nicht ausreichen.

Das generelle Problem bei der Beurteilung von Nachhaltigkeit ist die Ableitung von Wirkungen landwirtschaftlicher Anbauverfahren – insbesondere von ökologischen- selbst bei ausreichender empirischer Datengrundlage (Christen, 1999; UBA, 2000). Aussagen zur Nachhaltigkeit von transgenen Pflanzen erfordern eine integrierte Betrachtung des gesamten Anbausystems (Korell et al., 1997; Entrup et al., 1998). Hierzu sind weitere agronomische, ökologische und ökonomische Aspekte gleichrangig zu berücksichtigen und mittels Modellierungsverfahren auszuwerten (v. Münchhausen & Nieberg, 1997). Die bisherigen Modellierungsverfahren leiden vor allem unter dem Fehlen von wichtigen und in sich vollständigen Datensätzen (Giddings, 1999). Mittels Modellrechnungen wurde beispielsweise versucht, die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen transgener Pflanzen für unterschiedlich wirtschaftende

Betriebe in der Schweiz zu quantifizieren (Schulte und Käppeli, 2000). Die Berechnungen erfolgten auf der Basis unterschiedlicher Szenarien in Bezug auf Anbaujahr und Produktionsform bei verschiedenen Betriebstypen. Für ausgewählte Anbauverfahren mit Sorten gentechnisch induzierten Resistenzen wurde ein geringerer Energieeinsatz und damit eine höhere Energieeffizienz gegenüber konventionellen und biologischen Anbauverfahren festgestellt. Die Frage der ökologischen Nachhaltigkeit von transgenen Nutzpflanzen kann anhand des Modells jedoch nicht abschließend beantwortet werden, da entsprechende Daten und einheitliche Kriterien für die Bewertung von Nachhaltigkeit bislang fehlen. Bei allen berechneten Varianten führt der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen zu einem höheren landwirtschaftlichen Einkommen (ökonomische Nachhaltigkeit) und die Konkurrenzkraft des Ackerbaus wird gestärkt (soziale Nachhaltigkeit).

Neue Merkmale, die im Hinblick auf das Ziel einer nachhaltigen Pflanzenproduktion große Fortschritte bedeuten, wie z.B. die Erhöhung des genetischen Ertragspotentials der Nutzpflanzen, die Verbesserung der Photosyntheseleistung (Oelmueller et al., 1999), die Fähigkeit von Nicht-Leguminosen zur Stickstofffixierung (hier handelt es sich um völlig neue Pflanzen) (Elmerich et al., 1997; Pedrosa et al., 1999) oder die Toleranz gegen abiotische Stressfaktoren werden durch das komplexe Zusammenspiel mehrerer verschiedener Gene bestimmt (Quaim & Virchow, 1999). Die gentechnische Veränderung solcher polygener Merkmale gestaltet sich als schwierig und langwierig. Mittlerweile sind viele Pflanzengene entdeckt und es ist davon auszugehen, daß in fünf bis zehn Jahren entscheidende Verbesserungen vor allem auf dem Gebiet der Resistenz gegen Schadinsekten, Viren, Pilze und Bakterien erreicht werden (Kempken & Kempken, 2000). Es dürfte auch in absehbarer Zeit möglich sein, stresstolerante, z.B. kalte- hitze- und trockenresistente Pflanzen zu erzeugen (Watzman, 2000; Murakami et al., 2000). Praxisreife Entwicklungen bei der Züchtung von Pflanzen mit verbesserter Nährstoffeffizienz sind innerhalb der nächsten zehn Jahre zu erwarten (Willmitzer, 2000). Gerade in tropischen Anbaugebieten, wo Nährstoffe oft nur in geringen Mengen im Boden vorliegen, könnte man damit dem Ziel, die Produktion nachhaltig zu steigern, näherkommen (De Kathen, 1999; GTZ, 1999; Quaim & Virchow, 1999). Die Aussagen zu möglichen Auswirkungen solcher in der Forschung und Entwicklung befindlichen Innovationen insbesondere hinsichtlich Nachhaltigkeit basieren hier ausschließlich auf theoretischen Extrapolationen bisheriger Entwicklungen.

Es zeigt sich, daß die bislang vorhandenen empirischen Befunde zu den Chancen von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen keine abschließende Beurteilung im Hinblick auf Nachhaltigkeit erlauben. Auch lassen sich derzeit nur schwer allgemein gültige Aussagen treffen, die auf alle Standorte übertragbar sind. Dafür sind die Bedingungen vor Ort - etwa hinsichtlich Boden, Klima oder anderer, auch wirtschaftlicher Parameter, zu unterschiedlich. Zusätzliche Schwierigkeiten treten auf, wenn neue Technologien wie die Gentechnologie im Vorfeld ihrer breiten Einführung auf ihre Wirkungen abgeschätzt werden sollen.

### **3.2 Risikobeurteilung**

In den Interviews mit den Experten wurde ein Risikomodell erarbeitet (siehe *Abb.2* für das Beispiel: Nutraceuticals), auf das sich Aussagen zu Wissen, Risikourteile, deren Begründungen für Urteile sowie Urteilssicherheiten und –unsicherheiten beziehen.

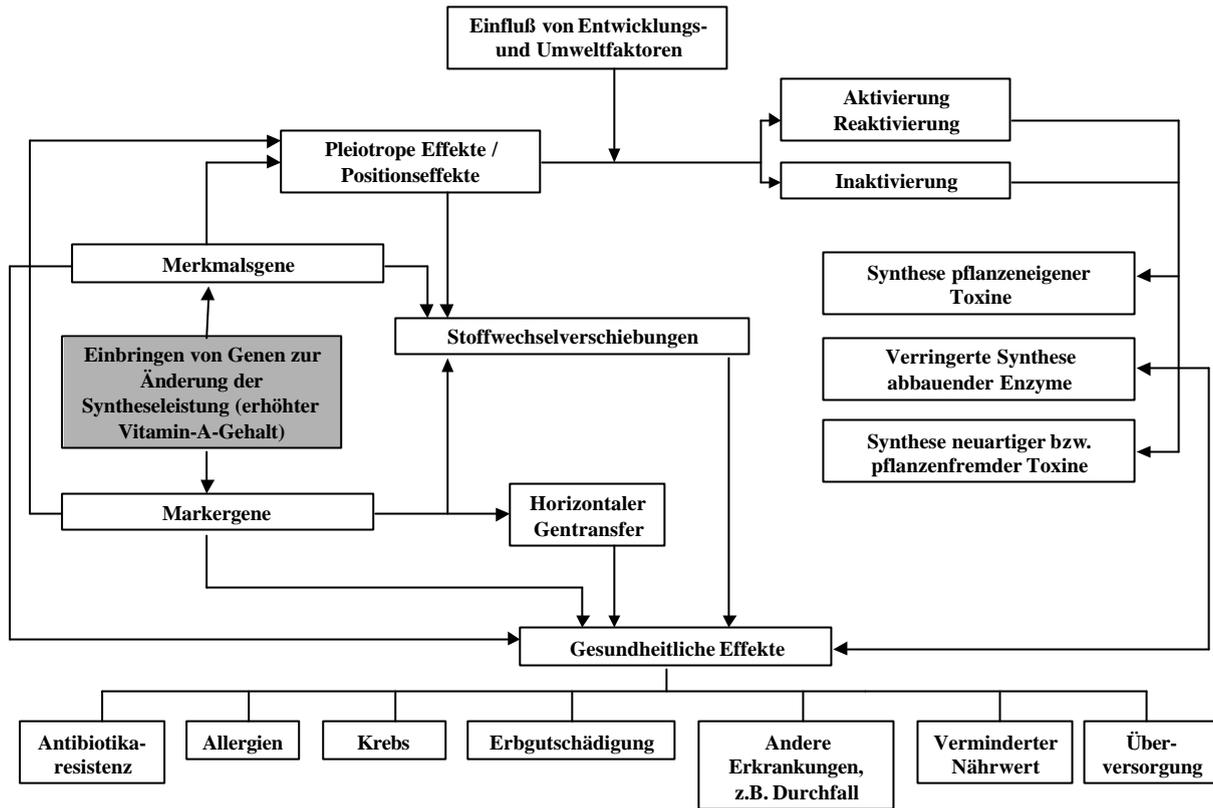


Abbildung 2: Risikomodell für das Beispiel Nutraceuticals

Tabelle 3 zeigt beispielhaft für die Nutraceuticals, wie hoch das Gesundheitsrisiko von den Experten eingeschätzt wurde. Die Werte geben jeweils Minimum und Maximum der Einschätzungen wieder.

Tabelle 3: Auftretenswahrscheinlichkeit und Urteilssicherheit über alle Experten

Gesamteinschätzung	Auftretenswahrscheinlichkeit	Urteilssicherheit
Gesundheitsschäden durch Positionseffekte/Pleiotrope Effekte	Wert <sub>min</sub> = 0 Wert <sub>max</sub> = 50	Wert <sub>min</sub> = 4 Wert <sub>max</sub> = 5

Anmerkung: N=7

Skalen: Auftretenswahrscheinlichkeit: 0 = Schaden tritt sicher nicht ein, 50 = Schaden kann mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eintreten oder nicht eintreten, 100= Schaden tritt sicher ein

Urteilssicherheit: 0 = bin völlig unsicher, 5 = bin völlig sicher

Die Ergebnisse zeigen, daß sich Experten in ihren Risikourteilen unterscheiden. Adverse Effekte werden jedoch von keinem der Experten als sicher erwartet. Entscheidend ist jedoch, daß sowohl Urteile pro Risiko als auch kontra Risiko mit hoher Urteilssicherheit verknüpft sind (siehe Tab.3). Es handelt sich also nicht nur um eine Polarisierung in den Risikourteilen, sondern sie ist gepaart mit der Sicherheit, daß die jeweilige Einschätzung auch zutrifft.

Darüber hinaus zeigt die Auswertung der subjektiven Urteilssicherheit (hier am Beispiel eines Experten), daß sich die Einschätzung der Gesundheitsschäden insgesamt von der Einschätzung einzelner konkreter Gesundheitsschäden unterscheidet (siehe Tab.4, Tab.5)

**Tabelle 4: Gesamteinschätzung von Gesundheitsschäden**

Gesamteinschätzung	Auftretenswahrscheinlichkeit	Urteilssicherheit
Gesundheitsschäden durch Positionseffekte/ Pleiotrope Effekte	10	4 bis 5

**Tabelle 5: Einschätzung konkreter Gesundheitsschäden**

Einschätzung konkreter Gesundheitsschäden durch Positionseffekte/Pleiotrope Effekte	Auftretenswahrscheinlichkeit	Urteilssicherheit
<i>Allergien</i>	10	4
<i>Krebs</i>	30	3
<i>Erbgutschädigung</i>	10	4
<i>Andere Erkrankungen (z.B. Durchfall)</i>	20	4
<i>Vermindeter Nährwert</i>	10	3
<i>Übersorgung</i>	10	4

Skalen: Auftretenswahrscheinlichkeit: 0 = Schaden tritt sicher nicht ein, 50 = Schaden kann mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eintreten oder nicht eintreten, 100= Schaden tritt sicher ein

Urteilssicherheit: 0 = bin völlig unsicher, 5 = bin völlig sicher

Im Detail, bei konkreten Gesundheitsschäden, geben die Experten nicht nur sichere Urteile ab, sondern auch Unsicherheiten. Dies gilt sowohl für die Experten, deren Gesamturteil pro Risiko ausfällt, als auch für diejenigen, die ein Gesamturteil gegen ein Risiko abgeben. Offenbar werden bei der Angabe der Gesamtsicherheit die schwächeren Einzelevidenzen nicht in der Weise berücksichtigt, wie die stärkeren Evidenzen, denn sonst müßte die Gesamturteilssicherheit geringer ausfallen. Inhaltlich ist eine unterschiedliche Gewichtung der Einzelevidenzen nicht begründet. Unsicherheiten bestehen nicht systematisch bei „geringeren“ Gesundheitsschäden. Ein Gesamturteil „sehr sicher“ bei unsicheren Einzelurteilen kann nur zustande kommen, indem letztere „ausgeblendet“ werden.

## 4. Fazit

1. Es zeigt sich, dass die vorhandenen empirischen Befunde zu Chancen gentechnischer Pflanzenzüchtung bislang keine Beurteilung ihrer Nachhaltigkeit erlauben. Zwar können datengestützte Aussagen zu einzelnen Zielvariablen getroffen werden, Aussagen zur Nachhaltigkeit erfordern jedoch eine integrierte Betrachtung. Dazu gibt es allerdings bislang nur Modelle und Annahmen. Für die in der Forschung und Entwicklung befindlichen Innovationen (Effizienz der Photosyntheseleistung, Übertragung der Stickstofffixierung, multifunktionale Pflanzen) sind bislang keine Beurteilungen erfolgt.
2. In zusammenfassenden Risikobeurteilungen kommen Experten unterschiedlicher Werthaltungen nicht nur zu unterschiedlichen Ergebnissen, sie sind sich dessen auch sicher. Die abweichenden Urteile können jedoch nicht gleichzeitig gültig sein. Daher kann das große Vertrauen der Experten in

ihr eigenes Urteil als ein Hinweis auf *overconfidence*, also eine Überschätzung der Güte des eigenen Urteils interpretiert werden (vgl. Lichtenstein, Fischhoff & Phillips, 1982). *Overconfidence* von Experten ist offensichtlich eines der entscheidenden Probleme bei der Abschätzung von Folgen und der Beurteilung von Risiken der Biotechnologie.

3. Die Beurteilung einzelner Schäden zeigt ein differenzierteres Bild. Hier variieren die Angaben der einzelnen Experten zur Wahrscheinlichkeit und der subjektiven Sicherheit. Das (subjektiv sichere) Gesamturteil über den möglichen Schaden ist offenbar kein aggregiertes Urteil von Bewertungen einzelner Schäden. Es scheint vielmehr auf der Auswahl eines Einzelurteils zu basieren. Befunde der kognitionspsychologischen Forschung zum Urteilen und Entscheiden legen diese Interpretation nahe: Bei der Bildung von Urteilen unter Unsicherheit setzen Menschen Heuristiken ein. So werden z.B. Informationen aus der Beurteilungssituation als Anker verwendet, von denen dann Schätzwerte für Wahrscheinlichkeiten nach oben oder unten adjustiert werden (sog. *anchoring and adjustment*-Heuristik; vgl. Tversky & Kahneman, 1974).
4. Die Urteilsbegründungen der Experten zeigen außerdem, dass Erwartungshaltungen eine wesentliche Rolle spielen (z.B. Vertrauen in zukünftige Problemlösungen versus Berufen auf die nicht zu überschauende Komplexität). Risikobeurteilungen sind also zurückzuführen auf Wissen einerseits und auf Erwartungs- bzw. Werthaltungen andererseits. Unterschiede in den Werthaltungen bestimmen die Grenzen der wissensbasierten Herstellung von Konsens über die Beurteilung eines Risikos. Sie sind somit die kritischen Größen und daher in das Zentrum der Betrachtung zu rücken.
5. Aus den Ergebnissen lassen sich Konsequenzen ziehen für die Fortentwicklung von Verfahren zur Abschätzung von Folgen und Beurteilung einer *emerging technology*: Die abschließende Bewertung und Abwahl von Technologie-Optionen ist mithilfe des Nachhaltigkeits-Zielsystems nicht möglich. Das Zielsystem eignet sich nicht, Konflikte abschließend zu klären. Vielmehr ist es zum einen notwendig, die Beurteilung der Chancen und Risiken einschließlich der Unsicherheiten soweit wie möglich transparent zu machen. Zum anderen ist der Prozess der Bewertung in den Mittelpunkt zu rücken. Es geht letztlich um die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, unter denen die weitere Entwicklung der Biotechnologie akzeptabel ist. Dies kann eine Szenario-Analyse leisten, die unterschiedliche Stakeholder einbindet.

## Literatur:

- Beckmann, J. P., Brem, G., Eigler, F. W., Günzburg, W., Hammer, C., Müller-Ruchholtz, W., Neumann-Held, E. M., Schreiber, H.-L. (2000). Xenotransplantation von Zellen, Geweben oder Organen: Wissenschaftliche Entwicklungen und ethisch-rechtliche Implikationen. Berlin: Springer.
- Christen, O. (1999): Nachhaltige Landwirtschaft - Von der Ideengeschichte zur praktischen Umsetzung“. Gesellschaft zur Förderung des Integrierten Landbaus mbH, Bonn, Heft 1, 1999.
- Courtney, H.; Kirkland, J. & Viguerie, P. (1999): Strategy Under Uncertainty. In: Harvard Business Review on Managing Uncertainty, Harvard Business School Press, 1-33.
- Day, George; Schoemaker, Paul J.H. & Gunther, Robert, E. (2000) (Eds.): A Different Game. In: Wharton on Managing Emerging Technologies. New York: John Wiley & Sons, 1-24.
- De Kathen, A. (1999): Transgenic Crops in Developing Countries. A report on field releases, biosafety regulations and environmental impact assessment.
- De Kathen, A. (2001): „Gene-Farming“: Stand der Wissenschaft, mögliche Risiken und Management Strategien. Gutachten zu „spezifische Risiken des Gene-Farming in Pflanzen“. Texte 15/01 Umweltbundesamt (Hrsg.).

- Döring, Don, S. & Parayre, Roch* (2000): Identification and Assessment of Emerging Technologies. In: G.S. Day & P.J.H. Schoemaker with R.E. Gunther (eds), Wharton on Managing Emerging Technologies, New York: John Wiley & Sons, 75-99.
- Elmerich, C., A. Kondorosi, W. E. Newton* (1997): Biological Nitrogen Fixation for the 21<sup>st</sup> Century. In Proceedings of the international Congress on Nitrogen Fixation, Institut Pasteur, Paris, France, July 20-25, 1997, S. 728. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, Volume 31.
- Entrup, N. L., O. Onnen, B. Teichgräber* (1998): Zukunftsfähige Landwirtschaft. Integrierter Landbau in Deutschland und Europa. Studie zur Entwicklung und den Perspektiven. Fördergemeinschaft Integrierter Landbau e.V. (FIP) (Hrsg.). Schriftenreihe „Integrierter Pflanzenbau“ 14/98, S. 295.
- ERS* (06. 09. 2000): Update: Impacts of Adopting Genetically Engineered Crops in United States. Economic Research Service, United States Department of Agriculture. Internet, <http://www.econ.ag.gov/whatsnew/issues/gmo/>.
- Fernandez-Cornejo, J., W. D. McBride* (2000): Genetically Engineered Crops for pest management in U.S. agriculture: Farm level effects. Resource Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture. Agricultural Economic Report No. 786.
- Fischer, R., J. Drossard, U. Commandeur, S. Schillberg, N. Emans, N.* (1999): Towards Molecular Farming in the future: Moving from diagnostic protein and antibody production in microbes to plants. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 30, S. 101-108.
- Fischer, R., K. Hoffmann, S. Schillberg, N. Emans* (2000): Antibody production by molecular farming in plants. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents* 14, 83-92.
- Gianessi, L.P., J.E. Carpenter* (2000): Agricultural Biotechnology. Benefits of transgenic soybeans. National Center for Food and Agricultural Policy. Internet, <http://www.ncfap.org/soy85>.
- Giddings, G.* (1999): The role of modelling in risk assessment for the release of genetically engineered plants. In: Amman K., Jacot Y., Simonsen V. und Kjellson G (eds). *Methods for risk assessment of transgenic plants III. Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science.* Proceedings of the Bern International Conference, 28. 31. 01 1998, Berne, Switzerland, Birkhäuser, Basel.
- Glick, B. R., J. J. Pasternack* (1995): *Molekulare Biotechnologie.* Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin Oxford. S 546.
- GTZ* (1999): Beitrag der Biotechnologie zur nachhaltigen Entwicklung in Partnerländern. Projekt: Biotechnologische Verfahren in der Pflanzenproduktion. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn.
- IFPRI* (1999): Feeding the World in the Next Millennium: Farmers must produce 40 percent more grain. International Food Policy Research Institute, Washington. News release, 27. 10. 1999. Internet: <http://www.ifpri.cgiar.org/>.
- James, C.* (1999): Transgenic Crops Worldwide: Current Situation and Future Outlook. Paper presented at the Conference „Agricultural Biotechnology in Developing Countries: Towards Optimizing the benefits for the Poor“ organized by ZEF and ISAAA in collaboration with AgrEvo and DSE in Bonn, 15 – 16 November 1999.
- Jörissen et al.* (1999): Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung. Forschungszentrum Karlsruhe, Technik und Umwelt, Wissenschaftliche Berichte FZKA 6393.
- Kempken, F., R. Kempken* (2000): *Gentechnik bei Pflanzen. Chancen und Risiken.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Korell, M., S. Schittenhelm, H.-J. Weigel* (1997): Aufstellen von Kriterien für die nachhaltig umweltgerechte Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit – Gentechnik-. Forschungsbericht 112 01 029, UBA-FB 98-008.
- Lichtenstein, S., Fischhoff, B. & Phillips, L.D.* (1982): Calibration of probabilities: The state of the art to 1980. In D. Kahneman, P. Slovic & A. Tversky (Eds.), *Judgement under uncertainty: Heuristics and biases* (pp. 306-334). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Murakami, Y., M Tsuyama, Y Kobayashi, H Kodama* (2000): Trienoic Fatty Acids and Plant Tolerance of high Temperature. *Science* 287, S. 303.

- Oelmueller R., Meurer J., H. Pakrasi* (1999): Funktion, Biogenese und Evolution des Photosystems II. *Biologie in unserer Zeit* 29, S.36.
- Pedrosa, F. O., M. Hungria, G. Yates, W. E. Newton* (2000): Nitrogen Fixation: From Molecules to Crop Productivity. In *Proceedings of the 12th International Congress on Nitrogen Fixation*, Foz do Iguacu, Parana, Brazil, September 12-17, 1999, S. 700. *Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture*, Volume 38.
- Potrykus, I.* (1996): Applied with Care, Gene Technology Substantially Contributes to Sustained Food Security in Developing Countries. In: Potrykus, I (Hrsg.). *New Horizons in Swiss Plant Biotechnology – From the Laboratory to the Field*. Proceedings of a Symposium organized at the ETH Zürich, Zürich, S. 5-14.
- Quaim, M., D. Virchow* (1999): Macht grüne Gentechnik die Welt satt? Herausforderungen für Forschung, Politik und Gesellschaft. Gutachten für die Friedrich-Ebert-Stiftung. Hrsg. Stabsabteilung der Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn.
- Schulte, E. und O. Käppeli* (2000): Ergebnisse zum Forschungsprojekt – Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik. Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds (BATS), S. 145.
- Tanksley, S.D. , S.R. McCouch* (1997): Seed Banks and Molecular Maps: Unlocking Genetic Potential from the Wild. *Science*, 277, No. 22, S. 1063-1066.
- Tversky, A. & Kahneman, D.* (1974): Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185, 1124-1131.
- UBA* (2000): Fachinformation zum Thema Biologische Sicherheit/Gentechnik. Bewertung gentechnisch veränderter Organismen. Internet, <http://umweltbundesamt.de>.
- v. Münchhausen, H., H. Nieberg* (1997): Agrar-Umweltindikatoren: Grundlagen, Verwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse einer Expertenbefragung. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Hrsg.). *Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen*. Fachtagung am 11. und 12. 07. 1996 in Wittenberg. Schriftenreihe „Initiativen zum Umweltschutz“, Bd. 5, Zeller Verlag Osnabrück, S. 13-29.
- van den Daele, W., Pühler, A., & Sukopp, H.* (1996): Grüne Gentechnik im Widerstreit. Weinheim: VCH.
- Watzman, H.* (2000): Hope for the badlands. Salt-resistant plants may help farmers keep deserts away. *New Scientist* No. 2255, S. 9.
- Willmitzer, L.* (2000): Zukunft der grünen Gentechnik noch lange nicht gesichert. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 30. 08. 2000.



## IX. Arbeitspaket

# **Mikrostrukturtechnik und Nanotechnologie als Schlüsseltechnologien**

**T. Fleischer**

Forschungszentrum Karlsruhe,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse



Allgemein gilt, dass die Entwicklung, Herstellung und Verarbeitung von neuen Werkstoffen/Materialien für innovative Anwendungen herausragende Bedeutung für viele Technologiefelder und Wirtschaftszweige hat. Neue Werkstoffe bilden die Grundlage für Weiterentwicklungen in praktisch allen wichtigen Technologiebereichen. Die künftige wirtschaftliche Entwicklung steht in engem Zusammenhang mit Innovationen im Werkstoffbereich.

Die **Begriffe "Neue Materialien" und "Neue Werkstoffe"** werden in Ermangelung einer allgemein anerkannten Definition nicht einheitlich und oft synonym verwendet. Wir verstehen den Bereich der neuen Werkstoffe als den jeweils aktuellen Frontbereich von Werkstoffforschung und -entwicklung. Demzufolge unterscheiden sich neue Werkstoffe in ihrer physikalischen Struktur, ihrer chemischen Zusammensetzung oder in ihrer Funktion von vorhandenen Werkstoffen. Ihre Entwicklung erfolgt zum einen durch **Modifikation konventioneller Werkstoffe** oder aber auf der Basis **neuer Werkstoffkonzepte**.

Die Herstellung von Werkstoffen und ihre Nutzung in Produkten sind von zentraler Bedeutung für zahlreiche menschliche Aktivitäten. Damit verbundene Fragen haben zahlreiche Anknüpfungspunkte zur Diskussion um nachhaltige Entwicklung:

- Die Herstellung von Massen-Werkstoffen (etwa Stähle, Aluminium oder Keramiken) - sowie die Gewinnung von Rohstoffen dafür - ist mit grossen Stoffströmen und Energieverbräuchen und häufig mit erheblichen ökologischen Lasten verbunden. Folglich hat die Entwicklung neuer Werkstoffe und der zugehörigen Produktions- und Verarbeitungstechniken auch erhebliche ökologische Auswirkungen.
- Werkstoffe bestimmen wichtige Design-Parameter weit verbreiteter Techniken mit. Optimierungen von Materialeigenschaften und neue Werkstoffe in heute typischen Anwendungsbereichen können dazu beitragen, ökologische Folgen der Techniknutzung selbst zu mildern. Beispielsweise könnte durch Leichtbau bei Fahrzeugen oder durch bessere Dämmmaterialien im Gebäudebereich eine Reduktion des Energieverbrauchs ohne Komfortverzicht erreicht werden.
- Auch Fortschritte bei Technologien, die nicht auf den ersten Blick mit neuen Werkstoffen in Verbindung gebracht werden, beruhen in erheblichem Maße auf neuen Werkstoffentwicklungen. Dabei spielt die zentrale Rolle neuer Werkstoffe für die Entwicklung innovativer Technologien und neuer marktfähiger Produkte in der öffentlichen Wahrnehmung eine eher untergeordnete Rolle. Dies hat seine Ursache unter anderem darin, daß die Funktionalität eines neuen bzw. weiterentwickelten Systems oder Produkts für den Nutzer im Vordergrund steht und damit häufig die eigentlich entscheidenden Bausteine – die verwendeten Werkstoffe - hinter diese zurücktreten. So machen neue Funktionsmaterialien, z.B. für die Elektronik, neue Produkte oder Technologien überhaupt erst möglich, die ihrerseits beträchtliche ökonomische - und damit verbunden auch soziale, institutionelle und ökologische Konsequenzen haben.

In jüngerer Zeit sind neben die weitere Vertiefung des Wissens über das „klassische“ Materialspektrum (Keramiken, Polymere und Metalle in ihren Ausprägungen als Funktions- und Strukturwerkstoffe) und darauf aufbauende verbesserte Eigenschaften und neue Funktionen zwei neue Entwicklungen getreten.

Die Welt der Materialien wird erweitert durch die Anwendung der **Nanotechnologie**. Mit dem Übergang auf die atomare Dimension ändern sich auch die physikalischen Eigenschaften von Materialien. Dadurch werden neue oder leistungsfähigere Produkte möglich. Wichtige Marktpotentiale für die Nanotechnologie werden u.a. erwartet durch Materialien mit neuen - durch die Nanoskalierung bedingten - Funktionen mit einem sich abzeichnenden Entwicklungstrend weg von der Realisierung von einzelnen

Funktionen und hin zu Materialien mit multifunktionalen Eigenschaften mit einstellbarem Profil; durch die weitere Miniaturisierung bekannter Techniken und Verfahren sowie durch Fertigungstechniken mit höherer Präzision (Maßhaltigkeit). Erweitert werden die Möglichkeiten noch durch das Einbeziehen von Biotechniken oder die Verknüpfung von Nanotechniken mit der **Mikrosystemtechnik**. Diese kombiniert Mikrotechniken wie Mikroelektronik, Mikrooptik und Mikromechanik mit System- und Integrationstechniken. Sie ermöglicht eine Miniaturisierung bestehender technischer Systeme, durch intelligente Systemintegration werden zudem auch neue Produkte möglich.

Vor allem die **Nanotechnologie** erfreut sich in den letzten Jahren eines regen forschungspolitischen - und zunehmend auch medialen - Interesses. Zum einen sind das möglich erscheinende Design von Materialien auf atomarer und molekularer Ebene und damit verbunden die Kontrolle von makroskopischen - ggf. neuen - Produkteigenschaften sowie die weitere Miniaturisierung von Komponenten, Produkten und Verfahren bis hin zum Bau von „Nanomaschinen“ sowohl für Hersteller als auch für Anwender faszinierend. Die Beherrschung dieser Techniken gilt als im weltweiten Wettbewerb erfolgsentscheidend. Teilweise wird der Nanotechnologie sogar eine epochale Bedeutung zugesprochen, da sie für zahlreiche Hochtechnologie-Bereiche marktentscheidende Beiträge liefern kann. Man erwartet von ihr einen bedeutenden Einfluß auf den Güter- und Arbeitsmarkt des 21. Jahrhunderts, einige Verfechter sehen sie als Grundlage einer „dritten industriellen Revolution.“

Zum anderen haben die technologischen Möglichkeiten und Visionen im Bereich der Nanotechnologie - beispielsweise solche von sich selbst replizierenden oder gar autonom agierenden Nanomaschinen oder zukünftige Anwendungen der Nanotechnologie am Menschen, etwa für medizinische Zwecke oder zur Verbesserung seiner sensorischen oder mentalen Fähigkeiten -, die zeitgleich mit einer wieder aufkommenden Debatte über Möglichkeiten und Grenzen der Gentechnik öffentlich gemacht wurden, eine breitere publizistische Auseinandersetzung mit Chancen und Risiken dieser Techniken und ihrer politischen Kontrolle und Steuerung ausgelöst.

Für eine Diskussion von Chancen und Risiken der Nanotechnologie - dies schließt mögliche Beiträge dieser Technologie zur Reduktion von Nachhaltigkeitsdefiziten mit ein - ist es zunächst notwendig, das Themenfeld zu strukturieren und einzugrenzen. Dies stößt auf mehrere methodische Probleme:

1. **Es gibt keine allgemein akzeptierte Definition und Abgrenzung des Gebietes ‚Nanotechnologie‘.** Vielmehr existieren mehrere - eher allgemein gehaltene - Definitionen (v.a. von Wissenschaftlern, Wissenschaftsorganisationen und Politikberatern), die sich z.T. deutlich voneinander unterscheiden. Wichtige Differenzierungsmerkmale sind dabei u.a. ein unmittelbarer Bezug auf die Größenskala, Verweise auf größenbedingte neue Eigenschaften oder Funktionalitäten als definierendes Moment oder auch die Beschränkung auf bestimmte Materialgruppen. In manchen konkreten Fällen ist selbst innerhalb des Wissenschaftssystems strittig, ob es sich dabei um ‚Nanotechnologie‘ handle oder nicht, Termini wie ‚Pseudonanotechnologie‘ oder ‚Real Nanotechnologie‘ machen die Runde. Bei anderen - häufig öffentlichkeitswirksam vorgetragenen - Ansätzen oder Visionen werden Zweifel an ihrer Realisierbarkeit geäußert, nicht selten werden sie als ‚science fiction‘ abgetan. Die forschungspolitische Konjunktur des Themas (mit der Aussicht auf entsprechende Fördermittel) hat zudem weitere Forschungsansätze dazu verführt, unter das Dach ‚Nanotechnologie‘ schlüpfen zu wollen, was diese Debatte weiter angefacht hat.
2. **Nanotechnologie ist eine junge Technologie.** Erste Produktgruppen, deren Verkaufserfolge ihre Ursachen in der Realisation nanoskaliger Architektur mit neuen makroskopischen Funktionen haben, sind bereits auf dem Markt verfügbar. Für eine Vielzahl diskutierter - häufig noch in der Phase der Grundlagenforschung befindlichen - Nanomaterialien und ‚Nano-Effekte‘ existieren -

wenn überhaupt - nur Ansätze für Produktideen und Anwendungsfelder. Aussagen über mögliche Markt-Volumina und Zeiträume der Markteinführung sind hier äußerst spekulativ.

3. **Nanotechnologie ist eine ‚enabling technology‘, die in nur wenigen Fällen einen unmittelbaren Produktbezug hat.** Viele Fortschritte bei bekannten Produkten und Technologien, aber auch neuartige Produkt- und Prozessinnovationen, beruhen auf nanotechnologiebezogenen Materialien oder Verfahren, ohne jedoch auf den ersten Blick damit in Verbindung gebracht zu werden. Für den Nutzer steht die Funktionalität eines neuen bzw. weiterentwickelten Systems oder Produkts im Vordergrund, die dahinter stehenden Werkstoff- und Verfahrensinnovationen werden in der Regel nicht wahrgenommen. Zugleich sind es aber weniger die Nanomaterialien - und -technologien selbst, die beträchtliche ökonomische und damit verbunden auch soziale, institutionelle und ökologische Konsequenzen haben werden. Von weitaus größerer Bedeutung dürfte deren Nutzung in neuen Produkten oder Technologien sein, deren Ausgestaltung sich erst in Ansätzen erkennen lässt.

Eine generalisierte Diskussion von Chancen und Risiken der Nanotechnologie - so wie sie in jüngerer Zeit in den Medien, zunehmend aber auch in der Politik geführt wird -, erscheint darum nicht geeignet und nicht problemadäquat. Vielmehr können Potentiale und Probleme von Nanomaterialien und -technologien in Bezug auf die Dimensionen der Nachhaltigkeit nur bei konkreten Produktinnovationen und deren Nutzung in spezifischen Anwendungsfeldern detaillierter betrachtet werden. Für die Auswahl der Anwendungsfelder bietet sich deshalb zunächst eine Konzentration auf die in der Studie vertieft behandelten Aktivitätsfelder an. Von diesen ausgehend soll dann – nach dem Versuch einer kurzen Übersicht über die gesamte inhaltliche Breite des Feldes ‚Nanotechnologie‘ – vorrangig eine vertiefte Betrachtung der für diese Aktivitätsfelder relevanten Entwicklungen erfolgen.

Auf den ersten Blick bergen viele mikrostrukturtechnik- und nanotechnologiebasierte Produkte – wie auch deren Entwickler für sich reklamieren und sollten sich die erhofften Marktchancen tatsächlich nutzen lassen – auch erhebliche Potentiale für Beiträge zur Nachhaltigkeit. Beispielsweise sollen:

- Selbstreinigende Oberflächenbeschichtungen, etwa für Dachziegel; Schmutz und Wasser abweisende Fassadenfarbe und Fensterrahmen; Sanitärkeramiken, Folien für Verkehrsschilder, Solarmodule oder gar Fenster den Wasser- und Reinigungsmittelverbrauch und die damit verbundenen Ressourcenverbräuche und Umweltbelastungen reduzieren,
- Neue Nanomaterialien Speicher für Wasserstoff ermöglichen, die ein Haupthindernis für seine Nutzung als Kraftstoff für Fahrzeuge, den hohen Aufwand für dessen Speicherung, beseitigen und damit die Vision des wasserstoffbetriebenen emissionsfreien Fahrzeuges wahrscheinlicher erscheinen lassen,
- Mikroreaktoren Reaktionsführungen in der Chemie –und Pharmaproduktion einfacher und effizienter machen und zu einer höheren Sicherheit in der Chemie beitragen,
- durch mikro- und nanostrukturierte Materialien Komponenten der IuK-Techniken oder auch neue Katalysatoren mit höherer Leistungsfähigkeit sowie geringeren Kosten und niedrigerem Energieverbrauch in ihrer Anwendung möglich werden
- Integrierte Systeme auf der Mikro- und Nanoebene neue, schonendere und kostengünstigere medizinische Techniken und Produkte in die Anwendung bringen, etwa die minimalinvasive Chirurgie, bio-elektronische Diagnostiksysteme, Neuroprothesen oder implantierbare künstliche Organe
- Kunststofffolien aus bis zu 1000 einzelnen dünnen Lagen verschiedener Kunststoffe Lichtmanagement in vielfältiger Weise gestatten. Eine vorgesehene Hauptanwendung dieser Folie sind Licht-

schächte in Häusern, mit denen Sonnenlicht über Kanäle und sogar Winkel in fensterlose Innenräume transportiert werden und so auf künstliche Beleuchtung verzichtet werden kann.

Für die überwiegende Mehrzahl dieser Innovationen steckt die Markteinführung jedoch noch in den Anfängen, nicht selten sind technische Realisierbarkeit und die Marktfähigkeit selbst noch nachzuweisen. Dementsprechend fehlen in der Regel schon die Ausgangsinformationen für Life-Cycle-Assessments von Produkten und Verfahren, Analysen in Bezug auf Sekundäreffekte müssen sich auf Vermutungen und das Aufzeigen von Forschungsbedarf beschränken..

Im bisherigen Projektverlauf wurden - auf der Basis von Literaturlauswertungen - zunächst ausgewählte Entwicklungspfade im Bereich der Nanotechnologie und der Mikrosystemtechnik beschrieben. Zugleich wurde der Versuch einer Zuordnung zu möglichen Produkt- und Anwendungsfeldern unternommen. Als problematisch für den Projektfortgang erweist sich dabei, dass für zwei Bereiche, in denen ein großes Einsatzpotential von Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie erwartet wird – Medizintechnik und Gesundheitswesen sowie Komponenten für die Informations- und Kommunikationstechnik – im Projekt kaum aktivitätsbezogene Untersuchungen vorgenommen werden. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind jedoch gerade in diesen Bereichen wichtige Auswirkungen in Bezug auf die Nachhaltigkeitsregeln sowie potentielle Sekundäreffekte – in anderen Technologiefeldern, aber auch in nichttechnischen Bereichen – zu erwarten. Hier muss noch geklärt werden, wie dieser Tatsache im weiteren Projektverlauf Rechnung getragen werden kann.

Im verbleibenden Arbeitszeitraum sollen die erarbeiteten Ergebnisse weiter vertieft und aktualisiert werden sowie – nachdem darauf aufbauend Thesen (ggf. als Technologieprojektionen, d.h. als Beschreibung der zeitlichen Entwicklung in den nächsten Jahren) zu zukünftigen Tendenzen bei Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie entwickelt wurden – vorläufige Ergebnisse mit Experten diskutiert werden.

Zudem soll der Versuch unternommen werden, ausgehend von aktivitätsfelderspezifischen Problemlagen und Handlungserfordernissen Ziele von wissenschaftlich-technischer Entwicklungstätigkeit zu bestimmen und daraus Hinweise dafür zu gewinnen, inwieweit absehbare Entwicklungen auf dem Gebiet der Nanotechnologie und der Mikrosystemtechnik hierzu Lösungen oder Lösungsbeiträge liefern könnte.

Im Ergebnis soll dargestellt werden, welche Produkte und Anwendungen auf der Basis von Mikrostrukturtechnik und Nanotechnologie technisch und ökonomisch vielversprechend sind bzw. hohe Problemlösungspotentiale besitzen und welche - trotz eventueller starker Resonanz in der öffentlichen oder der Fachdiskussion - noch weit von einer Realisierung entfernt sind.

## X. Arbeitspaket

# **Schlüsseltechnologie »Regenerative Energien«**

**J. Nitsch**

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

**C. Rösch**

Forschungszentrum Karlsruhe,  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse



Zu den im Arbeitspaket 9 des HGF-Projekts behandelten Schlüsseltechnologien gehören auch die Technologien zur Nutzung regenerativer Energiequellen. Unter dem Begriff **Regenerative Energien (REG)** werden Primärenergien zusammengefasst, die den uns umgebenden natürlichen Energieströmen entnommen werden. Hierbei handelt es sich in erster Linie um die eingestrahlte Energie der Sonne (Solarstrahlung) sowie um die daraus entstehenden erneuerbaren Energien Windenergie, Wasserkraft, Wellenenergie und Biomasse. Zu den REG gehört auch die geothermische Energie (Erdwärme) und die Gezeitenenergie. Das regenerative Energieangebot ist durch eine große Bandbreite hinsichtlich Art und Energiedichte des Energieträgers, der zeitlichen und räumlichen Verfügbarkeit und der daraus gewinnbaren Sekundärenergieträger gekennzeichnet. Mittels zahlreicher Technologien überwiegend dezentraler Art können diese Energieströme in nutzbare Energieformen wie Elektrizität, Wärme und Kraftstoffe umgewandelt werden /BMU 2000/. Das globale technische Potenzial der gewinnbaren Nutzenergien aus REG beträgt etwa das Sechsfache des gegenwärtigen Weltenergieverbrauchs /Fischedick u.a. 2000/.

Im Rahmen des HGF-Projekts werden die in Deutschland technisch und wirtschaftlich nutzbaren Optionen regenerativer Energien einschließlich der Importoptionen dargestellt. Dies beinhaltet die wesentlichen einzeltechnologischen Kennwerte der Wandlungstechnologien hinsichtlich technischer Leistungsfähigkeit und Potenziale, die derzeitigen und zukünftigen Kosten, die energetischen und stofflichen Herstellungsaufwendungen und ökologische Aspekte. Die abgeleiteten Eckdaten sind Grundlage für die Beurteilung des Beitrags der REG zur Erreichung verschiedener Nachhaltigkeitsziele im Energiebereich. Von besonderem Interesse ist dabei die Frage, welche Erfordernisse, Herausforderungen und Folgen mit der Realisierung der Potentiale regenerativer Energien verbunden sind. Darüber hinaus wird diskutiert, auf welche Weise die Integration und Etablierung der als „nachhaltig“ einzustufenden REG-Technologien in den Strom-, Wärme- und Kraftstoffmarkt am zweckmäßigsten erreicht werden kann.

Die gesamtsystemaren Wirkungen eines stetigen REG-Ausbaus in der Energieversorgung Deutschlands werden mittels eines „**Orientierungsszenarios**“ dargestellt. Das Szenario beschreibt auf der Basis der ermittelten differenzierten Technologie- und Kostenpotenziale, sowie der infrastrukturellen Erfordernisse die Integration eines repräsentativen REG-Technologiemixes in die deutsche Energieversorgung über einen Zeitraum von fünf Jahrzehnten. Dieser lange Zeitraum ist erforderlich, um die Wirkungen des gesamten Prozesses einer REG-Einführung – der aus energiewirtschaftlicher Sicht gerade erst beginnt – hinreichend genau beschreiben zu können. Im Szenario werden dazu mehrere Phasen unterschieden: Bis 2010: Energiepolitisch gestützter „Einstieg“ /vgl. UBA 2000/; 2010 – 2020: „Stabilisierung“ des Wachstums, 2020 – 2030: Vollwertige „Etablierung“, nach 2030: Beginnende „Dominanz“ in der Energieversorgung.

Die Eckdaten für die gesamte Energieversorgung bis 2050 (Bevölkerung, BIP-Wachstum, Anzahl Haushalte, Gebäude und Wohn- bzw. Nutzflächen, Fahrzeuge und Fahrleistungen u.a.) sind Trendentwicklungen<sup>85</sup> entnommen. Die Ausgestaltung des Szenarios orientiert sich dagegen an einem Zielkatalog mit relevanten Handlungsleitlinien, Nachhaltigkeitsindikatoren und „Leitplanken“ (z.B. emissionsbezogene Reduktionszeile im Bereich Luftschadstoffe). Das Szenario lässt sich aufgrund dieses Zielkatalogs in die Kategorie der Nachhaltigkeitsszenarien einordnen. Es beschreibt Wirkungen der Strategieelemente „Konsistenz“ (d.h. Substitution des mit Nachhaltigkeitszielen unverträglichen Verbrauchs fossiler und nuklearer Energieträger durch REG) und „Effizienz“ (d.h. rationellere Energiewandlung bzw. -verwendung).

---

<sup>85</sup> Prognos 2000: Energiebericht III; Prognos 2001: Zwischenbericht für die Enquete-Kommission: FEES, Mex II, 2000.

Der Ausbau der REG-Schlüsseltechnologien im Rahmen des hier beschriebenen Orientierungsszenarios hat zusammenfassend folgende **Wirkungen auf Umwelt, Volkswirtschaft und Gesellschaft**: (Tabelle 1; Abbildungen 1 und 2)

- Im Jahr 2050 können die **REG 45 % des Endenergieverbrauchs** (der dann im Vergleich zu heute um 35 % reduziert ist) decken. Dies entspricht einer Energiemenge von rd. 2.800 PJ/a. Im Jahr 2020 erreicht der Beitrag rd. 900 PJ/a, was einem Anteil von knapp 12 % entspricht (1999: 190 PJ/a). Die technischen Potenziale der REG erlauben nach 2050 einen weiteren Ausbau bis zu einer prinzipiell möglichen **100 %-igen Deckung des Energiebedarfs durch REG**. Von wachsender Bedeutung wird dabei der Verkehrssektor, der im Orientierungsszenario beim REG-Ausbau noch nicht berücksichtigt wurde (z. B. regenerativer Wasserstoff).
- Zur Reduktion der **CO<sub>2</sub>-Emissionen** im Orientierungsszenario zwischen **1999 und 2050** tragen REG mit rund 220 Mio. t/a bei. Dies entspricht gut einem Drittel der gesamten Reduktionsleistung von insgesamt 610 Mio. t CO<sub>2</sub>/a. Hinzu kommen die bereits vermiedenen Emissionen durch die Substitution fossiler Energien von knapp 20 Mio. t/a /BMU 2000/. Nur die verstärkte rationelle Energienutzung (d.h. über die Trendentwicklung hinaus) einschließlich des Ausbaus der Kraft-Wärme-Kopplung kann einen höheren Reduktionsbeitrag (300 Mio. t/a) leisten. Weitere 90 Mio. t/a verringerte CO<sub>2</sub>-Emission stammen aus der Verschiebung des fossilen Brennstoffmixes hin zu Erdgas. Daran zeigt sich auch die Gleichwertigkeit der Handlungsstrategien „Verstärkte rationellere Energienutzung“ und „Ausbau regenerativer Energien“. Die im Jahr 2050 verbleibenden CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen mit 225 Mio. t/a bei 23 % des Bezugswertes von 1990; die CO<sub>2</sub>-Intensität des gesamten Endenergieverbrauchs beträgt 0,037 t/GJ und hat sich damit gegenüber 1999 mit 0,090 t/PJ deutlich verringert.
- Im Jahr 2020 betragen die CO<sub>2</sub>-Emissionen 650 Mio. t/a. Dies entspricht 66 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1990. **Bis 2010 werden die Kyoto-Reduktionsziele<sup>86</sup> mit einer Reduktion um -25 % des 1990er Wertes überschritten**. Die CO<sub>2</sub>-Intensität des Endenergieverbrauchs reduziert sich wegen des Rückgangs der Stromerzeugung aus Kernenergie bis 2020 in diesem Zeitabschnitt erst relativ gering auf 0,085 t/GJ. Für die Bereitstellung von Strom (Endenergie) beträgt die CO<sub>2</sub>-Intensität dann 0,56 kg/kWh<sub>el</sub>. Zum Vergleich: 1999 lag diese bei 0,62 kg/kWh<sub>el</sub>.
- Der zur Erfüllung der Zielvorgaben<sup>87</sup> erforderliche **Ausbau der REG-Technologien** kann von einer modernen Industriegesellschaft bewältigt werden. Die jährlichen Wachstumsraten der Märkte erreichen im Mittel des ersten Jahrzehnt (2000-2010) 20 %, kurzfristig können Werte um 30 % auftreten. Das Beispiel des Wachstums der Windenergie zwischen 1995 und 2000 mit durchschnittlich 50 % pro Jahr zeigt, dass Fertigung, Vertrieb und Installation flexibel genug sind, wenn entsprechende Rahmenbedingungen vorliegen. Entscheidend für einen effektiven Einstieg in die Energiewirtschaft ist eine optimale Abstimmung des Wachstums der Einzeltechnologien untereinander.

---

<sup>86</sup> Auf der Basis der Klimarahmenkonvention von 1992 wurde im Kyoto-Protokoll von 1997 für die Industriestaaten für den Zeitraum 2008-2012 eine Reduktionsverpflichtung von durchschnittlich 5,2 % bezogen auf den sogenannten „Kyoto-Korb“ (bestehend aus den Treibhausgasen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs und SF<sub>6</sub>) festgelegt. Für die EU wurde eine Reduktionsverpflichtung von 8 % festgelegt, zu der Deutschland aufgrund eines vereinbarten Burden Sharing eine Reduzierung von 21% seiner Emissionen beitragen muß. Gleichzeitig hält die Bundesregierung nach wie vor an ihrem 1995 anlässlich der ersten Vertragsstaatenkonferenz in Berlin verkündeten Ziel fest, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland bis 2005 bezogen auf 1990 um 25 % zu reduzieren.

<sup>87</sup> Das Ziel der Verdopplung des Anteils der REG bis 2010 ist im Weißbuch der Europäischen Kommission "Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger" verankert und von dem Ministerrat bestätigt worden. Auch die Bundesregierung hat sich dieses Verdopplungsziel zu eigen gemacht. Es wird mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz ausdrücklich bestätigt. Deutschland (BMU) will bis 2050 den Anteil der REG auf 50 % ausbauen.

der. Zunächst werden preiswerte und technisch schon weiter entwickelte Technologien (Windenergie, Verbrennung von Biomasse, restliche Wasserkraft) den Hauptanteil des wachsenden REG-Anteils leisten. Damit die anderen, noch wenig eingeführten und erprobten (und deshalb i.allg. teureren) Technologien (Solarkollektoren, Erdwärme, Vergasungstechnologie für Biomasse, Photovoltaik) ab 2010 die erforderlichen Beiträge liefern können, müssen sie in ihrer Entwicklung, Demonstration und Markteinführung angemessen unterstützt werden.

- Die mit dem Ausbau von REG verknüpften **ökologischen Belastungen** entstehen im wesentlichen **durch die Anlagenherstellung**. Im Jahr 2050 (REG-Anteil 45 %) werden für einen Inlandsmarkt von dann 50 Mrd. DM/a für Neubau und Ersatz von REG-Anlagen 4,8 % der Stahlproduktion, 5,8 % der NE-Metalle und 0,4 % der Steine/Erden-Produktion benötigt. Die Angaben beziehen sich auf den Umsatz 1999. Vergleichsweise werden derzeit 25 % der Stahlproduktion im Fahrzeugbau und 20 % im Baugewerbe eingesetzt.<sup>88</sup> Kann eine erhöhte Recyclingquote erreicht werden, so erleichtert dies den REG-Ausbau, da die eingesetzten Rohstoffe und Materialien dann weitgehend wieder genutzt werden. Die im Mittel höhere Materialintensität von REG-Anlagen, verglichen mit fossil betriebenen Kraftwerken oder Heizungen, ist kein gravierendes Hindernis für deren Ausbau. Andere Industrie- und Konsumgüter beanspruchen deutlich höhere Materialmengen; steigende Rückführungsquoten von Basismaterialien und eine zunehmend emissionsärmere Energiebereitstellung (vgl. sinkende CO<sub>2</sub>-Intensität) entschärfen diese Problematik generell. Kontaminierte Materialien entstehen bei einem REG-Ausbau praktisch nicht. Die problematischsten Herstellungsprozesse (Wafer für Solarzellen) verlangen in jedem Fall ein ordnungsgemäßes Recycling, wie es z.B. in der chemischen Industrie üblich und vorgeschrieben ist.
- **Weitere ökologische Belastungen** eines REG-Ausbaus können bei sorgfältiger Planung (z.B. Windvorrangflächen), Leistungsbegrenzung (Wasserkraft), entsprechenden Auflagen (Wasserkraft; Emissionen bei Biomassenutzung), in räumliche, flächen- und betriebsbezogene Nutzungskonzepte integrierter Energiepflanzenanbau, angepasste Siedlungskonzepte (Dachflächen- und Fassadennutzung) und einer möglichst rationellen Energienutzung verglichen mit alternativen Optionen weitgehend vermieden werden.
- Der Ausbau der REG-Technologien entwickelt sich bei den angenommenen Ausbauraten zu einem beachtlichen **Wirtschaftsfaktor**. Die jährlichen Investitionsvolumina für den Inlandsmarkt steigen von derzeit knapp 6 Mrd. DM/a auf 11 Mrd. DM/a in 2010, auf 28 Mrd. DM/a in 2030 und auf 50 Mrd. DM/a in 2050 (Tabelle 2). Der letzte Wert entspricht etwa dem Wert der Mineralölimporte des Jahres 2000 (46 Mrd. DM/a), stellt also für die Energiewirtschaft keine neuartige Situation dar. Andererseits werden diese Investitionen zum größten Teil im Inland getätigt, was zu erheblichen Strukturveränderungen in der Vorleistungsstruktur der Energieversorgung führen wird. Ressourcenkonsum (Energieträgerimport) wird durch investive Maßnahmen ersetzt, was einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise deutlich entgegenkommt.
- Die Investitionen des Jahres 2050 entsprechen schätzungsweise 250.000 Bruttoarbeitsplätzen. Berücksichtigt man Verdrängungseffekte<sup>89</sup>, bleiben rund 100.000 Nettoarbeitsplätze als Folge des REG-Ausbaus. Dies entspricht etwa einem Viertel der heute Beschäftigten in der Energieversorgung. Hauptgründe für die **positive Arbeitsplatzbilanz** sind der Ersatz von Energieimporten durch überwiegend inländisch erzeugte Güter und Dienstleistungen und die i.a. höhere Arbeitsintensität zur Herstellung von REG-Techniken verglichen mit der Bereitstellung konventioneller Energieträger. Die

---

<sup>88</sup> Es sei daran erinnert, dass das Orientierungsszenario im Jahr 2050 von der zweifachen Wirtschaftsleistung des Jahres 1999 ausgeht. Dies verringert die genannten Anteile im Vergleich zu anderen Wirtschaftstätigkeiten.

<sup>89</sup> Hohmeyer 1997; Ziegelmann, Markewitz u.a. 2000

Arbeitsplätze beruhen auf vielfältigem technologischem Wissen in den (eher größeren) Fertigungsstätten der Anlagen (etwa vgl. dem heutigen Automobilbau, jedoch vielfältiger). Arbeitschaffend ist darüber hinaus die dezentrale Organisation der Energiebereitstellung. Diese ist mit einem entsprechenden Aufwand für Installation, Überwachung und Wartung der zahlreichen Anlagen verbunden. Im speziellen Fall der Energiegewinnung aus Biomasse führt die Erzeugung, Konditionierung, Lagerung und Bereitstellung des Brennstoffs zur Arbeitsplatzbeschaffung in ländlichen Räumen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß ein höherer REG-Anteil insgesamt zu einer stärker diversifizierten und damit relativ krisensicheren Ausgestaltung des Energiesektors und zu einer größeren Branchen- und Unternehmensvielfalt beitragen kann.

- Die Substitution fossiler Energien durch REG (sowie durch rationelleren Energieeinsatz) verringert die Importabhängigkeit der Energieversorgung. Derzeit beträgt die Importquote rund 60 % (ohne Kernbrennstoffe); im Jahr 2050 liegt sie unter Berücksichtigung des Solarstromimports bei 35 %. Die **Versorgungssicherheit** wird durch die erweiterte Nutzung der „heimischen“ Energiequelle REG deutlich erhöht. Gleichzeitig erfolgt eine zunehmende **Abkopplung von zu erwartenden Preisanstiegen** bei fossilen Energierohstoffen. Die verbleibenden bzw. neu entstehenden Importverflechtungen können auf konstruktive Weise zum Abbau von Nord-Süd-Ungleichgewichten eingesetzt werden (s. nächster Punkt).
- Die im Orientierungsszenario beschriebene Entwicklung für Deutschland muss vor dem Hintergrund einer vergleichbaren EU-weiten und letztlich globalen Entwicklung gesehen werden. Die dezentralen REG-Technologien fügen sich, wie andere Massengüter, sehr gut in einen globalen Güterhandel ein. Sie erlauben – in unterschiedlichem Ausmaß – arbeitsteilige **Kooperationen zwischen Industrie- und Entwicklungsländern**, sind unproblematisch handelbar, ungefährlich und kaum missbrauchsfähig. Speziell für Europa bietet eine verstärkte Kooperation im mediterranen Raum erhebliche Chancen für eine „win-win“-Situation im Bereich der Energieversorgung. Länder mit großen solaren Ressourcen in Nordafrika können mit Hilfe der EU-Staaten solare Energieversorgungsstrukturen aufbauen. Mittel- bis langfristig gesehen können diese Anlagen auch dazu beitragen, Anteile des Energiebedarfs der nördlichen EU-Länder mit solaren Energien (Strom, Wasserstoff) zu decken. Der REG-Export kann damit zu einer wichtigen Einkommensquelle für diese Länder werden. Dies wird im Orientierungsszenario am Beispiel des Imports von Solarstrom berücksichtigt. Eine weitere längerfristige Möglichkeit stellt der Import von regenerativem Wasserstoff für den Verkehrssektor dar.
- Auf der Basis heutiger und in absehbarer Zeit bestehender Energiepreise sind REG-Technologien in größerem Ausmaß **noch nicht wirtschaftlich** (vgl. **Abbildungen 3 und 4**). Sie benötigen daher „geschützte“ Märkte, um sich hinsichtlich Marktgröße, Kostendegression und Technologiereife in dem im Orientierungsszenario unterstellten Ausmaß entwickeln zu können. Entsprechende politische Zielsetzungen sind auf nationaler und EU-Ebene bis zum Zeitraum 2010, teilweise auch darüber hinaus (Deutschland, Dänemark) formuliert worden. Die meisten europäischen Ländern verfügen über ein geeignetes Instrumentarium zur Erreichung der Zielvorgaben. Besondere Relevanz haben zur Zeit garantierte Einspeisevergütungen (EEG), Quotenregelungen und der Handel mit Umweltzertifikaten. Die EU-Kommission strebt mittelfristig eine Harmonisierung dieser Instrumente an.
- Die Unterstützung der REG muss ausreichend lang bestehen. Das bedeutet aus heutiger Sicht eine Förderung – abgestuft nach Technologien – mindestens bis zum Jahr 2020. Dies verlangt eine außerordentlich langatmige und zielstrebige Energiepolitik. Die entsprechenden **Vorleistungen** (derzeit rund 2 Mrd. DM/a) im Orientierungsszenario wachsen für den Inlandsmarkt auf rund 7 Mrd. DM/a im Jahr 2010 und auf rund 10 Mrd. DM/a im Jahr 2020. Die durch Vorleistungen hervorgerufenen spezifischen Mehrbelastungen sind für die Konsumenten relativ gering. Sie belaufen sich beim Strom auf maximal 1 Pf/kWh<sub>el</sub> und bei Brennstoffen auf maximal 0,7 Pf/kWh<sub>th</sub>. Je nach Anstieg konventioneller Energiepreise kann sich die Vorleistung in den REG-Ausbau bereits bis 2050

voll amortisiert haben, da ab 2035/2040 die im Orientierungsszenario bereitgestellte Energie kostengünstiger als diejenige ohne REG-Ausbau sein dürfte.

- Das für einen selbsttragenden REG-Ausbau erforderliche **Strom- bzw. Wärmekostenniveau liegt bei etwa dem Zweifachen der heutigen Werte** (Strom und Wärme aus Neuanlagen). In den berücksichtigten Preisvarianten wird dieses Niveau zwischen 2030 und 2050 erreicht. Gleichzeitig kann der absolute Endenergieverbrauch im Orientierungsszenario bis 2050 im Mittel auf rund 65 % des heutigen Wertes reduziert werden. Die jährlichen Energieausgaben der Verbraucher würden sich also durchschnittlich um real rund 30 % erhöhen. Das bis dahin verfügbare Pro-Kopf-Einkommen liegt jedoch nach den Szenarioannahmen ebenfalls beim Zweifachen des heutigen Wertes, so dass insgesamt die Energiekostenbelastung für die Konsumenten geringer ausfällt als heute. Die Energiekosten einer weitgehend auf REG beruhenden Energieversorgung stellen daher aus sozialverträglicher Sicht kein wesentliches Hindernis dar.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass aus gegenwärtiger Sicht eine deutliche Erhöhung des Anteils von REG an der zukünftigen Energieversorgung die derzeitigen **Nachhaltigkeitsdefizite der Energieversorgung deutlich mindern** kann ohne größere neuartige, nicht bewältigbare Nachhaltigkeitsprobleme aufzuwerfen. Die Entlastungseffekte treten allerdings anfänglich nur langsam in Erscheinung und erfordern ausreichend hohe und lang andauernde Vorleistungen. Die Wirkung kann in Verbindung mit einer ebenfalls anspruchsvollen **Strategie der rationelleren Energienutzung** erheblich beschleunigt werden. Letztere ist sogar Voraussetzung, damit sich die anfänglich erforderlichen Aufwendungen in REG-Technologien in Grenzen halten und aus ihrem Einsatz ein ausreichend hoher Nutzen in hinreichend kurzer Zeit resultiert.<sup>90</sup> In Vorbereitung auf eine effektive Marktteilnahme von REG müssen solange Unterstützungsmaßnahmen ergriffen werden, bis die Energiepreise aktiv (d.h. mittels gezielter Energie- oder Emissionssteuern; Umwelt- oder Emissionszertifikate) oder passiv (Ressourcenverknappung und deren Folgen) ein deutlich höheres Niveau (im Mittel zweifach) als derzeit erreichen.

Abschließend folgen einige wesentliche Ergebnisse der Untersuchung zur Schlüsseltechnologie „Regenerative Energien“:

- *Tabelle 1* gibt einen Überblick über die wesentlichen energetischen Eckdaten des Orientierungsszenarios.
- Die *Abbildungen 1 und 2* zeigen die resultierende Strukturveränderung in den Teilbereichen Strom- und Wärmebereitstellung.
- Die für den REG-Ausbau prinzipiell zur Verfügung stehenden technischen Potenziale und die mit ihrer Erschließung einhergehenden Kostenentwicklung sind in den *Abbildungen 3 und 4* dargestellt.
- *Tabelle 2* informiert über die durch die Ausbaustrategie ausgelösten Investitionen in REG-Anlagen (Neuanlagen und Ersatz) im Strom- und Wärmemarkt.

---

<sup>90</sup> Dies gilt in noch deutlicherem Maße für zahlreiche andere Länder, die bei der rationellen Energienutzung bisher noch weniger Fortschritte als Deutschland zu verzeichnen haben. Dies gilt sowohl für Industrieländer, hier insbesondere die USA, aber auch für die osteuropäischen Staaten (v.a. Russland) und nahezu alle Entwicklungsländer.

**Tabelle 1: End- und Primärenergieverbrauch (PJ/a) bis 2050 im Orientierungsszenario nach Energieträgern, Verbrauchssektoren und Nutzungsarten, sowie resultierende Anteile von REG und CO<sub>2</sub>-Emissionen (Mio. t/a)**

Energiemengen in PJ/a	1993	1996	1999	2010	2020	2030	2040	2050
<b>Gesamte Endenergie</b>	<b>9232</b>	<b>9689</b>	<b>9288</b>	<b>8450</b>	<b>7650</b>	<b>7000</b>	<b>6400</b>	<b>6100</b>
<b>nach Energieträgern:</b>								
Elektrizität	1582	1647	1700	1789	1789	1786	1782	1775
Kollektorwärme+	2	2	4	31	133	404	739	1043
Fern-, Nahwärme (öff. + und direkte Wärme aus Fern-, Nahwärme (öff. + einschl. SK-Anteile, fossil Gase (Direktnutzung)	65	65	95	206	382	487	544	574
Heizöl und Kohle	605	612	598	942	982	923	826	706
Kraftstoffe	1846	2305	2226	2031	1714	1300	710	451
	2583	2482	1949	1000	450	200	100	50
	2549	2576	2717	2450	2200	1900	1700	1500
<b>Regenerativ gesamt</b>	<b>127</b>	<b>137</b>	<b>191</b>	<b>440</b>	<b>888</b>	<b>1494</b>	<b>2161</b>	<b>2772</b>
<b>Anteil REG an END (%)</b>	<b>1,4</b>	<b>1,4</b>	<b>2,1</b>	<b>5,2</b>	<b>11,6</b>	<b>21,3</b>	<b>33,8</b>	<b>45,4</b>
<b>nach Verbrauchssektoren:</b>								
Industrie	2433	2424	2383	2193	1973	1925	1748	1735
Priv. Haushalte	2617	2890	2649	2360	2115	1880	1715	1650
Kleinverbraucher	1585	1749	1480	1375	1276	1194	1125	1093
Verkehr	2597	2626	2776	2522	2286	2001	1812	1622
<b>nach Nutzenergiearten:</b>								
Raumheizung	2800	3100	2878	2500	2200	1900	1700	1600
Warmwasser	470	480	450	420	380	350	330	330
Prozesswärme	2201	2266	1947	1763	1538	1505	1313	1302
Kraft/Licht	1164	1217	1237	1245	1248	1245	1245	1246
Kraft, mobil	2597	2626	2776	2522	2286	2001	1812	1622
Umwandlungsverluste Nichtenerg.	4244 888	4058 973	3836 1070	3476 1000	2514 980	1924 950	1383 925	966 900
<b>Primärenergie 3)</b>	<b>14364</b>	<b>14720</b>	<b>14194</b>	<b>12626</b>	<b>11144</b>	<b>9874</b>	<b>8708</b>	<b>7966</b>
Mineralöl	5803	5783	5595	4905	4119	3029	2069	1876
Steinkohlen,	2249	2230	2019	1700	1400	1100	900	400
Braunkohlen	1984	1685	1468	1200	1000	700	300	0
Erdgas, Erdölgas,	2544	3133	3028	3200	3400	3200	2800	2300
Fossile Primärenergie	12580	12831	12110	11005	9919	8029	6069	4576
Kernenergie	1673	1764	1852	1080	201	0	0	0
REG - Inland	107	145	235	541	992	1697	2337	2960
Importsaldo Strom 3)	4	-20	-3	0	32	148	302	430
<b>Anteil REG an PEV (%)</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>	<b>1,7</b>	<b>4,3</b>	<b>9,2</b>	<b>18,7</b>	<b>30,3</b>	<b>42,6</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen, (Mio t/a)</b>	<b>912</b>	<b>898</b>	<b>836</b>	<b>742</b>	<b>648</b>	<b>499</b>	<b>346</b>	<b>226</b>
<b>1990 = 100 (986 Mio.t/a)</b>	<b>93</b>	<b>91</b>	<b>85</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>51</b>	<b>35</b>	<b>23</b>
1) SK (= Spitzenkesselanteile der KWK-Anlagen) mit 2) Struktur 1998 nach IfE/TU München 3) Für Wind-, PV-, Wasserkraftstrom und REG-Stromimport mit Wirkungsgradmethode 4) ab 2020 Import REG- Quellen für Ist: BMWi "Energiedaten 2000"; AG Energiebilanzen; IfE 1999; eigene Ergänzungen								

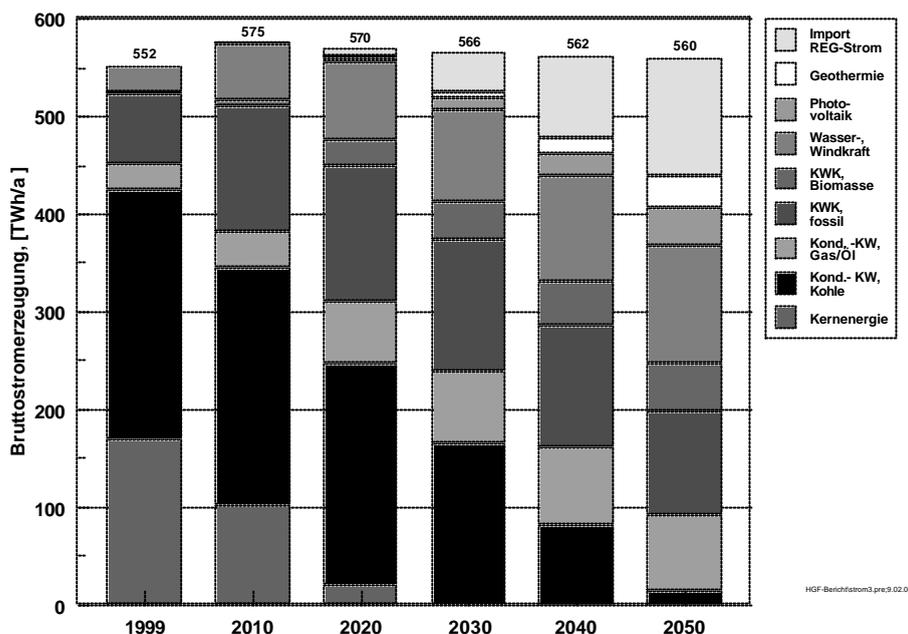


Abbildung 1: Bruttostromerzeugung nach Kraftwerksarten im Orientierungsszenario bis 2050, getrennt nach Kondensationskraftwerken, KWK-Anlagen (fossil, Biomasse) und REG-Anlagen

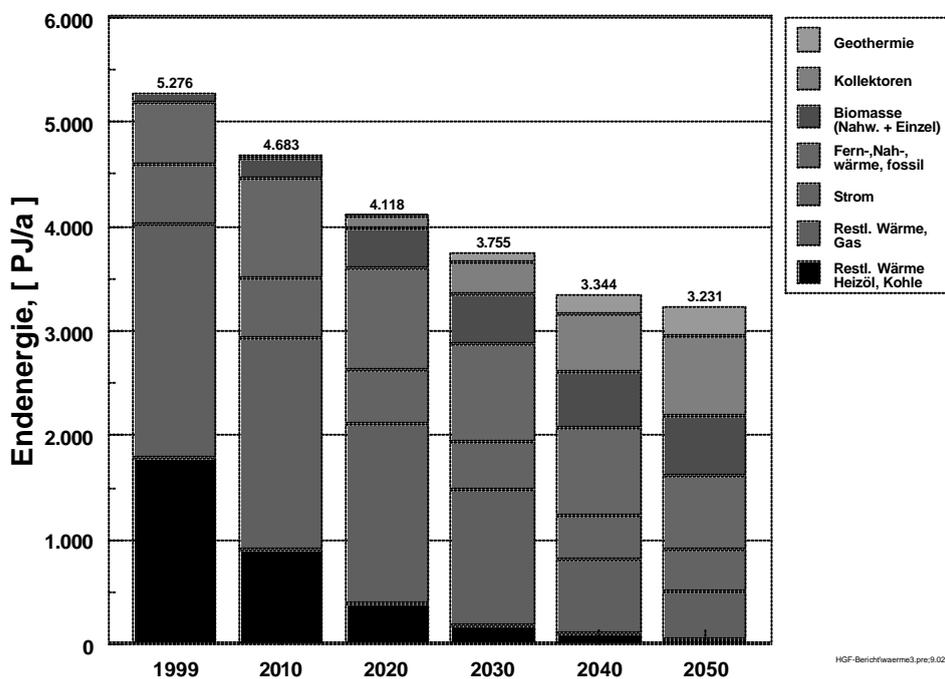


Abbildung 2: Strukturveränderungen im Wärmemarkt im Orientierungsszenario bis 2050 nach Energieträgern bzw. Einzelsystemen und Fern- bzw. Nahwärmeversorgungen

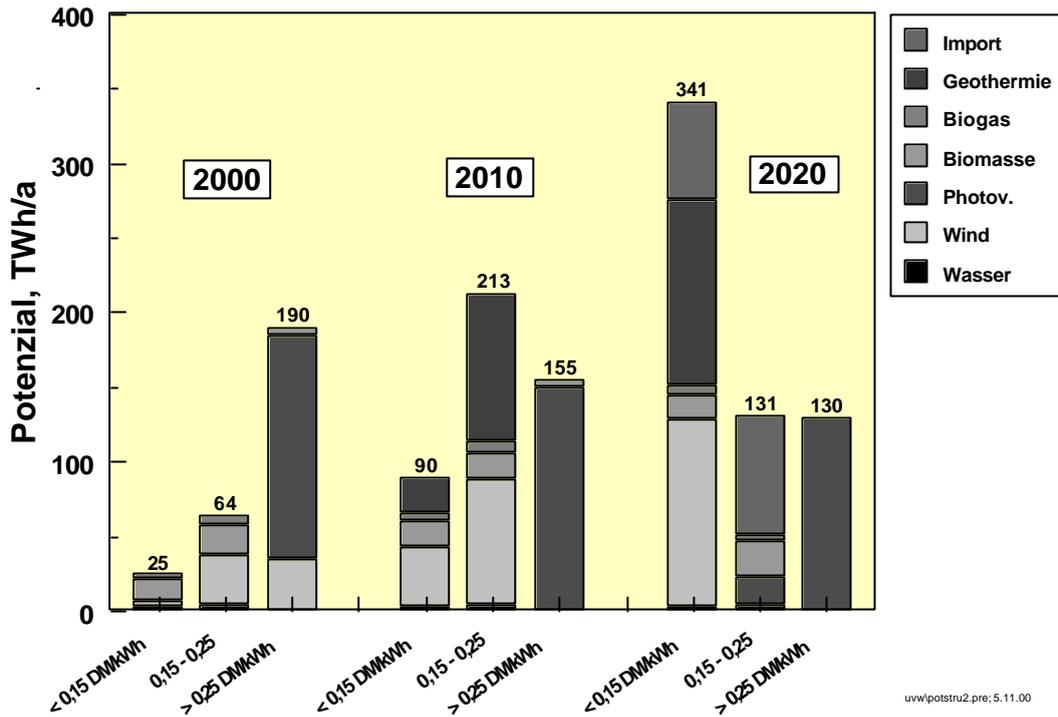


Abbildung 3: Kostenstruktur der in den Jahren 2000, 2010 und 2020 verfügbaren Potenziale regenerativer Energien zur Stromerzeugung; für 2010 und 2020 sind Kostendegressionen auf der Basis von Lernkurven bei wachsenden Marktvolumina vorausgesetzt.

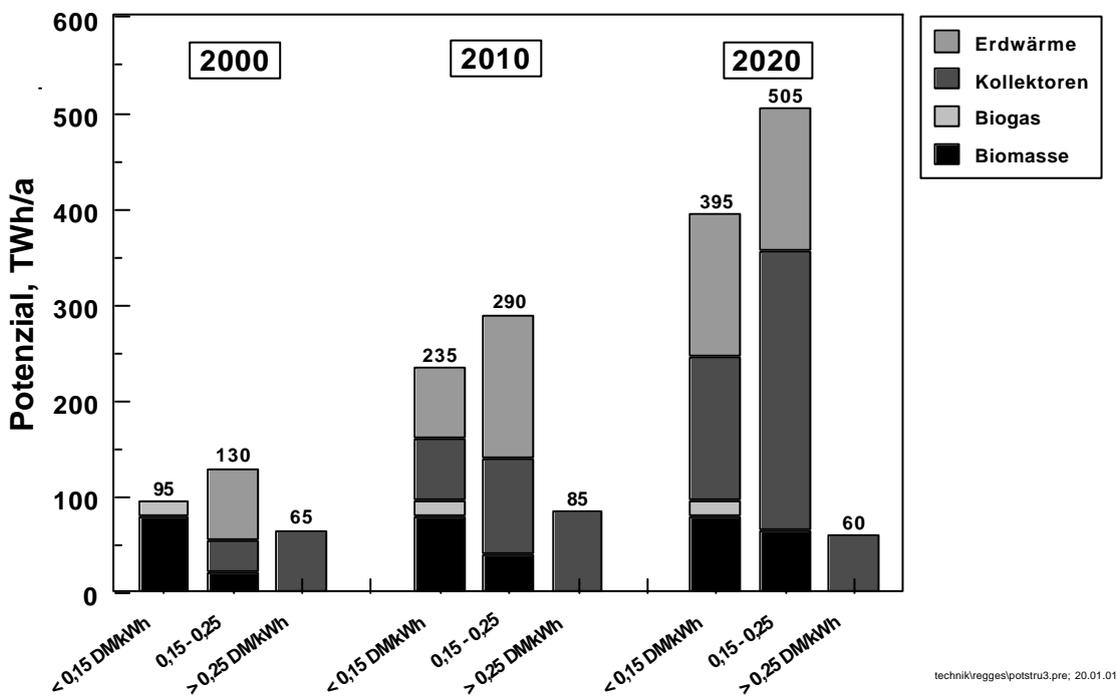


Abbildung 4: Kostenstruktur der in den Jahren 2000, 2010 und 2020 verfügbaren Potenziale regenerativer Energien zur Wärmeerzeugung; für 2010 und 2020 sind Kostendegressionen auf der Basis von Lernkurven bei wachsenden Marktvolumina vorausgesetzt.

**Tabelle 2: Jährliche Investitionen in REG - Technologien (Mio. DM/a, Geldwert 1999) im Orientierungsszenario bis zum Jahr 2050**

	1999	2010	2020	2030	2040	2050
Stromversorgung *)	4331	5845	11360	14158	18450	23635
Wärmeversorgung **)	1339	5143	10087	14335	20212	26079
<b>Gesamt</b>	<b>5670</b>	<b>10988</b>	<b>21447</b>	<b>28493</b>	<b>38662</b>	<b>49714</b>
Anteil an PEV (%)	1,7	4,3	9,2	18,7	30,3	42,6

\*) ab 2015 einschl. Investitionen für Solarstromimport; \*\*)einschließlich Nahwärmenetze

## Literatur:

*BMU 2000: „Erneuerbare Energien und nachhaltige Energieversorgung“. Broschüre des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 3. Auflage, Berlin 2000.*

*FEES 2001: Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalyse, Modellexperiment II, Rahmendaten. Download [www.ier.uni-stuttgart.de](http://www.ier.uni-stuttgart.de)*

*Fischedick 2000: M. Fischedick, O. Langniß, J. Nitsch: Nach dem Ausstieg – Zukunftskurs Erneuerbare Energien. Hirzel-Verlag Stuttgart, 2000*

*Hohmeyer 1997: O. Hohmeyer: Beschäftigungseffekte durch Umsetzung einer REN- und REG – Strategie. Expertise im Rahmen des Projekts: Zukünftige Energiepolitik – Phase II (Gruppe Energie 2010), Mannheim, Dezember 1997*

*Prognos 2000: Prognos AG, EWI Köln: Energiereport III – Die langfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2000*

*Prognos 2001: Prognos AG: Szenarienerstellung – soziodemographische und ökonomische Rahmendaten. Zwischenbericht für die Enquete-Kommission: „Nachhaltige Energieversorgung“ des Deutschen Bundestages, Basel, Februar 2001.*

*UBA 2000: J. Nitsch, M. Fischedick, N. Allnoch, F. Staiß u.a. Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien. Studie im Auftrag des BM für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes, Berichte des UBA 2/00, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2000*

*Ziegelmann 2000: A. Ziegelmann, P. Markewitz u.a.: Arbeitsmarkteffekte ressourcenschonender Klimagas-Reduktionsstrategien in Deutschland. Ruhr-Universität Bochum und FZ Jülich, Bochum, Jülich, Oktober 2000.*



## XI. Arbeitspaket

### **Nachhaltigkeit und Risiko**

**W. Hennings, J. Mertens**

Forschungszentrum Jülich GmbH  
Programmgruppe „Mensch, Umwelt, Technik“ (MUT)



## Einleitung

Im integrativen Ansatz des HGF-Projekts drückt sich die Absicht aus, alle wesentlichen Aspekte von Nachhaltigkeit im Gesamtzusammenhang zu bearbeiten. Hinsichtlich der Nachhaltigkeits-Bewertung einer Technologie erfordert dies unter anderem die zumindest prinzipiell *vollständige* Erfassung *aller* ihrer Auswirkungen. Die Thematik wird im folgenden am Beispiel von Anlagen zur Energieversorgung behandelt. Da ökonomische Aspekte in anderen Arbeitspaketen behandelt werden, beschränken sich die hier dargestellten Untersuchungen auf ökologische und soziale Aspekte.

Mit Blick auf ökologische und soziale Auswirkungen müssen bei technischen Anlagen nicht nur die mit Sicherheit eintretenden oder erwarteten, sondern auch unsichere Folgen („Risiken“) berücksichtigt werden. Dabei steht „Risiko“ für die Möglichkeit, dass etwas nicht so sein wird, wie man es – aus irgendwelchen Gründen – erwartet.

Vollständigkeit heißt in diesem Zusammenhang u. a.:

- Berücksichtigung aller Lebensphasen der Anlagen,
- Berücksichtigung aller Auswirkungen (alle Schadensarten; unmittelbare und mittelbare Folgen),
- Berücksichtigung aller Betriebszustände, d. h. sowohl Normalbetrieb als auch Störfälle und Unfälle.

Die Forderung nach vollständiger Erfassung aller Lebensphasen und Schadensarten der Anlagen entspricht der Vorgehensweise bei einer Life Cycle Analysis (LCA, deutsch: „Ökobilanz“<sup>91</sup>), d. h. einer Analyse aller Auswirkungen, die mit der Herstellung, Verwendung und Entsorgung eines Produkts verbunden sind.

Vollständigkeit bei den Betriebszuständen erfordert die Berücksichtigung auch von Störfällen und Unfällen. Solche Ereignisse werden zwar in Arbeiten zur Methodik von Nachhaltigkeitsuntersuchungen angesprochen<sup>92</sup>, bisherige konkrete Untersuchungen zur Nachhaltigkeit konzentrieren sich aber meist auf die Auswirkungen des Normalbetriebs.

Der hier in einem Zwischenbericht dargestellte Beitrag zum Arbeitspaket 9 soll daher aufzeigen, welche Forderungen sich aus dem Kontext „Nachhaltigkeit“ für die Abschätzung und Analyse von Störfallrisiken technischer Anlagen ergeben:

- Was muss man über die Risiken einer Technologie wissen, wenn man deren Nachhaltigkeit beurteilen will?

Die im folgenden zusammengefassten bisherigen Arbeiten gliedern sich in folgende Punkte:

- Bezüge zwischen Nachhaltigkeit und Risiko
- Schwerpunkte Arbeiten zum Thema „Risiken technischer (Energie-) Systeme und Nachhaltigkeit“
- Schlussfolgerungen; erste Ergebnisse

---

<sup>91</sup> DIN EN ISO 14040 (1997)

<sup>92</sup> z. B. in Brown Weiss (1989) und in WBGU (1999)

## **Bezüge zwischen Nachhaltigkeit und Risiko**

### **Nachhaltigkeit als Konzept**

Der Begriff Nachhaltigkeit erhielt richtungsweisende Bedeutung durch den „Brundtland-Bericht“ Our Common Future (WCED 1987). Sustainable Development wird dort definiert als eine Entwicklung, welche die heutigen Bedürfnisse der Gesellschaft befriedigt, ohne diejenigen der zukünftigen Generationen zu gefährden.

Dabei ergeben sich aus unterschiedlichen Sichtweisen des Mensch-Natur-Verhältnisses entscheidende Implikationen für die Definition und Interpretation von Nachhaltigkeit. Ein strikter Biozentrismus lässt keine menschlichen Eingriffe in die Natur zu, wogegen ein extremer Anthropozentrismus ihre Ausbeutung erlaubt. Der Brundtland-Bericht steht in der Tradition eines gemäßigten Anthropozentrismus, bei dem der Mensch die Natur zur eigenen Selbstverwirklichung nutzt und zugleich Verantwortung für ihre Erhaltung übernimmt.

Zur Konkretisierung dieser Rolle des Menschen sind Abwägungsprozesse erforderlich mit dem Ziel, Verbesserungen der ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen mit der langfristigen Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen in Einklang zu bringen (Knaus, Renn 1998). Ausdruck hierfür ist das Drei-Säulen-Konzept einer zugleich ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit.

Der Rahmen für die genannten Abwägungsprozesse und das aus ihnen resultierende Handeln wird im Bereich der Ökologie unter anderem beschrieben durch Begriffe wie Nettoprimärproduktion und Tragkapazität, die unter anderem die Inanspruchnahme der natürlichen Umwelt durch den Menschen verdeutlichen. Ein wichtiger ökonomischer Gesichtspunkt ist die Substituierbarkeit, bei der sich die Frage stellt, ob – und wie weit – Teile natürlicher Ressourcen („natürlicher Kapitalstock“) durch künstliches Kapital ersetzt werden können („schwache Nachhaltigkeit“) oder nicht („starke Nachhaltigkeit“). Charakteristische soziale Determinanten in Bezug auf Nachhaltigkeit sind Werte, die für Abwägungsprozesse benötigt werden (Knaus, Renn 1998).

### **Integration von Umweltrisiken**

Die Ressourcen- und Senkenfunktion von Umwelt und Natur ist eine der wesentlichen Dimensionen und Herausforderungen des Leitbildes „Nachhaltige Entwicklung“ (Hirschberg, Voß 1999). Bei der Nutzung von Energie wird die Begrenztheit dieser Funktion – in beiderlei Hinsicht – zunehmend auch der breiteren Öffentlichkeit bewusst. Um zu einer neuen, Nachhaltigkeitsmaßstäben entsprechenden Produktions- und Konsumstruktur zu kommen, werden Regeln für ein Ressourcenmanagement vorgeschlagen (Knaus, Renn 1998). Eine dieser Regeln betrifft unter anderem Umweltbelastungen, die mit Sicherheit die menschliche Gesundheit schädigen und daher kategorisch zu vermeiden sind. Die zugehörige Erläuterung betont, dass zur Umsetzung dieser Regel in der Praxis Risikobetrachtungen erforderlich sind und von der Gesellschaft eine Grenze zwischen akzeptablen und nicht akzeptablen Risiken gezogen werden muss. Dabei besteht das Problem in der Frage nach der Höhe der Wahrscheinlichkeit und dem Grad der Gewissheit, ab denen Verbote ausgesprochen werden müssen.

Zur Beantwortung dieser Frage werden transparente Methoden der Risikoermittlung benötigt, die eine konsistente Behandlung unterschiedlicher Risikoquellen erlauben und dem gesellschaftlichen Informationsbedarf gerecht werden.

## **Kenntnisstand und Vorgehensweisen**

### **Anforderungen an Risiko-Bewertungsmethoden**

Im Rahmen des Polyprojektes „Risiko und Sicherheit“ befasste sich ein Teilprojekt mit der Methodik der Risikobewertung für den Energiebereich. Der entsprechende Abschlussbericht (Berg et al. 1995) stellt fest, dass eine umfassende Risikobewertung für diesen Bereich ein geeignetes Bewertungsraster zu erarbeiten hat, das sowohl dem Störfallrisiko wie auch dem Normalbetriebsrisiko angemessen Rechnung trägt – und dies in intertemporaler Betrachtung, das heißt über den Lebens- und Erfahrungshorizont der Gegenwärtigen hinaus. Der Projektauftrag lautete unter anderem, die von Disziplinenvertretern aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Richtungen (Soziologie, Ethik, Rechtswissenschaft, Ökonomie, Umweltwissenschaften) gegebenen Antworten zu Syntheseaussagen zusammenzufassen.

Zu den in Berg et al. (1995) formulierten Empfehlungen gehört, bei der Risikodebatte nicht isoliert von einzelnen Risikoquellen auszugehen, sondern die Debatte stärker am umfassenden Ziel der Nachhaltigkeit zu orientieren. Dies könnte einen Rahmen bilden bei der Lösung von Bewertungsproblemen sowie hinsichtlich der konsistenten Analyse und Beurteilung verschiedener Energiesysteme. Zu den Empfehlungen gehört auch, Risiken aus dem Normalbetrieb und aus Störfällen methodisch so zu behandeln, dass eine adäquate vergleichende Bewertung möglich wird, und dies insbesondere unter der Berücksichtigung der unterschiedlichen Natur der Unsicherheit bei beiden Typen von Risiken. Schließlich stellen die beteiligten Disziplinen im Konsens fest, dass quantitative Risikoanalysen für gesellschaftliche Risikobewertungen im Energiebereich notwendig, aber nicht hinreichend sind. Sie sind weiterzuentwickeln auch zu dem Zweck, möglichst viele wissenschaftlich-technische Kenntnisse bereitzustellen, beispielsweise für diskursive Verfahren.

### **Sozialverträglichkeit und Fehlerfreundlichkeit**

Die Beziehung zwischen technischen Entwicklungen und gesellschaftlichen Werten begründet den Begriff Sozialverträglichkeit. Er wurde von Meyer-Abich (1981) im Zusammenhang mit Energiepolitik entwickelt. Dabei wird ein sachlogischer Zusammenhang zwischen dem Energiesystem einer Gesellschaft und den übrigen Gesellschaftsbereichen postuliert: Bestimmte Energiesysteme seien nur mit bestimmten Wertsystemen, Gesellschaftsformen und Lebensstilen 'kompatibel', das heißt setzten diese voraus und stabilisierten sie (Peters 1993). In diesem Sinn ist die Sozialverträglichkeit technischer Systeme nicht etwas schlechthin Gegebenes, sondern ein Relationsbegriff in bezug auf etwas anderweitig Erwünschtes oder nicht Erwünschtes. Sie erhält damit die Bedeutung einer Konsistenz mit allgemeinen gesellschaftlichen Zielen. Bei Meyer-Abich haben solche Ziele – zu denen auch das Erreichen von Nachhaltigkeit gehören kann – eine Normierungsfunktion für Gestaltung und Bewertung technischer Systeme.

Nach C. und E. U. von Weizsäcker (1984) besteht Fehlerfreundlichkeit aus zwei charakteristischen Merkmalen: aus einem Mangel an Perfektion (Fehleranfälligkeit) und aus der Fähigkeit, mit Fehlern fertig zu werden (Fehlertoleranz). Ein wesentliches Prinzip zur Fehlerbewältigung ist die Redundanz, die sich in der Natur und in technischen Großsystemen findet. Zur Beurteilung der technischen Zuverlässigkeit wurden entsprechende Verfahren entwickelt, die auch die menschliche Zuverlässigkeit einschätzen. Trotz allen Aufwands ist jedoch keine völlige Zuverlässigkeit erreichbar, wie etwa in (Häfele 1990) anhand der gegensätzlichen Bereiche Faktizität (das reale technische Konstrukt) und Hypothetizität (der unbegrenzte Bereich von Hypothesen) erläutert wird. C. und E. U. von Weizsäcker (1984) sehen bei großen technischen Systemen einen Mangel an Fehlertoleranz und empfinden den Versuch der Fehlerbeherrschung durch Perfektion als nicht menschengerecht. Bei der Bewertung konkreter Energiesysteme werden solche Aspekte kontrovers diskutiert (Forum 1997).

## **Energiesysteme und nachhaltige Entwicklung**

Energie ist laut (Voß 2000) von wesentlicher Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung, da einerseits die aus ihr gewonnene Arbeitsfähigkeit unverzichtbar ist, die Energieversorgung aber gleichzeitig einen Großteil der Umweltbelastungen verursacht. Das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung kann zwar Handlungsorientierung geben, bedarf aber einer inhaltlichen Konkretisierung, insbesondere hinsichtlich einer Bewertung von Energieoptionen.

Zunächst kann der scheinbare Gegensatz zwischen Nachhaltigkeit und Entwicklung aufgelöst werden durch das Substitutionsparadigma der „weak sustainability“. Bei der Substitution von Naturkapital muss jedoch die jeweilige Funktion beachtet werden. Den begrenzten Ressourcen (Energie, Rohstoffe) steht die durch Wissenszuwachs steigerungsfähige Ressource Gestaltungsfähigkeit entgegen. Hierdurch lässt sich für nachfolgende Generationen eine technisch-wirtschaftlich nutzbare Energiebasis verfügbar machen, die einer intergenerativen Gerechtigkeit entspricht.

Eine Reduzierung von Stoffströmen bei der Energienutzung kann Energieverbrauch und Umweltbelastung entkoppeln. Kosten sind als Bewertungskriterium für Energiesysteme auch im Hinblick auf Nachhaltigkeit geeignet, wenn sie als Vollkosten externe Effekte internalisieren. Zu den auf dieser Basis in (Voß 2000) abgeleiteten Orientierungs- und Handlungsregeln gehört auch die Vermeidung von Gefahren und unvermeidbaren Risiken für die menschliche Gesundheit durch anthropogene Einwirkungen.

Abschließend wird die Rolle verschiedener Energiesysteme für eine nachhaltige Entwicklung untersucht. Verglichen werden unter anderem auch die Risiken für das menschliche Leben und die Gesundheit. Vergleichsgröße ist die Anzahl der verlorenen Lebensjahre pro  $10^9$  kWh, jeweils verursacht durch Kraftwerksemissionen und durch Emissionen vor- und nachgelagerter Prozessstufen. Auf die Risikostruktur (Aspekte wie bestimmungsgemäßer Betrieb, Störfälle, Häufigkeiten oder Schadensausmaß) wird nicht eingegangen. Allerdings wird bei der Ermittlung externer Kosten, ebenfalls ein Punkt des Vergleichs von Energiesystemen, nach Schadensformen unterschieden.

### **Quantifizierung als Bewertungsbasis**

Der Beitrag von Hirschberg und Voß (PSI 1999) betont die Bedeutung des Life Cycle Assessment (LCA) zur systematischen Erfassung der Umweltinanspruchnahme durch Systeme zur Energiebereitstellung. Outputs sind Inventare von Energie- und Stoffströmen. Zur Schadstoffqualifizierung wurden im Rahmen des Life Cycle Impact Assessment Ansätze entwickelt, die jedoch nach Hirschberg und Voß (PSI 1999) keine Vergleiche unterschiedlicher Schadenskategorien erlauben. Hierzu sollen auf Quantifizierung zielende Ansätze wie Environmental Impact Assessment oder Environmental Risk Assessment dienen. Besondere Probleme bereiten die Kosten des Treibhauseffektes und die Berücksichtigung sehr seltener Störfälle mit großen Schäden. Umweltschäden werden häufig mit Hilfe der Monetarisierung bewertet. Die Multi-Criteria-Analysis (MCA) erlaubt die Einbeziehung von Bewertungskriterien und Wichtungen unterschiedlicher Akteure.

Die Angaben zu Risiken durch schwere Unfälle von Hirschberg und Voß (PSI 1999) beruhen auf Statistiken. Im Fall der Kernenergie ist die Statistik unzureichend (nur ein Unfall). Hier wird deutlich, dass ein weiteres Bewertungsproblem im Vergleich von statistisch erhobenen Werten mit den Resultaten aus Prognoseverfahren besteht. Die Autoren präsentieren außerdem ein System von Bewertungskriterien mit zugehörigen relativen Wichtungen für Umwelt- und Gesundheitsschäden als Input für eine Multi-Criteria Analyse.

Ein ausdrücklich am Drei-Säulen-Konzept der Nachhaltigkeit orientiertes Bewertungssystem stellt Kröger (1998; 2000) vor. Ebenfalls drei Prinzipien (Vermeidung von Ressourcenerschöpfung, Vermeidung von nichtabbaubaren Abfällen und Empfindlichkeit gegenüber dem Umfeld) vereinen ökologische, ökonomische und soziale Aspekte und werden durch Kriterien und Indikatoren konkretisiert. Entscheidendes Charakteristikum dieses Ansatzes sind Quantifizierbarkeit und geeignete Maßeinheiten der Indikatoren („Nachhaltigkeit ist messbar“). Risiken werden dadurch berücksichtigt, dass entsprechende Schutzgüter als Ressourcen verstanden werden.

### **Nachhaltigkeitsregeln und Störfallrisiken**

Im „integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung“ zum HGF-Projekt (Jörissen et al., 1999) werden Störfälle und Unfälle *explizit* nur in der ökologischen Regel 4 („*Technische Großrisiken mit möglicherweise katastrophalen Auswirkungen auf die Umwelt sind zu vermeiden.*“) angesprochen. *Implizit* können die Auswirkungen von Störfällen und Unfällen auch von anderen Nachhaltigkeitsregeln (z. B. Regel 3 „*Die Freisetzung von Stoffen darf die Aufnahmefähigkeit der Umweltmedien und Ökosysteme nicht überschreiten*“ und Regel 7 „*Gefahren und unvermeidbare Risiken für die menschliche Gesundheit durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden*“) erfasst werden, da – abgesehen vom möglicherweise größeren Ausmaß – die Auswirkungen von Störfällen und Unfällen prinzipiell von gleicher Art sind wie die Auswirkungen des Normalbetriebs.

## **Schlussfolgerungen; erste Ergebnisse**

### **Werte, subjektive Ermittlungen und objektive Einschätzungen**

Der Begriff „Risiko“ beschreibt eine Sachlage, bei der nicht sicher, aber mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein *Schaden* eintreten oder zumindest ein *Gewinn oder Nutzen* ausbleiben kann. Dabei spielt es keine Rolle, ob und wie genau diese Wahrscheinlichkeit bekannt ist, wichtig ist lediglich, dass der Schadenseintritt weder sicher noch völlig ausgeschlossen ist. Was als „Schaden“ oder „Nutzen“ anzusehen ist, und damit auch, was als Risiko anzusehen ist, hängt von individuell unterschiedlichen, d. h. subjektiven Werten ab. Auch der Betrachtungsrahmen „Nachhaltigkeit“ gibt implizit Werte vor, beispielsweise den Erhalt von Ressourcen, wenngleich dies nicht ausreicht, um für *alle* Technikfolgen *eindeutige* Bewertungsmaßstäbe festlegen zu können.

Weiter zeigt sich, dass eine Folgen-Abschätzung für ein technisches System nicht in einen „objektiven“ technisch-naturwissenschaftlichen und einen „subjektiven“ Bewertungs-Teil zu trennen ist. Bereits der technisch-naturwissenschaftliche Teil und damit auch dessen Ergebnisse werden von subjektiven Wertungen beeinflusst, denn bereits die Auswahl der zu untersuchenden Aspekte (und damit die Abwahl der nicht zu untersuchenden Aspekte) nimmt eine Wertung vor, auch wenn an dieser Stelle der Untersuchungen noch gar keine Wertung beabsichtigt ist.

Da die Vorgabe eines Untersuchungsrahmens und die damit verbundene Wertung unumgänglich ist, sollten die Werte bereits zu Beginn der Untersuchungen festgelegt und der Untersuchungsrahmen dazu passend gewählt werden. Gegebenenfalls muss dargelegt werden, welche Wertung durch die aus Sachzwängen folgende Einschränkung des Untersuchungsrahmens vorgenommen wird.

## Betrachtungsgrenzen

Betrachtungsgrenzen einer Analyse (z. B. LCIA oder Risikoanalyse) sind hinsichtlich aller Aspekte anzugeben, z. B.:

- Beschränkt sich die Untersuchung nur auf bestimmte *Schadensarten*, z. B. Todesfälle und Gesundheitsschäden, oder werden auch ökologische, ökonomische und soziale Schadensarten ermittelt?
- Welche *Schutzobjekte* (geschädigte Werte) werden berücksichtigt? Wird in Betracht gezogen, dass gegenüber dem Ist-Zustand die Anzahl oder der Wert der Schutzobjekte in der gefährdeten Zone zunehmen oder abnehmen kann?
- Beschränkt sich die Untersuchung nur auf die *unmittelbaren Folgen*, oder werden auch mittelbare Folgen untersucht (zum Beispiel die Auslösung von Störfällen in anderen Anlagen)?
- Welche *Ereignisse* oder Ereigniskombinationen werden in den Untersuchungen berücksichtigt? Meist werden nur gewisse Ereignisse berücksichtigt, die als plausibel oder denkbar angesehen werden. Dies entspricht in etwa einer Vorgehensweise, bei der nur Ereignisse betrachtet werden, deren Wahrscheinlichkeit oberhalb eines Grenzwerts liegen.
- Werden die aktuell oder nominell vorhandenen *Umgebungsbedingungen* oder *Infrastrukturen* als unveränderlich vorausgesetzt oder werden auch Szenarien mit anderen Randbedingungen betrachtet?
- Werden schadens erhöhende Begleitumstände in Betracht gezogen?
- Werden schadensmildernde Gegenmaßnahmen in Betracht gezogen?

## Konkretisierung von Regeln

Die Anwendung der obengenannten Regel 4 („*Technische Großrisiken mit möglicherweise katastrophalen Auswirkungen auf die Umwelt sind zu vermeiden*“) erfordert eine Definition und Konkretisierung der verwendeten Begriffe:

- Ab wann sind Auswirkungen „katastrophal“?
- Ab wann sind Risiken „Großrisiken“?
- Was gehört zu „technischen“ Risiken und was nicht?

Als Basis zur Konkretisierung des Begriffs „katastrophale Auswirkungen“ kann das Konzept der Belastbarkeit oder Tragkapazität<sup>93</sup> dienen. Dabei spielt der Betrachtungsrahmen (Familie, Wohnort, Land, Welt) eine entscheidende Rolle. Der Umfang der Schäden wird relativ zum Betrachtungsrahmen beurteilt. Sodann wird solange nicht von einer Katastrophe gesprochen, wie die Folgen innerhalb des Betrachtungsrahmens abgefangen werden können. Zielsetzung und Ergebnisstruktur von Risikoanalysen müssen entsprechend gestaltet werden.

Beim Begriff „Technische Großrisiken“ bedeutet das Attribut „technisch“ im Kontext der Nachhaltigkeitsbetrachtungen, dass Risiken gemeint sind, die durch technische Anlagen und Systeme verursacht

---

<sup>93</sup> Die Begriffe „Belastbarkeit“, „Tragfähigkeit“ und „Tragkapazität“ werden z. B. im Abschlussbericht der Enquete-Kommission (1998) mehrfach erwähnt, jedoch nicht definiert.

werden. Zur Ermittlung der Risiken von Energieversorgungssystemen muss dies nicht konkretisiert werden.

Der Begriff „Großrisiken“ bedeutet zunächst „große Risiken“. Dabei bleibt unklar, ob das Risiko als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensumfang gemeint ist und ob das Individualrisiko oder das Kollektivrisiko gemeint ist, oder ob Risiken mit besonders häufigen Schadensfällen oder mit besonders großem Schadensumfang gemeint sind. Im weiteren Sinn könnten auch Risiken aus großtechnischen Anlagen gemeint sein, wobei sich das „groß“ dann nicht auf das Risiko, sondern auf die Größe der technischen Anlage oder deren Stoffumsatz, Energieumsatz oder wirtschaftlichen Umsatz beziehen würde. Als relevantes Unterscheidungsmerkmal zu anderen Risiken kann der Begriff „katastrophale Auswirkungen“ verwendet werden.

Das Attribut „möglicherweise“ beschreibt eine Sachlage, bei der „katastrophale Folgen“ weder mit Sicherheit eintreten noch völlig ausgeschlossen sind. Allerdings kann aufgrund des prinzipiell begrenzten Wissensstands der Menschheit nichts mit *völliger* Gewissheit ausgeschlossen werden, sondern jede wissenschaftliche oder technische Aussage kann immer nur mit einer begrenzten Aussagesicherheit getroffen werden. Zur Konkretisierung des Attributs „möglicherweise“ ist daher eine möglichst genaue, am besten quantitative Angabe der Aussagesicherheit für die Aussage erforderlich, ob „katastrophale Folgen“ ausgeschlossen werden können oder nicht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für konkrete Aussagen in praktisch vorkommenden Fällen keine beliebig großen Aussagesicherheiten erreichbar sind.

Die Forderung „sind zu vermeiden“ lässt ein großes Spektrum verschiedener Interpretationen zu, beispielsweise von „beim Bau und Betrieb solcher technischen Anlagen sind die nach dem Stand der Technik gebotenen Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit anzuwenden“ bis hin zu „solche technischen Anlagen sollen nicht gebaut und nicht betrieben werden“.

Eine „Vermeidung“ ist *prinzipiell* nur soweit möglich, wie unsere Kenntnisse über das zu Vermeidende reichen, d. h. bis zur Grenze der Aussagesicherheit. *Praktisch* ist auch dies selten erreichbar, sondern in der Regel bedeutet „Vermeiden“ eines Effekts lediglich, dessen Wahrscheinlichkeit so weit zu verringern, dass ein Eintreten des Effekts „praktisch ausgeschlossen“ ist. In beiden Fällen ist „Vermeiden“ keine absolute, sondern eine probabilistische Aussage.

## **Erfassung von Risiken im Kontext von Nachhaltigkeit**

Angestrebt ist die konsistente Erfassung *aller* Risiken. Für unterschiedliche Risikobereiche sind hierzu unterschiedliche Methoden erforderlich. Das Kriterium ist die bei den folgenden Punkten 1 bis 4 abnehmende Wahrscheinlichkeit des verursachenden Vorgangs.

Eine denkbare Vorgehensweise könnte wie folgt aussehen:

1. Risiken durch betriebsbedingte und daher mit Sicherheit eintretende Vorgänge, die unbeabsichtigte aber in Kauf genommene Folgen haben, werden durch die „klassischen“ Nachhaltigkeitsindikatoren erfasst.
2. Risiken durch Vorgänge, die zwar vermieden werden sollen, aber dennoch relativ häufig auftreten (analog zu z. B. Verkehrsunfällen), können wie die in 1. genannten Risiken erfasst werden. Sie lassen sich im Prinzip statistisch ermitteln und in den Input-Output-Tabellen des gesamtwirtschaftlichen Modells berücksichtigen. Es muss lediglich geprüft werden, ob sie auch tatsächlich in diesen Tabellen enthalten sind.

3. Für Risiken durch Vorgänge, die vermieden werden sollen und daher so selten auftreten, dass sie in den Statistiken in der Regel nicht erfasst werden, aber so häufig sind, dass mit ihrem Eintreten gerechnet werden muss, muss eine geeignete Methodik entwickelt werden. Da mit ihrem Eintreten gerechnet werden muss, dürfen sie keine katastrophalen Folgen haben und fallen daher nicht unter die (konkretisierte) Regel 4. Eine denkbare Methode könnte z. B. sein, ihre Folgen zeitlich zu mitteln und diese Mittelwerte den Input-Output-Tabellen hinzuzufügen.
4. Für Risiken aus Vorgängen, mit deren Eintreten normalerweise nicht gerechnet werden muss, muss eine eigene Bewertung festgelegt werden. Sind ihre Folgen „möglicherweise katastrophal“, sind sie mit Regel 4 zu beurteilen. Sind ihre Folgen *nicht* katastrophal, dann können sie wegen ihrer Seltenheit gegenüber Risiken aus Punkt 1 bis 3 vernachlässigt werden.

Es bleibt zu diskutieren, ob die unter 1 und 2 genannten Risiken aus gesellschaftlicher Sicht nicht (nahezu sicher) zu erwartende Schäden sind, da ihnen das Merkmal der Ungewissheit weitgehend fehlt. Dagegen handelt es sich aus individueller Sicht um Risiken im eigentlichen Wortsinn.

## Weiterführung der Arbeiten

Unsere weiteren Arbeiten sollen aufzeigen, inwieweit Methodik und Betrachtungsumfang der derzeit praktizierten Risikoanalysen geeignet sind, die für die vorgenannte Vorgehensweise erforderlichen Informationen zu liefern, und wie deren Methodik oder Betrachtungsumfang gegebenenfalls erweitert werden könnte.

## Literatur

- Berg, M.; Erdmann, G.; Leist, A.; Renn, O.; Schaber, P.; Scheringer, M.; Seiler, H.; Wiedenmann, R.* (1995): Risikobewertung im Energiebereich. Polyprojekt Risiko und Sicherheit, Dokumente, Nr. 7. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich, 1995
- Brown Weiss, Edith* (1989): In Fairness to Future Generations : International Law, Common Patrimony and Intergenerational Equity. The United Nations University, Tokyo, 1989; Transnational Publishers, Inc., Dobbs Ferry, New York, 1989
- DIN EN ISO 14040* (1997): Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen. (ISO 14040: 1997) Deutsche Fassung EN ISO 14040: 1997; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Vertrieb: Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN ISO 14041* (1998): Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz. (ISO 14041: 1998) Deutsche Fassung EN ISO 14041: 1998; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Vertrieb: Beuth-Verlag GmbH, Berlin
- Enquete-Kommission* (1998): Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt – Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“: Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung. Deutscher Bundestag, Drucksache 13/11200, 13. Wahlperiode, 26. 06. 98, Sachgebiet 1101
- Forum* (1997): Langfristige Aspekte der Energieversorgung. Forum für Zukunftsenergie e. V., Bonn 1997
- Häfele, W.* (1990): Energiesysteme im Übergang. Landsberg/Lech: mi-Poller, 1990
- Hirschberg, S.; Voß, A.* (1999): Nachhaltigkeit und Energie: Anforderungen der Umwelt. Proceedings der Fachtagung Nachhaltigkeit und Energie, Zürich, Nov. 1998. PSI Proceedings 99-01, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen, Schweiz, Mai 1999

- Jörissen, J.; Kopfmüller, J.; Brandl, V.; Paetau, M.* (1999): Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung. FZKA 6393, Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Dez. 1999
- Knaus, X.; Renn, O.* (1998): Den Gipfel vor Augen – unterwegs in eine nachhaltige Zukunft Marburg: Metropolis-Verlag, 1998
- Kröger, W.* (1998): Nachhaltigkeit und Energie – Weniger Beliebbarkeit. In: Nachhaltigkeit – ein Konzept ohne Inhalt? BATS-Report 5/98, Fachstelle BATS, Basel. [http://www.bats.ch/publications/report5-98/bericht5-98\\_4.html](http://www.bats.ch/publications/report5-98/bericht5-98_4.html)
- Kröger, W.* (2000): Nachhaltigkeit ist messbar. Energie-Spiegel Nr. 3 / Sept. 2000, Paul Scherrer Institut, Projekt GaBE, 5232 Villigen, Schweiz
- Meyer-Abich et. al.* (1981): Wie möchten wir in Zukunft leben: der „harte“ und der „sanfte“ Weg. München: C. H. Beck, 1981
- Peters* (1993): Sozialverträglichkeit / Sozialverträglichkeitsprüfung. In: H. Schütz, P. M. Wiedemann (Hrsg.): Technik kontrovers. Frankfurt am Main: IMK, 1993
- von Weizsäcker, C.; von Weizsäcker, E. U.* (1984): Fehlerfreundlichkeit. In: K. Kornwachs (Hrsg.): Offenheit – Zeitlichkeit – Komplexität. Campus: Forschung; Bd. 387, Frankfurt am Main, New York, 1984
- Voß* (2000): Die Herausforderung vor Augen – Energiepolitik für eine nachhaltige Entwicklung. In: Brune, W. (Hrsg.): Zur deutschen Energiewirtschaft an der Schwelle des neuen Jahrhunderts. Teubner 2000
- WBGU* (1999): Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten 1998. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1999
- WCED* (1987): World Commission on Environment and Development (“Brundtland Commission”): Our Common Future. Oxford University Press, Oxford, 1987



## XII. Arbeitspaket

# **Schlüsseltechnologien »Information und Kommunikation«**

**P. Dippoldsmann, M. Paetau, A. Poppenborg**

GMD.AiS-Informed Sustainability



## 1. Problemstellung

In diesem Arbeitspaket geht es um die Analyse der *informations- und kommunikationstechnologischen* Potentiale für eine nachhaltige Entwicklung. In der internationalen Debatte wird diesen Techniken insbesondere für die Umsetzung und Steuerung von globalen Nachhaltigkeitsstrategien eine große Bedeutung zugesprochen. Die potentiellen Einsatzmöglichkeiten werden im Monitoring von ökologischen und sozialen Problemlagen, der Verarbeitung, Modellierung und Archivierung von nachhaltigkeitsrelevanten Daten und ihrer Transformation in relevante Entscheidungsinformationen, der Visualisierung und Präsentation von komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehungen, der Aufbereitung für Planungs- und Entscheidungsprozesse, sowie in der gesellschaftlichen Kommunikation über Strategien und Handlungsziele gesehen. Große Erwartungen werden auch auf informationstechnisch gestützte Netzwerke gesetzt, in denen partikular erzeugtes und dezentral gesammeltes Wissen über Probleme und Problemlösungsalternativen gesellschaftlich verfügbar gemacht wird und in konkrete Entscheidungsprozesse - wo immer in der Welt - einfließen kann. Diese Erwartungen werden im allgemeinen mit der Vision einer globalen Informations- oder Wissensgesellschaft zum Ausdruck gebracht.

In unseren Arbeiten werden diese Erwartungen einer wissenschaftlicher Analyse unterzogen. Potentialanalysen dieser Art lassen sich nicht unabhängig von Beobachtungen der gesellschaftlichen Aktivitätsfelder, in denen der Einsatz der zu untersuchenden Techniken stattfindet, betreiben. Insofern ist die Berücksichtigung der Wechselbeziehungen zwischen den technologischen und den gesellschaftlichen Aspekten ein wesentlicher Bestandteil der Arbeiten in diesem Arbeitspaket. Mit der Verschränkung zwischen aktivitätsfeldbezogenen und technologischen Aspekten wird eine beträchtliche Komplexitätserhöhung der wissenschaftlichen Untersuchung in Kauf genommen. Um - angesichts knapper Ressourcen an Human-Power und Zeit - die Realisierbarkeit der Projektziele zu sichern, ist deshalb eine komplexitätsreduzierende Einschränkung in der Untersuchungsbreite des Themas vorgenommen worden: Die Potentialanalysen erfolgt exemplarisch am Beispiel informationstechnisch gestützter *zivilgesellschaftlicher Wissensnetzwerke* als einer spezifischen Form institutioneller Innovationen für eine zukunftsfähige Entwicklung.

Der Anspruch, die Potentialanalysen in enger Verzahnung mit Beobachtungen gesellschaftlicher Aktivitätsfelder durchzuführen, in denen der Einsatz der zu untersuchenden Techniken im Rahmen von Nachhaltigkeitsstrategien stattfindet, schlägt sich auch methodisch nieder. Neben einer sekundäranalytischen *Fallstudie* über sozio-technische Anforderungen im Rahmen gesundheitlicher Selbsthilfenetzwerke wird die Frage der *Eignung* bestimmter informations- und kommunikationstechnischer Trends für die Verfolgung nachhaltiger Entwicklungsstrategien untersucht. Für die zweite Form der Potentialanalyse wurden relevante Problemfelder im Rahmen lokaler Agenda 21 -Prozesse unter dem Aspekt der Wissensvernetzung untersucht. Hieraus aufbauend soll hinsichtlich der erforderlichen institutionellen Reformen das Potential iuk-technischer Unterstützung abgeschätzt werden. Beide Untersuchungen wurden im Berichtszeitraum begonnen und werden im Jahr 2001 fortgesetzt.

Die *allgemeine* Frage nach der direkten Verknüpfung der Entwicklung der Informationsgesellschaft und ihrer Technik mit den Gestaltungsanforderungen, die eine zukunftsfähige Entwicklung an die weitere institutionelle Innovation der Gesellschaft stellt, und die *besondere* Frage nach den Voraussetzungen und Rahmenbedingungen einer informationsgesellschaftlichen Netzwerkentwicklung als eines auf Sustainable Development ausgerichteten institutionellen Innovationsprozesses wird seit einiger Zeit auch im politischen Raum als relevante Herausforderung eingeschätzt. Insgesamt wird mit dieser Verknüpfung sowohl wissenschaftlich wie gesellschaftspolitisch Neuland betreten. Sustainable-development-spezifische Netzwerke sind in der Praxis allenfalls in Ansätzen verwirklicht. Der gesellschaftliche Lern-

Such- und Erfahrungsprozess einer zukunftsfähigen Entwicklung und ihrer institutionellen Konkretisierung in entsprechenden Netzwerkstrukturen ist erst in Anfängen reflektiert und realisiert (Dippoldsmann 1999).

## 2. Forschungsfragen

### 2.1. Die Bedeutung von Wissen für die Gestaltung einer Nachhaltigen Entwicklung

Die Agenda 21 betont die zentrale Bedeutung der Vernetzung von Informationen und Wissen heterogener Akteure, um der Komplexität der zu lösenden Probleme und der Mehrdimensionalität der Leitidee "Sustainable Development" gerecht zu werden. Insbesondere der Teil III der Agenda 21 beschreibt einen akteursbetonten Ansatz, der Partizipation einfordert und den kooperativen Aspekt einer nachhaltigen Entwicklung unterstreicht. Weiterhin verweist Sustainable Development auf die Notwendigkeit partiell erzeugtes Wissen *gesellschaftlich* verfügbar zu machen. Diesbezüglichen Versuchen steht jedoch die Schwierigkeit entgegen, dass - aufgrund des prinzipiellen Auseinanderfallens von Produktion und Nutzung der erforderlichen Wissens - eine prinzipielle Differenz von Wissen und Nichtwissen in Problemlösungssituationen nicht zu vermeiden ist. Wissen, das in bestimmten Kontexten erzeugt wird, wird an anderer Stelle im Rahmen anderer Kontexte (aber mit ähnlichen Problemstellungen) benötigt. Oft bleibt die potentielle Nutzung des Wissens den generierenden Akteuren zunächst verborgen. Man kann Vermutungen anstellen, aber selbst dann weiß man noch nicht *wo* und *wann* dieses Wissen benötigt wird. Ebenso verborgen bleibt - nun allerdings aus einem anderen Blickwinkel - , ob das in bestimmten Problemsituationen erforderliche Wissen gegebenenfalls bereits einmal in anderen Kontexten erarbeitet wurde. Und auch hier gilt: Es lässt sich vermuten, aber wo und wann? Die Konsequenz aus dieser Situation ist: die Gesellschaft weiß nicht, was sie weiß.

Grundsätzlich ist dieses Problem nicht neu. Historisch hat die Gesellschaft sich mit Hierarchie zu helfen gewusst. Über festgelegte Selektionsregeln bezogen soziale Systeme (und Subsysteme) das für ihre Funktion erforderliche und dementsprechend vorselektierte Wissen. Und umgekehrt war festgelegt, an wen sie das auf dieser Basis verarbeitete Wissen weitergeben mussten. Erst relativ jung (nämlich seit dem Bestehen der bürgerlichen Gesellschaft, d.h. knapp 250 Jahre) ist ein anderer Typ der Wissensverarbeitung, der sich am Begriff der Öffentlichkeit orientiert und der nicht hierarchisch funktioniert. Einen Sondertypus hat das Wissenschaftssystem entwickelt: In thematisch fokussierten Netzwerken gegenseitiger Beobachtung entstehen - vor allem textbasiert - wissenschaftliche Diskurse. Aber - und das ist entscheidend - alle diese Formen sind im Zuge der informationstechnischen Veränderungen des letzten Jahrzehnts erodiert. Wissensverarbeitung kann - selbst wenn man es wollte - auf die alten Muster nicht mehr zurückgreifen. Aber welche neuen gibt es?

### 2.2 Netzwerke als (welt-) gesellschaftliche Notwendigkeit

In der gegenwärtigen gesellschaftspolitischen Auseinandersetzung wird zivilgesellschaftlichen Netzwerken zugetraut, hierbei eine zentrale Rolle zu übernehmen (vgl. die Bestrebungen der Weltbank zur Schaffung eines "Global Development Networks", der UN für ein "Global Sustainability Network"; und der EU für den Aufbau eines "Global Dialog towards a Sustainable European Information Society"). Außerdem wird vermutet, dass Netzwerkkommunikation zu einer gesteigerten Sensibilisierung und einen behutsameren Umgang mit der Welt führen kann.

Weltgesellschaftlich ist die Konjunktur von Netzwerken eindeutig zu verorten: beginnend mit der Konferenz für Umwelt und Entwicklung UNCED) 1992 in Rio de Janeiro mit einem Vorlauf von Vorbereitungstreffen und sog. Preparatory-Committee-(Prep Com)-Tagungen wurden die Nichtregierungsorganisationen (NRO) und mit ihnen eine Vielzahl von Vernetzungen dieser gesellschaftlichen AkteurInnen zum wichtigen Faktor in den internationalen Verhandlungen. Diese Entwicklung setzte sich in den nachfolgenden UN-Konferenzen fort: auf der Wiener Menschenrechts-Konferenz 1993, der Weltbevölkerungskonferenz in Kairo 1994, dem Weltsozialgipfel in Kopenhagen 1995, der Weltfrauenkonferenz in Peking 1995, der Habitat-Konferenz in Istanbul 1996 und dem Welternährungsgipfel in Rom 1996.

Insgesamt haben in der internationalen Politik mit diesen Konferenzen auch in den Einzelstaaten die Themen Geschlechterverhältnisse, Soziales, Ökologie und Menschenrechte einen höheren Stellenwert erlangt. Da dies die traditionellen Felder von NROen waren und sind, stieg damit auch deren politische Bedeutung. Eine zentrale Grundlage der NROen und der Netzwerke dieser neuen zivilgesellschaftlichen AkteurInnen ist die Agenda 21 der Rio-Konferenz und für die innerstaatliche Ebene insbesondere auch die Lokale Agenda 21, in der neue Formen zivilgesellschaftlicher Beteiligungsformen von sozialen Gruppen und BürgerInnen und die systematische Einbeziehung von z.B. Frauen und anderen gesellschaftlich diskriminierten Gruppen in alle Politikfelder der Agenda 21 wie z.B. das Aktivitätsfeld Gesundheit als Voraussetzung für eine gelingende Sustainable-Development-Politik vereinbart wurden.

### 3. Die Untersuchungsfelder

Die Potentialanalysen werden in den zwei bereits genannten Untersuchungsfeldern durchgeführt, wobei die Auswahl der beiden Untersuchungsbereiche in jeweils inhaltlichen, strukturellen und iuk-technischen Begründungszusammenhängen steht.

#### 3.1 Selbsthilfenetzwerke im Gesundheitswesen

Selbstorganisations- und Selbsthilfenetzwerke im Gesundheitssystem sind aus folgenden Gründen als Untersuchungsfeld für die Potentialanalysen von IuK-Technik im Hinblick auf die Gestaltung einer zukunftsfähigen Entwicklung ausgewählt worden:

*a) inhaltlich:* Netzwerke der Selbstorganisation und Selbsthilfe sind institutioneller Bestandteil des Gesundheitssystems, eines relevanten gesellschaftlichen Aktivitätsfeldes. Sie wurden zwar schon immer als wichtiger Faktor in der Krankenversorgung betrachtet. Ihr institutioneller Status war aber bisher immer prekär, da er nicht seiner Bedeutung entsprechend formell-institutionell als integraler Systemaspekt des Gesundheitssystems anerkannt war. Dieses Teilsystem gesellschaftlicher Reproduktion kann als hoch differenziertes System partikularer, vernetzter Subsysteme und asymmetrischer Kommunikationsverhältnisse zwischen den AkteurInnen dieser Subsysteme charakterisiert werden. Die Bedeutung des Gesundheitssystems für Sustainable Development findet ihren inhaltlichen Ausdruck darin, dass der Schutz der menschlichen Gesundheit als ein wesentlicher Aspekt der zukunftsfähigen Sicherung der menschlichen Lebensgrundlagen angesehen wird. Entsprechend wurde die Notwendigkeit der Gestaltung des Gesundheitssystems als ein wesentlicher Aspekt einer zukunftsfähigen Entwicklung durch ihre Aufnahme in die Agenda 21 (Kapitel 6) betont. Dieser Einsicht in die Notwendigkeit des Schutzes der Gesundheit als zentraler Aspekt von Sustainable Development wird in dem HGF-Projekt dadurch Rechnung getragen, dass der Schutz der Gesundheit als Nachhaltigkeitsziel zum Bestandteil des "integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung" gemacht wurde (Jörrissen u.a. 1999:46 ff.) .

**b) strukturell:** Das Aktivitätsfeld Gesundheit mit seiner arbeitsteiligen, kooperativen bzw. vernetzten Struktur unabhängiger und voneinander abhängiger Subsysteme zeichnet sich insbesondere durch eine schon seit langem existierende Vielfalt selbstorganisierter und Selbsthilfe-Netzwerkaktivitäten von PatientInnen aus. Dies ist vor allem Ausfluss der Notwendigkeit, die AdressatInnen – die PatientInnen – in die Leistungserstellungsprozesse zur Sicherstellung der Funktions- und Leistungsfähigkeit des Gesundheitssystems einzubeziehen. Diese empirische Situation stellt eine Grundlage dar, Ansätze und Erfahrungen in der Praxis mit Netzwerken der Selbstorganisation und Selbsthilfe zu untersuchen. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf eine integrierte Betrachtung des WAS (Gesundheit/Information, Kommunikation, Belange spezifischer einzubeziehender gesellschaftlicher Gruppen) und des WIE seiner Institutionalisierung.

**c) technisch:** Im Gesundheitswesen werden große Erwartungen in iuk-technisch gestützte Netzwerke von PatientInnen gesetzt, in denen partikular erzeugtes und dezentral gesammeltes, insbesondere gesellschaftlich stilles oder implizites Wissen über Probleme und Problemlösungsalternativen für eine verbesserte Gesundheitsversorgung gesellschaftlich verfügbar gemacht wird und in konkrete Entscheidungsprozesse einfließen kann. Diese Erwartung und der bereits bisher relativ hoch entwickelte Stand realer iuk-technisch unterstützter Vernetzungen im Gesundheitssystem qualifiziert dieses gesellschaftliche Teilsystem in besonderem Maße für eine exemplarische, sekundäranalytische Untersuchung (Dippoldsmann 1998:11; Dippoldsmann 2001:132; Meggeneder 2001:133).

**Erkenntnisinteresse:** Beobachtung und Analyse derjenigen gesellschaftlichen Sachverhalte, Zusammenhänge, Funktionsweisen, Prozesse oder Bedingungen dieses Teilsystems, in die die zivilgesellschaftlichen (Wissens-) Netzwerke sozial und in Form iuk-technischer Artefakte eingebettet sind oder werden sollen. Es geht darum, zu verstehen, wie informationsgesellschaftliche Wissens-Netzwerke im Hinblick auf Sustainable Development in Abgrenzung von (teilweise) schon realisierten oder geplanten Vernetzungsformen gestaltet werden können (vgl. Dippoldsmann 2000a).

### **3.2 Kommunale Netzwerke im Rahmen lokaler Agenda 21-Prozesse**

Für die Auswahl von kommunalen Netzwerke, die sich im Rahmen lokaler Agenda 21-Prozesse gestalten, als Untersuchungsgegenstand für die zweite Potentialanalyse gibt es folgende Gründe:

**a) inhaltlich:** Die Kommunen haben eine besondere Relevanz für die Gestaltung einer Nachhaltigen Entwicklung (vgl. Poppenborg 1999). Außerdem eignet sich dieses Anwendungsfeld in besonderer Weise für eine interdisziplinäre Forschung, weil sich in ihm ein Grundproblem der sogenannten *Informations- bzw. Wissensgesellschaft* manifestiert: Aus einer Vielzahl von Akteuren, Organisationen, Institutionen und diskutierenden Zirkeln mit partikularen Weltbezügen, Identitäten und Interessen wird versucht, ein gemeinsames Bezugssystem zu entwickeln, die unterschiedliche Handlungsstrategien aufeinander abzustimmen, Erfahrungen auszutauschen, Wissen bereitzustellen und viele einzelne Maßnahmen und Aktionen im Zusammenhang mit dem Leitbild "Sustainable Development" zu reflektieren. Um dies zu gewährleisten, soll ein öffentlicher Kommunikationsraum aufgebaut werden, der Bürgerpartizipation nicht auf bloßes Informiert-sein reduziert, sondern ein aktives Engagement der Bürger zulässt und fördert.

**b) strukturell:** Lokale Agenda 21-Prozesse sind nach einer Untersuchung von de Haan u.a. (2000) organisationssoziologisch in folgende vier Modelle zu unterteilen: Kooperationsmodell, Initiationsmodell, Verwaltungsmodell und Netzwerkmodell. Von besonderem Interesse sind das Kooperations- und das Netzwerkmodell, da beide versuchen, den in der Agenda 21 verankerten Ansprüche der Partizipation, Mitbestimmung und Kooperation vieler heterogener Akteure gerecht zu werden. Durch die spezifische

Struktur dieser Organisationsmodelle, die sich stark von der in üblichen öffentlichen Verwaltungsabläufen unterscheiden, muss sich die hier zum Einsatz kommende Technik an einigen besonderen Anforderungen bewähren: vor allem an einem hohen Maß von Ungeregeltheit der Kommunikations- und Abstimmungsprozesse, an Kontingenz, Asymmetrisierungen und evolutionärer Dynamik.

**c) *technisch:*** Die bisherige technische Unterstützung im Prozess der Lokalen Agenda beschränkt sich in erster Linie auf zweierlei Aspekte: Zum einen gibt es eine Reihe von WWW-Sites, in denen auf die verschiedenen Gemeinden, die eine entsprechende Initiative ergriffen haben, verwiesen wird. Zwar gibt es weltweit eine Fülle von Darstellungen über Gemeinden, Initiativen, parteipolitische Stellungnahmen, programmatische Aussagen von NGOs und Internationaler Organisationen, die aber sehr verstreut und zufällig im World Wide Web placiert sind (z.B. die Städte im Klimabündnis oder die Liste aller von der ICLEI als vorbildlich ausgezeichneten Kommunen). Sie alle kämpfen mit dem allgemein bekannten Problem des WWW, dem Benutzer entweder keine oder aber zu viele Mitteilungen anzubieten, so dass letztendlich keine Information stattfindet. Für die im Rahmen des Prozesses der Lokalen Agenda besonders wichtigen Abstimmungsprozesse über politische Initiativen, Planungsverfahren, demokratischen Willensbildungsprozesse gibt es - mit wenigen Ausnahmen - keine explizit, mit Blick auf die Besonderheiten eines nachhaltigen sozialen Kommunikations- und Entwicklungsprozesses entwickelten technischen Unterstützungsinstrumente. Auch die vorhandenen CSCW-Anwendungen sind nur zum Teil hierfür geeignet, da sie sich vor allem auf gut-strukturierte, ja z.T. auf streng geregelte Abläufe beziehen.

***Erkenntnisinteresse:*** Vor diesem Hintergrund wird der potentielle Nutzen der IuK-Technik in der Unterstützung eines kommunalen Sustainability-Netzwerkes darin gesehen, durch die Zusammenführung einzelner Akteure einen Prozess der *Zukunftsfähigen Entwicklung* unterstützend mitzugestalten. Um eine Stadt oder Gemeinde zu einer "Sustainable City" werden zu lassen, benötigt es mehr als vielfältige Einzelaktivitäten, die sich auf das Leitbild der Zukunftsfähigkeit beziehen. Der Prozess bedarf einer Selbstbeschreibung, die sowohl der Kommune als Ganzes als auch der verschiedenen Einzelaktivitäten einen Zusammenhalt gewährt (Prinzip der *Ganzheitlichkeit* in der Agenda 21). Die zentrale These ist, dass ein informationstechnisch gestütztes Wissensnetzwerk bei der Bewältigung dieser Herausforderung helfen kann und das Erkenntnisinteresse liegt zum einen in der Überprüfung dieser These und in einem zweiten Schritt in der Formulierung potentieller Entwicklungs- und Gestaltungsmöglichkeiten solch eines iuk-technisch gestützten Netzwerkes.

## **4. Erste Ergebnisse**

### **4.1 Selbsthilfenetzwerke im Gesundheitswesen**

Wie oben schon betont, sind Netzwerke, auch in ihrer spezifischen Ausformung als Wissensnetzwerke, inzwischen zunehmend Untersuchungsgegenstand theoretischer und empirischer Forschungsarbeiten. Dies gilt auch für das Gesundheitssystem. Das Problemfeld iuk-technisch unterstützter Gesundheitsnetzwerke ist somit – wie sich in dem hier zu berichtenden, ersten Untersuchungsschritt zeigte – in einen voraussetzungsreichen Diskurs eingebettet: als politisch-ökonomische Notwendigkeit, zivilgesellschaftliche Perspektive, wissenschaftlicher (theoretisch/empirisch) Untersuchungsgegenstand und informationsgesellschaftliche und iuk-technische Herausforderung. Vor dem Hintergrund dieses Diskursfeldes wurde ein Untersuchungsgerüst entworfen und die Fragestellung präzisiert. Insgesamt zeigte sich, dass der Fokus der Fragestellung insbesondere auf der Wissensgenerierung für die AkteurInnen und die Leistungserstellungsprozesse gelegt werden muss:

- was ist relevantes gesellschaftliches Wissen im Sinne von Sustainable Development in diesem Bereich gesellschaftlicher Reproduktion;
- was qualifiziert diese Netzwerke als zivilgesellschaftliche Sustainable-Development-Netzwerke und
- welche sozio-technische Form und Leistungsfähigkeit müssen diese Netzwerke annehmen, um das erforderliche Wissen zu generieren, es zu sichern und es als kollektives Wissen verfügbar zu machen.

Trotz der breiten Debatte über die in den Gesundheitsnetzwerken realisierten Potentiale der IuK-Schlüsseltechnologien und über die Qualität des für die Selbsthilfe und Selbstorganisation von PatientInnen erforderlichen Wissens zeigte sich schon zu Beginn dieses ersten Untersuchungsabschnitts, dass insbesondere den Begriffen *Wissensnetzwerk* und *zivilgesellschaftliches Netzwerk* sehr unterschiedliche Bedeutungen unterlegt werden.

Gesundheitsnetzwerke als soziale Innovationen, als Erfindungen zur Lösung komplexer Probleme sind unter Sustainable-Development-Gesichtspunkten erst ein in Ansätzen reflektiertes und untersuchtes gesellschaftspolitisches und wissenschaftliches Problem. Mit der direkten Verknüpfung der Entwicklung der Informationsgesellschaft und ihrer Technik mit den Gestaltungsanforderungen, die Sustainable Development stellt, wird sowohl wissenschaftlich wie gesellschaftspolitisch Neuland betreten. Sustainable-development-spezifische Gesundheitsnetzwerke sind in der Praxis allenfalls in Ansätzen verwirklicht und erst in Anfängen reflektiert (Dippoldsmann 1999).

Dieser Hintergrund bestimmte das Vorgehen des ersten Untersuchungsschritts: Es wurde der Wissens- und Zivilgesellschaftsbegriff für diesen Teilbereich gesellschaftlicher Reproduktion konkretisiert, der der nachfolgenden, problemorientierten Untersuchung der iuk-technisch unterstützten Gesundheitsnetzwerke und ihrer Einschätzung für Sustainable Development zugrunde gelegt wird.

#### **4.1.1 Die Wissensfrage**

Der in unserer Untersuchung unterlegte Wissens-Netzwerkbegriff fokussiert Wissen als *kommunikativen Sachverhalt* und als Produkt eines gesellschaftliche Bedeutungen konstruierenden Prozesses. Er fokussiert Wissen als Produkt, das in spezifischen gesellschaftlichen Kontexten durch die sozialen Individuen generiert und gesellschaftlich verfügbar gemacht wird. Wissen ist in diesem Sinne ein Produkt, das sich durch gesellschaftliche Beziehungen bzw. Kommunikationsverhältnisse der sozialen Individuen materialisieren und technisch und institutionell objektivieren muss. Verfügbarkeit von Wissen beinhaltet dabei auch das Problem eines "corporate memory", bei dem es um die Frage von gemeinsamen Daten und einem gemeinsamen Vorverständnis sowie die Erschließung und den Zugriff auf ein gemeinsames Wissen (die Suche des wo und wonach) geht.

Mit diesem Produktionsprozess ist gleichzeitig impliziert, dass die Netzwerke der Selbsthilfe und Selbstorganisation eigenständige, systemisch übergreifende Beobachtungsregeln und Relevanzkriterien zur Konstruktion von system- bzw. netzwerkspezifischen Informationen generieren. Mit dieser Notwendigkeit der Verfügung über Relevanzkriterien kommt gleichzeitig ein weiteres, im Verlauf der Untersuchung noch zu klärendes Problem hinzu: Entscheidender Bezugspunkt für Relevanz aus Sicht der NetzwerkakteurInnen ist der Gesundheits- bzw. Krankheitsbegriff: was ist unter Gesundheit und Gesundheitsversorgung bzw. unter Krankheit oder Krankenversorgung zu verstehen.

#### 4.1.2 Die Bedeutung von zivilgesellschaftlichen Netzwerken im Gesundheitswesen

Die im folgenden aufgeführten Aspekte zu den einzelnen, sich überschneidenden Diskursen kennzeichnen stichpunktartig den erreichten Status quo der Auseinandersetzung, in dem die Gesundheitsnetzwerke verortet sind:

Für die Sozial- und Gesundheitssysteme wurde schon 1986 in der Ottawa Charta zur Gesundheitsförderung der Weltgesundheitsorganisation in einem Mehrebenenkonzept, das verschiedene Handlungsebenen (persönliche Kompetenzen, Gemeinschaftsaktionen, Organisationsentwicklung, gesundheitsförderliche Lebenswelten und eine gesundheitsfördernde Gesamtpolitik) in Beziehung zu bringen sucht, die Notwendigkeit der Einbeziehung "konkreter und wirksamer Aktivitäten von Bürgern" "im Sinne einer vermehrten Selbstbestimmung" festlegt. Denn der Gesundheits-/Krankheitsbereich zeigt in besonderer Weise die Probleme gesellschaftlicher Systeme, die die Problemlösungen in die Zuständigkeit bürokratischer Organisationen und Expertenkulturen übertragen und deren Leistungserbringung finanzieren - mit der Folge der Enteignung der Subjekte von alltäglicher Lösungskompetenz, der Dominanz der Defizit-Perspektive auf Lebenslagen und der Expertenzentriertheit.

Gerade die Kräfte, die durch die Vernetzung von gleich Betroffenen entstehen können, sind insbesondere bei der Bewältigung von Krisen, Krankheiten und Behinderungen sowie bei der Formulierung und Realisierung selbstbestimmter Lebensentwürfe von besonderer Qualität. Deshalb wurde die Unterstützung selbstorganisierter Betroffenengruppen zunehmend zu einem zentralen Aufgabenfeld professioneller Praxis. Deshalb formuliert die Ottawa Charta und die darauf aufbauende Initiative "Gesunde Städte" eine Perspektive bürgerschaftlichen Engagements als Basis der Gesundheitsförderung, bei der die Nachbarschaften und Gemeinden in ihrer "Autonomie und Kontrolle über die eigene Gesundheitslage ... zu stärken" sind. "... bestehende soziale Unterschiede des Gesundheitszustandes (sind) zu verringern sowie gleiche Möglichkeiten und Voraussetzungen zu schaffen, damit alle Menschen befähigt werden, ihr größtmögliches Gesundheitspotential zu verwirklichen." Um diese Ziele zu erreichen wird u.a. als erforderlich eingeschätzt, dass die "Menschen in allen Lebensbereichen ... zu beteiligen (sind) als einzelne, als Familien und als Gemeinschaften." (zit. n. Göbel 1996:188 ff.)

In Deutschland haben die gegenwärtigen Regierungsparteien die Beseitigung institutioneller Hindernisse für BürgerInnenengagement sowie die Schaffung zeitgemäßer Zugänge zum freiwilligen Engagement als Ziel vereinbart und mit einer gesetzlichen Regelung in § 20 Abs. 4 Sozialgesetzbuch (SGB V) im Dezember 1999 die Stärkung selbstorganisierter Selbsthilfe beschlossen: "Die Krankenkasse soll Selbsthilfegruppen, -organisationen und -kontaktstellen fördern, die sich die Prävention oder die Rehabilitation von Versicherten ... zum Ziel gesetzt haben". Darüber hinaus zielt auch das Aktionsprogramm der Bundesregierung Innovation und Arbeitsplätze in der Informationsgesellschaft des 21. Jahrhunderts vom September 1999 auf den Aufbau von Netzwerken und Behandlungsketten im Gesundheitssystem.

In den iuk-technisch unterstützten Gesundheits-Netzwerken der Selbstorganisation und Selbsthilfe von PatientInnen verdichtet sich in exemplarischer Weise die zentrale Aufgabe dieses Teilsystems gesellschaftlicher Reproduktion: die Herstellung bzw. Ermöglichung des alltäglichen individuellen und kollektiven sozialen Umgangs mit krisenhaften und riskanten lebensweltlichen Problemlagen, Krankheiten und Behinderungen durch die PatientInnen als AkteurInnen des Gesundheitssystems. Die existierenden Selbsthilfegruppen und Selbstorganisationen von PatientInnen und ihre Vernetzungen zeigen exemplarisch, dass die besonders kritische Ressource bei der Lebens- und Krisenbewältigung die Aktivierung von Wissen über den Umgang mit diesen Problemlagen ist (vgl. Meggeneder, 2000:133). Die zentrale Bedeutung des Wissens als Ressource und als *kommunikativer Sachverhalt*, das die sozialen Netzwerke für diesen Herstellungs- und Bewältigungsprozess mobilisieren können, rückt zunehmend ins Zentrum der Aufmerksamkeit von Politik und Forschung.

### **4.1.3 Weiteres Vorgehen**

Die exemplarische Untersuchung, die Erkenntnisse über Möglichkeiten und Ansatzpunkte für eine perspektivische Veränderung des gesellschaftlichen Status Quo im Sinne von Sustainable Development gewinnen will, ist darauf angewiesen, problemorientiert vorzugehen. Die Untersuchung bereits existierender Gesundheitsnetzwerke zur Selbstorganisation und Selbsthilfe der PatientInnen soll über sozio-technische Netzwerk-Bedingungen einer gelingenden Information und Kommunikation, einer sozio-technischen Generierung, Verfügbarkeit und Verteilung von Wissen sowie auf die Art und Weise ihrer Institutionalisierung Aufschluss geben.

## **4.2 Wissensnetzwerke im Rahmen lokaler Agenda 21-Prozesse**

Für das Untersuchungsfeld "Wissensnetzwerke im Rahmen lokaler Agenda 21-Prozesse" konkretisieren sich die grundsätzlichen Forschungsfragen in folgender Weise:

- Welche Bedeutung haben kommunale Wissensnetzwerke für die Gestaltung einer nachhaltigen Informationsgesellschaft?
- Was sind die Kennzeichen kommunaler zukunftsfähiger Wissensnetzwerke?
- Was sind die zentralen Probleme und Herausforderungen bei der Bildung kommunaler zukunftsfähiger Wissensnetzwerke?
- Welches Potential liegt in der iuk-technischen Unterstützung solcher Netzwerke?

Um diese Fragen zu bearbeiten, war es zunächst notwendig, die Bedeutung der Kommunen im politischen Mehrebenensystem der BRD und speziell in der Agenda 21 zu betrachten. Bei diesem Schritt konnte auf bereits geleistete Arbeiten im Rahmen der Vorstudie zurückgegriffen werden (Poppenborg 1999, Dippoldsmann 1999). Für eine konkretere Beschreibung der institutionellen Innovation "zivilgesellschaftliche Wissensnetzwerke" wurde sich in einem ersten Schritt dem Begriff des Wissens genähert. Es existieren zahlreiche Definitionen und Klassifikationen dieses Begriffes und nach Betrachtung dieser Definitionen wurde eine Arbeitsdefinition gewählt, die den Ansatzpunkt des Forschungsinteresses widerspiegelt. Die Bearbeitung der dritten Frage machte es erforderlich sich ausführlicher mit den Problemen und Herausforderungen, die in lokalen Agenda 21-Prozessen auftreten, zu beschäftigen und dabei den kommunikativen Aspekt der Wissensvernetzung zu fokussieren. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen und werden weitergeführt. Hierzu sind eine Reihe von Expertenworkshops geplant. Expertenworkshops sind ebenfalls in bezug auf die Beantwortung der vierten Frage, der Frage nach dem iuk-technischen Potential eine wichtige Rolle spielen. Die Beschreibung des momentanen Status-Quo zeigt deutlich, dass der bisherige Einsatz von IuK-Technik im Rahmen kommunaler lokaler Agenda-Prozesse (noch?) sehr eingeschränkt ist.

### **4.2.1 Die Bedeutung der Kommunen**

Kommunen werden zunehmend zu Orten der "Glokalisierung" (Robertson 1998), d.h. sie stehen zunehmend in einem Spannungsfeld zwischen den weltweiten Entwicklungen auf internationaler und nationaler, auf ökonomischer, politischer, sozialer und kulturellen Ebene und dem Bedürfnis "nach Rückgewinnung dezentraler Handlungsspielräume, sozialer Identifikation („Heimat“) und Überlagerung der Wettbewerbsstrukturen durch Solidarstrukturen" (Fürst 1991:93).

Kommunen sind keine nach außen abgeschlossenen räumliche Gebilde, sondern vielmehr Verdichtungszone zusammenlebender Menschen, die ihrerseits Beziehungen in alle möglichen weiteren sozia-

len, kulturellen, ökonomischen und politischen Räumen pflegen und das sowohl auch auf regionaler, nationaler, als auch internationaler Ebene (vgl. Gessenharter 1996:5). Die Urbanisierungsprozesse nehmen zu und Gessenharter verweist auf Prognosen, die besagen, dass im Jahre 2025 die Hälfte aller Menschen in Städten leben wird, in den Entwicklungsländern werden es sogar 80 Prozent sein (vgl. Ebd.).

Die Bedeutung der Kommunen wird in der Agenda 21 (Kapitel 28) explizit genannt und derzeit befinden sich gut 1650 bundesdeutsche Städte und Gemeinden in lokalen Agenda 21-Prozessen. Ihnen kommt eine besondere Relevanz zu und " (...) auf der lokalen Ebene, in den Vielfältigkeiten der Lokalen Agenda 21, passiert vieles und möglicherweise gar mehr als auf den internationalen diplomatischen Konferenzen" (Biermann u.a. 1997:15).

#### **4.2.2 Kennzeichen kommunaler zukunftsfähiger Wissensnetzwerke**

Die erforderliche umfassende Veränderung in den dominanten Lebens-, Produktions- und Konsumtionsmustern kann nicht nur in einem "top-down" - Politikansatz verordnet werden, sondern muss durch einen "bottom-up-Ansatz" ergänzt werden, der durch Partizipations-, Mitbestimmungs- und Selbstorganisationsprozesse geprägt ist und in dessen Rahmen sich komplexe Kooperations- und Netzwerkbeziehungen bilden. "Es kommt auf die Intelligenz der politischen Praxis an, *konkret* eine Komplementarität zwischen beiden Modellen zu finden — und zu institutionalisieren" (Heinelt 2000:59).

Schneidewind trägt diesem Ansatz Rechnung, wenn er formuliert, die Gestaltung einer Nachhaltigen Informationsgesellschaft ist vor allem eine Suche nach "Organisationsformen moderner Gesellschaften, die unter Rückgriff auf die Möglichkeiten neuer Informations- und Kommunikationstechnologien (Iuk) viele der zu beobachtenden ökologischen und sozialen Nebenfolgen moderner Industriegesellschaften zu beherrschen fähig sind" (Schneidewind 2000:17). Er stellt die besondere Bedeutung von Kooperationen und Netzwerken als zentrales Gestaltungselement einer zukunftsfähigen Informationsgesellschaft heraus.

Kommunale zukunftsfähige Wissensnetzwerke sind geprägt von einer Vielzahl heterogener Akteure, die miteinander in einen "zukunftsbezogenen gesellschaftlichen Such-, Lern- und Gestaltungsprozess" (Minsch u.a. 1998:VIII) eintreten müssen. Und das bedeutet einerseits, dass sich auf kommunaler Ebene die verschiedensten Akteure von Kommunalpolitik, Kommunalverwaltung, BürgerInnen bis hin zu lokalen Wirtschaftsunternehmen, NGOs und Organisationen und Verbänden auf eine neue Form des Umgangs mit Informationen und Wissen einlassen und neue Kompetenzen erlernen müssen und zum anderen, dass neue Methoden und Techniken entwickelt werden müssen, die diese Form des gesellschaftlichen Informations- und Wissensmanagements unterstützen.

Für die Gestaltung einer Nachhaltigen Entwicklung stellt sich eine "völlig neue Herausforderung für das Schaffen von Informationen und Wissen, dessen Transfer und Vernetzung, für Kommunikationsstile und Gruppenlobbyismus (...). Hier deuten sich völlig neue Professionalisierungen bezüglich des Informations- und Wissensmanagements an, die über die gegenwärtigen Techniken weit hinausreichen" (Dangschat 1997: 189). Doch worum geht es dabei genau, was ist der Unterschied zwischen einem Informations- und einem Wissensmanagement? Was sind Informationen und Wissen im Gegensatz zu Daten?

Willke (1998) unterscheidet zwischen Daten, Informationen und Wissen mit Hilfe von Relevanzkriterien. *Daten* sind codierte Beobachtungen, was bedeutet, dass es keine Daten an sich, sondern immer nur beobachtungsabhängige Daten gibt. Was wir nicht beobachten können, existiert für uns auch nicht als Datum. Aus Daten werden *Informationen*, wenn sie in einen ersten Kontext von systemspezifischen Relevanzen eingebunden werden. Gregory Bateson (1972) spricht in diesem Zusammenhang von

"a difference which make a difference". *Wissen* entsteht nach Willke erst durch den Einbau von Informationen in einen zweiten Relevanzkontext und zwar in konkrete Erfahrungskontexte. Dieser Prozess ist ein Prozess des Lernens, in dem als Ergebnis Wissen entsteht. Wissen ist insofern weit mehr als Information, Wissen ist "die Möglichkeit etwas in Gang zu setzen" (Bechmann&Stehr 2000: 114) oder wie es der Ökonom definiert "die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen" (Probst 1999:46). Für die Generierung und Vernetzung von Wissen spielt die "community of practice" eine zentrale Rolle (vgl. Willke 1998:13). Wissen ist somit eine wichtige Handlungsressource (vgl. Stehr 1994). Dies gilt insbesondere für die Umsetzung einer Nachhaltigen Entwicklung, denn sie ist mit der Lösung vielfältiger sozialer, ökologischer und ökonomischer Probleme verknüpft.

Neben einer Vielzahl von ökologischen, sozialen und ökonomischen Daten und Informationen und wissenschaftlichen Wissen ist das (Erfahrungs-)Wissen einzelner, sehr heterogener Akteure von besonderer Relevanz. Es gilt ihr Wissen zusammenzubringen und durch eine gemeinsame Praxis nicht nur zu vernetzen, sondern auch gemeinsam neues Wissen zu generieren.

### 4.2.3 Probleme und Herausforderungen

Neben finanziellen Spielräumen (Rösler 2000:25), sind es vor allem Fragen des Prozessverständnisses und der Prozessgestaltung, die als Hemnis für die Einführung, Entwicklung und Umsetzung von lokalen Agenda21-Prozessen eine große Rolle spielen (vgl. Anton 2000). Wie schafft man einen Prozess der Wissensgenerierung, der die WAS- und WIE-Fragen von Sustainable Development gleichermaßen berücksichtigt?

Dabei geht es aber auch um die Beantwortung der in der Agenda 21 gestellten Frage, inwieweit nicht neue politisch-institutionelle Bedingungen geschaffen werden müssen, um dem Prozess des Sustainable Development überhaupt eine Chance zu geben. Sustainable Development ist ein gesellschaftliches Projekt, das aufgrund der Dynamik und Komplexität seiner ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimensionen nicht anhand exakter Kriterien abschließend beschrieben und als detailliertes Zielsystem festgehalten werden kann. Zudem müssen die Akteure, Organisationen, Institutionen, diskutierenden Zirkel und Individuen mit ihren partikularen Weltbezügen, Identitäten und Interessen zukunftsfähige Formen des Wirtschaftens und Lebens im Verlauf dieses Prozesses erst finden. Ein gemeinsames Bezugssystem muss entwickelt, Wissen muss bereitgestellt, unterschiedliche Handlungsstrategien müssen aufeinander abgestimmt, Erfahrungen ausgetauscht und viele einzelne Maßnahmen und Aktionen im Zusammenhang mit dem regulativen Idee Sustainable Development reflektiert werden. Das Gesellschaftsmodell der "Lokalen Agenda 21" ist dynamisch. Gesellschaft als die soziale Konstitution der Individuen und Akteure in ihren Beziehungen entwickelt sich als Prozess. Gestaltbarkeit und Veränderbarkeit der politischen, wirtschaftlichen und sozialen Lebenswelt wird im Rahmen eines gesellschaftlichen Lernprozesses im "Zusammenspiel von Kreativität, Erfahrung und Gewohnheit" gefunden und hergestellt.

Das betont, dass es dabei nur bedingt um den Transfer und die Vernetzung von (natur-) wissenschaftlichen Wissen und Informationen geht, sondern auch, wie Dangschat es ausdrückt "um die Fähigkeit, sich eine Zukunft auch dann zu erarbeiten, wenn sie mit erheblich veränderten Wertvorstellungen verbunden wird" (Dangschat 1997: 189). Dafür ist es zum einen wichtig das Erfahrungswissen der einzelnen Akteure miteinander zu vernetzen und gemeinsam neues Wissen zu generieren und zum anderen ein organisationales Wissen zu institutionalisieren, welches in den "*personen-unabhängigen, anonymisierten Regelsystemen, welche die Operationsweise eines Sozialsystems definieren*" (Willke 1998: 16) steckt und ebenso entscheidend für die Gestaltung einer zukunftsfähigen Wissensgesellschaft ist.

Das lenkt den Blick auf die erarbeiteten HGF-Strategieanforderungen für die institutionelle Dimension. Die herausgearbeiteten Anforderungen sind institutionelle Innovationen, die im besonderen Maße bei der Gestaltung kommunaler Wissensnetzwerke von Bedeutung sind und zentrale Problemfelder lokaler Agenda 21-Prozesse darstellen.

#### **4.2.4 Potential einer iuk-technischen Unterstützung**

Wie bereits oben dargestellt, ist die bisherige iuk-technischer Unterstützung von lokalen Agenda-Prozessen vor allem auf die Darstellung der Aktivitäten einzelner Städten und Kommunen im WWW beschränkt. Unser Interesse fokussiert die umfassendere WIE-Frage der institutionelle Gestaltung einer Nachhaltigen Entwicklung, für die folgende Anforderungen formuliert wurden: Resonanzfähigkeit, Reflexivität, Selbstorganisation, Selbststeuerung, Machtausgleich und Erwartungskonformität, aber auch Partizipation (vgl. Jörissen 1999).

Aufbauend auf diesen institutionellen Anforderungen werden konkrete Gestaltungsmerkmale der Wissensvernetzung innerhalb eines lokalen Agenda 21 — Prozesse zusammenhängend beschrieben und als Grundlage für die geplanten Expertenworkshops verwendet.

## **5. Ausblick**

### **5.1 Die Expertenworkshops**

Aufgrund der Tatsache, dass im Rahmen von lokalen Agenda 21-Prozessen bisher wenig IuK-Technik kontextspezifisch eingesetzt wird, ist das Ziel der geplanten Workshops Experten aus dem Bereich "Lokale Agenda 21- Prozesse" mit Technikentwicklern zusammenzubringen und auf der Grundlage der oben genannten Beschreibung, die sich an den bereits formulierten institutionellen Anforderungen orientiert und realisierte Gestaltungsmerkmale der Wissensvernetzung in lokalen Agenda 21-Prozessen widerspiegelt, gemeinsam Ideen über potentielle Einsatz- und Gestaltungsmöglichkeiten von IuK-Technik zu entwickeln. Dabei wird versucht durch die Auswahl der Agenda - Experten ein möglichst breites Spektrum der unterschiedlichen Akteuren eines lokalen Agenda - Prozess (Kommunalverwaltung, Wirtschaft, NGO, etc.) abzubilden. Vergleichbares gilt für die Auswahl der Technikentwickler - auch hier wird versucht, eine möglichst heterogene Gruppe zusammenzubringen, um die Spannbreite der potentiellen Ideen nicht von vornherein sehr einzuengen.

Geplant sind drei Workshops, die professionell moderiert und begleitet werden und deren Ergebnisse protokolliert und zusammenfassend beschrieben werden.

### **5.2 Formulierung von Handlungsempfehlungen**

Die Ergebnisse der Workshops und der sekundäranalytischen Untersuchung der Selbsthilfenetzwerke im Gesundheitswesen sollen transferiert und Handlungsempfehlungen hinsichtlich forschungspolitischer Entscheidungen zur Förderung von Informations- und Kommunikationstechnik, die vor allem die institutionelle Dimension der Gestaltung einer Nachhaltigen Entwicklung unterstützen, erarbeitet werden.

## 6. Wissenstransfer: Publikationen und Vorträge

Der Wissenstransfer der bislang in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse vollzog sich in einer Reihe von Publikationen und Vorträgen.

### ***Publikationen***

*Dippoldsmann P.; Paetau, M.; Poppenborg, A.* (1998): Rezension von J. Misch u.a., Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit, in: TA-Datenbank-Nachrichten, Nr. 3/4, 1998, S. 88 -90

*Dippoldsmann, P.* (1999): Umsetzungen des Leitbildes Sustainable Development auf lokal-gesellschaftlicher Ebene, GMD-Forschungszentrum für Informationstechnik GmbH, GMD Report 87, Sankt Augustin, S. 233

*Dippoldsmann, P.* (1999): Umsetzungen des Leitbildes Sustainable Development auf lokal-gesellschaftlicher Ebene, HGF-Projekt: Untersuchung zu einem integrativen Konzept nachhaltiger Entwicklung: Bestandsaufnahme, Problemanalyse, Weiterentwicklung. Abschlußbericht. Umsetzung des Leitbildes auf unternehmerischer, regionaler und kommunaler Ebene, Bd. 2. Materialienband 2. D, Karlsruhe

*Dippoldsmann, P.* (2000): Umsetzungen des Leitbildes Sustainable Development auf lokal-gesellschaftlicher Ebene, in: TA-Datenbank-Nachrichten, Nr. 2, 2000, S. 25 - 29

*Dippoldsmann, P.* (2000): Innovative institutionelle Indikatoren für eine Sustainable-Development-orientierte Politik. Eine kritische Betrachtung des Diskussionsstands, GMD Report 103, Sankt Augustin

*Dippoldsmann, P.* (2001): Vernetzte Gesundheit - Mensch im Netz. Tendenzen informations- und kommunikationstechnischen "Fortschritts" im Sozial- und Gesundheitssystem, in: Meggeneder, O.; Noack, H. (Hrsg.), Vernetzte Gesundheit. Chancen und Risiken des Internet für die Gesundheit, Schriftenreihe "Gesundheitswissenschaften", 16, Linz, (Institut für Gesellschafts- und Sozialpolitik, Johannes Kepler Universität Linz in Zusammenarbeit mit der Oberösterreichischen Gebietskrankenkasse), S. 47 - 139

*Jörissen, J.; Kopfmüller, J., Brandl, V., Paetau, M.* (1999): Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung. FZKA 6393, Forschungszentrum Karlsruhe

*Paetau, M.* (1999): Computernetze und die Konstitution des Sozialen. In: Honneger, C. et al. (Hg.): Grenzenlose Gesellschaft? Opladen, S. 270-284

*Paetau, M.* (2000): Wie ist zukunftsfähige Entwicklung möglich? Zum Problem gesellschaftlicher Autonomie. TA-Datenbank-Nachrichten. Jg. 9, Nr. 2 (Juni 2000), S. 42-47

*Jörissen, J.; Kopfmüller, J.; Brandl, V.; Paetau, M.* (2000): Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung: Der theoretisch-konzeptionelle Ansatz des HGF-Verbundprojekts. TA-Datenbank-Nachrichten. Jg. 9, Nr. 2 (Juni 2000), S. 35-42

*Poppenborg, A.* (1999): Chancen und Risiken der lokalen Agenda 21 für die kommunale Demokratie. GMD-Report 88, Sankt Augustin

*Poppenborg, A.* (2000): Konsultation – Knackpunkt einer zukunftsfähigen kommunalen Demokratie. In: Streitkultur. Magazin für Politik und Kultur in Europa. 1/2000, S. 4-6

### ***Vorträge***

*Dippoldsmann, P.:* Vernetzte Gesundheit - Mensch im Netz. Tendenzen informations- und kommunikationstechnischen "Fortschritts" im Sozial- und Gesundheitssystem, Kurzfassung in: ÖGGW&PH, Österreichische Gesellschaft für Gesundheitswissenschaften und Public Health (Hrsg.), "Vernetzte Gesundheit - Chancen und Risiken des Internet für die Gesundheit". Referate: 4. Wissenschaftliche Tagung, 13./14. April 2000, Linz

*Paetau, M.:* Die Bedingungen der Möglichkeiten nachhaltiger Entwicklung und die Paradoxie soziologischer Forschung. Vortrag auf dem 30. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Soziologie. Universität Köln, 26. - 29. September 2000

*Paetau, M.:* Informationstechnische Innovation für Umwelt und Entwicklung. Vortrag auf dem Anwenderforum der KI-99: Advances in Artificial Intelligence. 23. Annual German Conference on Artificial Intelligence. University of Bonn, September 14, 1999,

- Paetau, M.*: Informed Sustainability. Keynote Address to the EFITA'99, Second European Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment, University of Bonn, September 27-30, 1999
- Paetau, M.*: Probleme eines integrativen Ansatzes nachhaltiger Entwicklung. Vortrag auf dem Symposium "Nachhaltige Entwicklung und Transdisziplinarität". Universität Erlangen, 19. - 21. Januar 2000
- Paetau, M.*: Zukunftsfähige Entwicklung. Eine Herausforderung für die Informatik. Vortrag auf dem Symposium des FB Informatik III der Universität Bonn. Mai 1999
- Poppenborg, A.*: Chancen und Risiken der lokalen Agenda 21 für die kommunale Demokratie. Vortrag auf Einladung des Vereins "Zukunftsfähiges Bonn e.V." im Mai 1999 in Bonn
- Poppenborg, A.*: Chancen und Risiken der lokalen Agenda 21 für die kommunale Demokratie. Vortrag auf Einladung des Vereins "Zukunftsfähiger Kreis Warendorf e.V." im August 1999 in Sendenhorst

## 7. Literatur

- Anton, J.* (2000): Lokale Agenda 21: Chance für eine nachhaltige Kommunalentwicklung? Eine vergleichende Analyse der Fallbeispiele Köpenick, München und Aschaffenburg, hg. von CAF/Agenda-Transfer, Bonn
- Bechmann, G./ N. Stehr* (2000): Risikokommunikation und die Risiken der Kommunikation wissenschaftlichen Wissens. Zum gesellschaftlichen Umgang mit Nicht-Wissen. In: GAIA 9 (2000), No. 2, S.113-121
- Biermann, F. u.a.* (1997): Zukunftsfähige Entwicklung. Herausforderung an Wissenschaft und Politik. Festschrift für Udo E. Simonis zum 60. Geburtstag, Berlin
- Dangschat, J.* (1997): Sustainable City — Nachhaltige Zukunft für Stadtgesellschaften. In: Brand, K.-W. (Hg.): Nachhaltige Entwicklung: Eine Herausforderung an die Soziologie. Opladen, S. 169-195
- De Haan, G. u.a.* (2000): Bürgerbeteiligung in Lokale Agenda 21-Initiativen. Analysen zu Kommunikations- und Organisationsformen, hg. vom Umweltbundesamt, Opladen 2000
- Dippoldsmann, P. u.a.* (1998): Rezension von J.Minsch u.a., Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit. In: TA-Datenbank-Nachrichten, Nr. 3 / 4, 1998, S.88-90
- Dippoldsmann, P.* (1999): Umsetzungen des Leitbildes Sustainable Development auf lokal-gesellschaftlicher Ebene. GMD Report 87, Sankt Augustin
- Dippoldsmann, P.* (2000): Innovative institutionelle Indikatoren für eine Sustainable-Development-orientierte Politik. Eine kritische Betrachtung des Diskussionsstandes. GMD Report 103, Sankt Augustin
- Dippoldsmann, P.* (2001): Vernetzte Gesundheit — Mensch im Netz. Tendenzen informations- und kommunikationstechnischen "Fortschritts" im Sozial- und Gesundheitswesen. In: Meggeneder, O./H. Noack (Hg.): Vernetzte Gesundheit. Chancen und Risiken des Internets für die Gesundheit, Schriftenreihe "Gesundheitswissenschaften", Linz, S. 47-139
- Fürst, R.* (1991): Stadt und Region in Verdichtungsräumen. In: Blanke, B. (Hg.): Stadt und Staat. Systematische, vergleichende und problemorientierte Analysen "dezentraler" Politik, PVS, Sonderheft 22/1991, S. 93-113
- Gessenharter, W.* (1996): Warum neue Beteiligungsmodelle auf kommunaler Ebene? Kommunalpolitik zwischen Globalisierung und Demokratisierung. In: Aus Politik und Zeitgeschichte B50/96, S. 3-13
- Göbel, G.* (2000): Qualitätssicherung von patientenorientierten Gesundheitsinformationsnetzen im Internet, in: ÖGGW&PH, Österreichische Gesellschaft für Gesundheitswissenschaften und Public Health (Hrsg.), "Vernetzte Gesundheit - Chancen und Risiken des Internet für die Gesundheit". Referate: 4. Wissenschaftliche Tagung, 13./14. April 2000, Linz, S. 11 - 14
- Heinelt, H.* (2000): Nachhaltige Entwicklung durch "Agenda 21"-Prozesse. Politikwissenschaftliche Fragen und Überlegungen zu Debatte. In: Heinelt, H./E. Mühlich (Hg.): Lokale "Agenda 21" Prozesse. Erklärungsansätze, Konzepte, Ergebnisse. Opladen, S.51-67
- Jörissen, J. u.a.* (1999): Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung. Wissenschaftliche Berichte des Forschungszentrums Karlsruhe 6393, Karlsruhe.

- Meggeneder, O./H. Noack* (2000): Vernetzte Gesundheit. Chancen und Risiken des Internets für die Gesundheit, Schriftenreihe "Gesundheitswissenschaften", Linz
- Minsch, J. u.a.* (1998): Institutionelle Reformen für eine Politik der Nachhaltigkeit. Berlin u.a.O.
- Poppenborg, A.* (1999): Chancen und Risiken der lokalen Agenda 21 für die kommunale Demokratie. GMD-Report 88, Sankt Augustin
- Probst, G. u.a.* (1999): Wissen managen. Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. Frankfurt a.M.
- Robertson, R.* (1998): Glokalisierung: Homogenität und Heterogenität in Raum und Zeit. In: Beck, U. (Hg.): Perspektiven der Weltgesellschaft. Frankfurt a.M., S. 192-221
- Rösler, C.* (2000): Lokale Agenda 21 in deutschen Städten. In: Heinelt, H./E. Mühlich (Hg.): Lokale "Agenda 21" Prozesse. Erklärungsansätze, Konzepte, Ergebnisse. Opladen, S. 13-29
- Schneidewind, U. u.a.* (2000): Nachhaltige Informationsgesellschaft. Analyse und Gestaltungsempfehlungen aus Management- und institutioneller Sicht. Marburg.
- Stehr, N.* (1994): Arbeit, Eigentum und Wissen. Zur Theorie von Wissensgesellschaften. Frankfurt a.M.
- Willke, H.* (1998) (Hg.): Systemisches Wissensmanagement. München.

## XIII. Arbeitspaket

### **GLOBALSIM**

# **Simulationsmodelle zur Entwicklung und Analyse von Nachhaltigkeitsstrategien**

**H. Rosé, A. Hoheisel, P. Frank, T. Asselmeyer-Maluga,  
B. Kwella, M. Jugel, A. Sydow**

GMD FIRST.SAS



## Zusammenfassung

Im Berichtszeitraum wurde maßgeblich das Design des interaktiven multidisziplinären Simulationsframeworks zur Entwicklung und Analyse von Nachhaltigkeitsstrategien erarbeitet und das Konzept der **M3-Simulation** entwickelt. Grundlegend ist dabei die Idee der Einbettung wissenschaftlich fundierter Simulationsmodelle in ein Virtual Reality Environment (VR), das reale menschliche Akteure in die Simulation involviert. Die vier entscheidenden Grundfunktionalitäten des Frameworks umfassen: **Modellierung und Datenmanagement** von Real World Systemen durch Simulationsmodelle und generalisierte Datenbank, **Visualisierung und Information** durch intuitive Darstellung als Virtual Environment, **Kommunikation und Interaktion** durch aktive Einbeziehung realer Akteure in die Simulation sowie **Evolution und Erweiterung** durch ein einheitliches Application Programming Interface. Diese Funktionen werden durch folgende Komponenten realisiert: **Multi-Purpose Graphical User Interface** zur Visualisierung der Simulierten Welt in spezifischen Darstellungen - *Views* - angepasst an die verschiedenen Anwendergruppen (Akteure, Experten, Entscheidungsträger, Öffentlichkeit); **Multi User Virtual Environment (MUVE)** als logische Repräsentation der Simulierten Welt; **Modellserver** als verteiltes Netzwerk von wissenschaftlichen Modellen und die **Messdatenbank** zur Verwaltung der Parameter, Messdaten und Referenzkonfigurationen des realen zu simulierenden Systems.

## 1. Konzeption des Simulationssystems

### 1.1 M3-Simulation

Komplexe Real World Simulationen sind derzeit im Begriff, sich zu einem entscheidenden Instrument der IT-unterstützten Problemlösung in zahlreichen Fragestellungen der Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft zu etablieren. Ein prominentes Beispiel dafür ist das Leitmotiv der nachhaltigen Entwicklung, verbunden mit der Suche nach Kriterien, Konzepten und Strategien für eine langfristige und global aufrecht erhaltbare Entwicklung auf unserem Planeten. Die modernen Methoden der IuK-Technologie bieten uns heute erstmals die Chance durch komplexe Real World Simulationen unserer Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft neue Lösungswege, Visionen und Strategien für eine zukunftsfähige Entwicklung zu finden.

Es steht außer Frage, dass für die Untersuchung, Simulation und das Management solch komplexer Systeme das gesellschaftliche Handeln der Menschen eine zentrale Rolle einnimmt. Ein Simulationssystem, das dies realistisch erfassen kann, muss also:

- Die **aktive Rolle der Menschen** widerspiegeln, indem es dazu beiträgt, gesellschaftlich akzeptable Lösungswege und Managementstrategien für Real World Systeme zu entwickeln und zu testen.
- Es sollte eine **pädagogische Funktion** besitzen, indem es die durch die eigene Verhaltensweise initiierten Veränderungen und persönlichen Konsequenzen intuitiv erfahrbar macht.

Ein solches Simulationssystem kann also das menschliche Verhalten nicht *bloß simulieren* – es muss vielmehr die handelnden Menschen direkt in die Simulation einbeziehen. Die Akteure nehmen durch ihre Handlungen aktiv an der Simulation teil und können so auf gänzlich neue Weise Strategien entwickeln. Andererseits werden die Konsequenzen ihrer Handlungen erlebbar, wodurch es möglich wird, strategi-

sche Entscheidungen in einem evolutionären Lernprozess zu verbessern. Eine Simulation, die den Menschen auf diese Weise aktiv einbezieht, nennen wir **Mensch-Modell-Messdaten Simulation**.

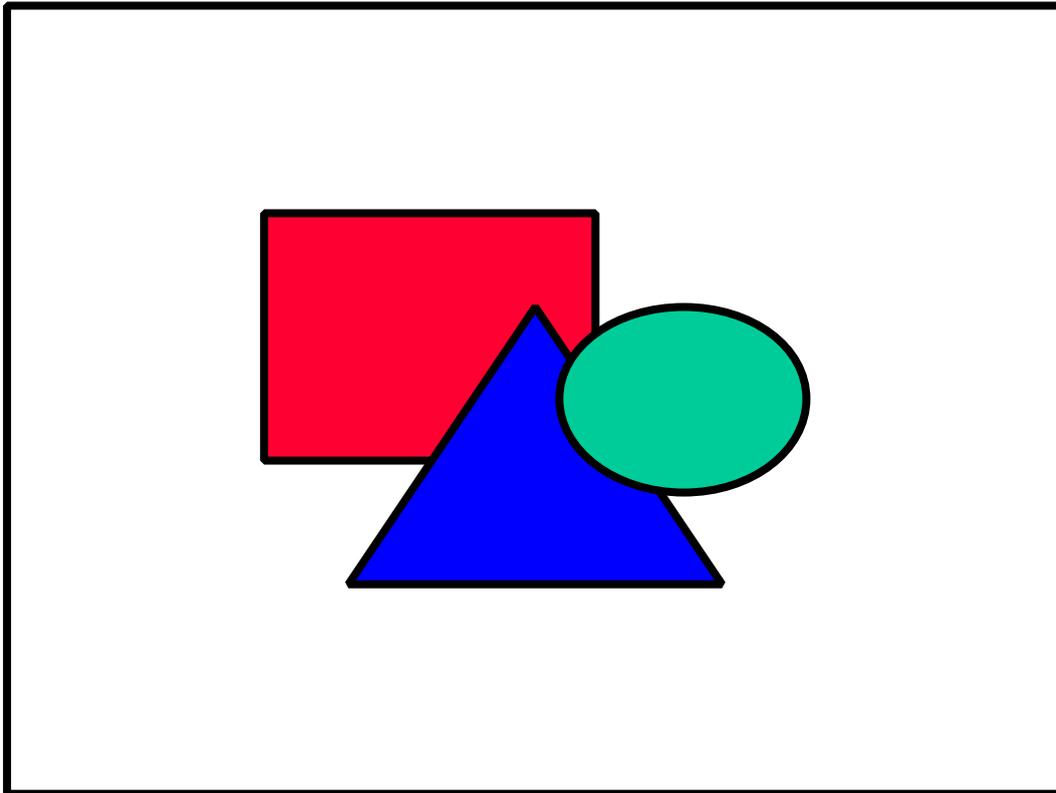
## 1.2 Das M3-Framework

Das M3-Framework kombiniert den wissenschaftlich Ansatz konventioneller Simulationssysteme mit den multimedialen Möglichkeiten der Technik der Virtuellen Realität. Während *wissenschaftliche Simulationssysteme* sich auf eine möglichst adäquate und verifizierbare Modellierung realer Prozesse konzentrieren und in der Darstellung ihrer Resultate meist abstrakt bleiben, stehen in den Anwendungen der VR-Technik die intuitiv eingängige Darstellung von Objekten oder die multimediale Kommunikation und Interaktion vieler Akteure in einer gemeinsamen virtuellen Welt im Vordergrund.

Ein prominentes Beispiel dafür sind die im Internet verbreiteten *Multi User Dungeons* (MUDs), in denen Hunderte von Spielern miteinander kommunizieren und interagieren. Gerade die vielfältigen Kommunikations- und Interaktionsstrukturen zwischen sehr vielen Akteuren sind es, die die MUDs zu komplexen virtuellen Welten machen. Im Gegensatz dazu setzen die zahlreichen *Simulationsspiele* auf eine hochentwickelte Grafik, die ganze Welten ansprechend visualisiert und beschränken sich auf eine kleine Anzahl simultaner Spieler mit geringer Interaktion. Die Ausgestaltung der in diesen Spielwelten simulierten Prozesse wird in erster Linie vom Unterhaltungswert diktiert und kann mit der realitätstreuen Modellierung wissenschaftlicher Simulationssysteme nicht verglichen werden. Man kann jedoch leicht erkennen, dass die Realitätstreue wissenschaftlicher Modelle, gegenständliche Visualisierung und die komplexe Kommunikations- und Interaktionsmöglichkeiten sich nicht ausschließen und so in ihrer Kombination zu einem neuen Ansatz der Simulation von Real World Systeme werden. Grundsätzlich basiert daher das M3-Framework auf der netzwerkbasieren Integration von vier Grundfunktionen:

- **Modellierung und Datenmanagement** von Real World Systemen durch fundierte wissenschaftliche Simulationsmodelle basierend auf aktuellen Messdaten
- **Visualisierung und Information** durch intuitive Darstellung der Simulationsergebnisse als Virtual Environment
- **Kommunikation und Interaktion** durch aktive Einbeziehung realer Menschen in die Simulation, die als Teil der simulierten Welt handeln und auf der Basis aller multimedialer Möglichkeiten interagieren und direkt kommunizieren
- **Evolution und Erweiterung** durch ein einheitliches Application Programming Interface (API), die es dem System als Einheit von Software und menschlichen Akteur ermöglicht, sich selbst zu erweitern

### 1.3 Softwarekonzept des M3-Frameworks



#### *Multi User Virtual Environment (MUVE)*

Die zentrale Komponente des M3-Systems bildet das **MUVE**. Es ist die logische Repräsentation des betrachteten Real World Systems. Ein entscheidender Vorteil der Modellierung realer Systeme auf diese Art und Weise eröffnet sich durch die Möglichkeit, die betrachteten Systeme durch einen konsequent **objekt-orientierten Ansatz** in die Simulierte Welt abzubilden. Jedes Objekt wird dabei durch seinen Zustand, die möglichen Prozesse seiner Änderung und durch seine Relationen zu anderen Objekten charakterisiert. Dieses *Zustand-Prozess-Relation Modell* der das MUVE bildenden Objekte ist nicht nur essentiell für die Abbildung des betrachteten Wirklichkeitsbereiches, es ist auch ein vielversprechender Ansatz zur Lösung des „Koppelungsproblems“ in der Modellierung von Multikomponentensystemen. Die Notwendigkeit der systematischen Definition aller Zustände, Prozesse und Relationen zum Aufbau funktionsfähiger Objektklassen des MUVE gibt dem Modellierer eine Leitstruktur für das Design und die Integration der erforderlichen Simulationsmodelle. Der Einbau neuer Modelle kann sich dabei an der vorhandenen MUVE-Struktur orientieren und so die sukzessive Erweiterung des Systems konsistent sicherstellen.

#### *Modellserver und Datenbank*

Die Modelle, die den betrachteten Umweltbereich, wie z. B. Landwirtschaft, Boden, Wasser, Wetter, Verkehr und Ökonomie, simulieren, und dabei die erforderlichen Daten aus der **vereinheitlichten Datenbank** des M3-Systems beziehen, werden dabei an Hand der Relationen der MUVE-Objekte verknüpft. Ihre Steuerung und Kommunikation wird durch spezielle Markup Languages realisiert, die die Möglichkeiten der XML Technologie einsetzen. Dieses verteilte Netzwerk von Simulationsmodellen bildet den **Modellserver** des M3-Systems.

## ***Multi-Purpose Graphical User Interface***

MUVE und Modellservers generieren auf diese Art und Weise eine Simulierte Welt, die von den realen Akteuren, repräsentiert durch ihre virtuellen Avatare, bewohnt wird. Um in Kontakt mit der M3-Welt zu treten, verwenden die verschiedenen Nutzergruppen speziell an sie angepasste Konfigurationen des **Multi-Purpose Graphical User Interface** – spezielle **Views** – die eine gegenständliche Visualisierung der Simulierten Welt und die Möglichkeit in ihr zu agieren bereitstellen. Die verschiedenen Views liefern dabei jeder Gruppe die für sie notwendigen Informationen über die Simulation. So benötigen z. B. wissenschaftliche Experten und Modellierer einen viel detaillierteren View der Simulationsergebnisse zur Interpretation und Verbesserung des Systems; der View der Entscheidungsträger sollte hingegen zusammenfassende Darstellungen, generelle Optionen und Konsequenzen aufzeigen.

## ***M3-Evolution***

Der interaktive Charakter der M3-Welt bildet selbst eine ideale Umgebung der Erweiterung, der schnellen Kommunikation und Kooperation. Durch die aktive Einbeziehung von realen Akteuren ist das M3-System nicht mehr einfach eine Software, sondern ein sich *selbst entwickelndes Gesamtsystem*. Notwendige Voraussetzung dafür ist die Bereitstellung eines generischen Application Programming Interface (API), das es den Nutzern ermöglicht, das System an die aktuellen Erfordernisse anzupassen. Durch den Betrieb mehrerer „Testwelten“, die beliebig modifiziert werden können und die Selektion und Übernahme der besten Erweiterungen bezüglich Funktionalität, Stabilität und Anwendbarkeit in die „offizielle“ M3-Welt, wird eine *evolutionäre Entwicklung* des M3-Systems realisiert.

## **2. Implementation in einer verteilten Rechnerarchitektur**

### **2.1 Server-, MUVE- und Clientbasis**

Die Serverkomponenten wurden in zwei verschiedenen Teilen implementiert um eine technische Trennung der virtuellen Umgebung und der externen Komponenten zu erreichen. Der Server startet zu Beginn in einer eingeschränkten „Sandbox“ den MUVE-Boostrapper (erste Klasse die geladen wird) und parallel dazu Dienste, die einerseits dem MUVE und andererseits externen Komponenten, wie Clients und Simulationskomponenten zur Verfügung stehen.

### ***Serverimplementation***

Der Server selbst besteht aus einer Klassenladeeinheit, einem RMI Server, einem minimalen HTTP-Server und einer Sicherheitskomponente, die die Funktion des MUVE überwacht. Die Klassenladeeinheit ist dafür da, zuständig Klassen zu laden, die in einem speziellen Verzeichnis für die virtuelle Umgebung geschrieben wurden. Dabei überwacht die Sicherheitseinheit den Zugriff auf diese Klassen und blockt Zugriffe auf Systemressourcen, wenn diese nicht explizit erlaubt wurden. Damit Dienste, wie „login“ und der Zugriff auf die virtuelle Umgebung möglich werden, startet der Server einen RMI Server über den das MUVE externe Zugriff erlauben kann. Dies wird vor allem von der Benutzeroberfläche sowie den Simulationskomponenten genutzt. Der minimale HTTP-Server bietet Klassen an, die z. B. für das „bootstrapping“ der Benutzeroberfläche notwendig sind.

Das Bootstrapping erlaubt es, einen minimalen Client auszuliefern, der dann immer den aktuellsten Stand der Implementation vom Server lädt. Ähnlich funktioniert dies bei Applets.

## ***MUVE Implementation***

Das MUVE wird durch den Bootstrapmechanismus initiiert. Dieser lädt grundlegende Komponenten, wie den Login-Dienst, der die Authentifizierung von Nutzern gegenüber dem MUVE übernimmt. Dieser Dienst generiert bei Bedarf neue Akteurobjekte und initialisiert diese oder lädt gespeicherte Akteure, um sie wieder in das aktive System einzubinden.

Die Implementierung der Basisfunktionalität für Objekte innerhalb der virtuellen Welt ist in der Entwicklung. Alle anderen, weniger abstrakten, Klassen hängen davon ab.

Die Kommunikation der Akteure wird im Moment von einem externen System (IRC) übernommen, welches aber durch das MUVE gesteuert wird. So ist der Zugriff nur durch Anmeldung beim MUVE möglich. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen darüber dann auch interne Informationen an Administratoren verteilt werden, die momentan in Dateien gespeichert sind.

## ***Clientbasis***

Der Entwicklungsklient besteht aus einer minimalen "bootstrap"-Implementation, die sich die aktuelle Benutzeroberfläche vom Server holt und diese startet. Dies gewährleistet vor allem in der Entwicklungsphase, dass unkompliziert aktuelle Versionen an Benutzer verteilt werden können.

Die Benutzeroberfläche bietet einen Desktop, welcher nach der Anmeldung am System die für den Akteur zur Verfügung stehenden Dienste lädt und in internen Fenstern auf dem Desktop darstellt. Implementiert sind hier im Moment das Kommunikationssystem. Die Einbindung der bereits implementierten grafischen Darstellung der virtuellen Welt wurde begonnen.

## **2.2 Multi-Purpose Graphical User Interface**

Die grafische Benutzeroberfläche soll verschiedenen Anforderungen genügen. Sie soll als Umgebung für Akteure dienen, die damit Ihren Lebensablauf planen und ausführen können. Dabei spielt vor allem die Interaktion mit der Umgebung sowie Kommunikation eine wichtige Rolle. Die Schnittstelle soll neben einer grafischen Darstellung der Welt und der darin agierenden Objekte auch unabhängige Kommunikation anbieten. Dies geschieht durch die Einbindung standardisierter Kommunikationstechnologien, wie IRC (Internet Relay Chat), welches verschiedene, themenbezogene Kanäle anbietet. Parallel sind lokale Gespräche, also Gespräche von Akteuren, die sich nahe beieinander befinden, durch eine "In-World" Darstellung möglich. Dabei werden die Texte direkt neben oder in der Nähe der Akteure innerhalb der Welt dargestellt.

Eine weitere Anforderung stellt die Darstellung für wissenschaftliche Zwecke dar. Hierfür werden Diagrammdarstellungen und Tabellen zur Verfügung stehen. Die Steuerung des MUVE und der Simulationskomponenten wird durch die einheitliche Benutzeroberfläche erleichtert, wobei einzelne Steuerelemente von den Simulationskomponenten direkt angeboten werden können. Die Entwicklung der Steuerung ist also eng mit der Bedienoberfläche verbunden.

Die grafische Darstellung der virtuellen Umgebung ist teilweise technisch fertiggestellt. Anpassungen hinsichtlich des Blickwinkels sowie der Größenverhältnisse müssen noch vorgenommen werden. Teile der Kommunikationskomponenten stehen zur Nutzung bereit und unterstützen schon in der frühen Entwicklungsphase die Zusammenarbeit. Die Schnittstellen für die Darstellung wissenschaftlicher Daten

sind teilweise vorhanden und bedürfen nun der Einbindung in die dem MUVE angekoppelten Simulationskomponenten.

### 2.3 Modellkopplung und Schnittstellen

Eine realitätsbezogene Modellierung einer virtuellen Welt im Rahmen des M3-Systems wird erst durch die Implementierung von wissenschaftlich fundierten Simulationsmodellen gewährleistet. Auf Grund der Komplexität des Systems ist es dabei nicht sinnvoll, alle zu betrachtenden Umweltbereiche durch ein einziges Simulationsprogramm zu modellieren, zumal ein solches Programm die Rechenkapazität eines einzelnen Computers sprengen würde. Sehr viel flexibler ist eine Untergliederung in einzelne Simulationsmodule, welche jeweils für sich einen bestimmten Bereich der Umwelt modellieren und über standardisierte Schnittstellen mit den anderen Modellen gekoppelt sind. Die Kopplung und Steuerung der Simulationsmodule wird im M3-System durch moderne Technologien auf der Basis verbreiteter Internet-Standards realisiert, die den Aufbau eines Modellservers als verteiltes Netzwerk von Simulationsmodellen unterstützen.

#### *Schnittstellen*

Die verschiedenen Modelle werden jeweils über Schnittstellen zum einen mit dem MUVE und zum anderen mit einem Datenbus verbunden. Die *Schnittstellen zum MUVE* dienen zur Steuerung der Simulationsprogramme und zur Abbildung der MUVE-Objekte auf die Modellparameter. Auf diese Weise erfolgt auch die Übertragung von Daten, welche für die Realisierung der Interaktion Mensch-Modell benötigt werden. Dazu gehört zum Beispiel die Bewirtschaftung von Feldern (MUVE -> Modell) oder die Übermittlung von Modellparametern, welche zur Visualisierung der Umwelt benötigt werden (Modell -> MUVE).

Der *Datenbus* koordiniert den direkten Datenaustausch zwischen den Modellen und ermöglicht außerdem den Zugriff auf eine Datenbank, in der Modellparameter zwischengespeichert und archiviert werden können. Zudem wird diese Datenbank dazu genutzt, externe Messdaten, welche für die Parametrisierung der Modelle notwendig sind, bereitzustellen.

#### *Datenaustauschprotokoll*

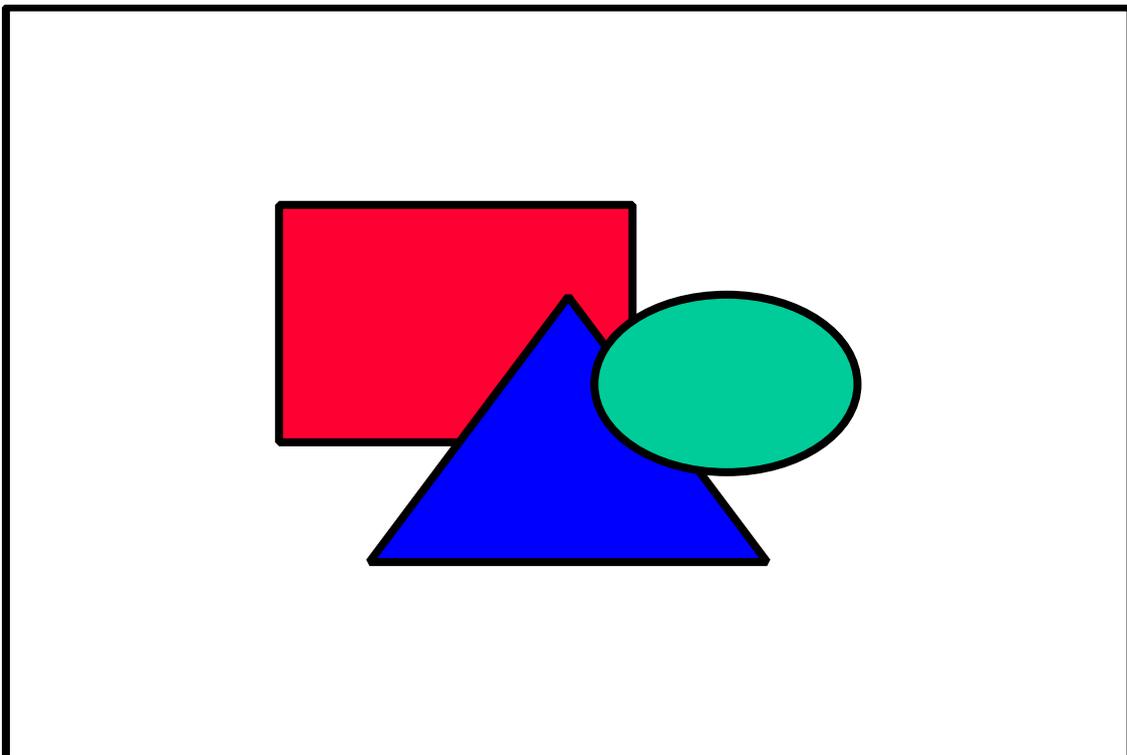
Um das M3-System möglichst offen gegenüber anderen Modellen und Anwendungen und zugleich robust zu halten, wird als *Datenaustauschprotokoll* das generische Datenformat XML (Extensible Markup Language) verwendet. XML bietet gegenüber anderen Protokollen zur Datenformatsbeschreibung einige Vorteile:

- **Trennung von Inhalt und Format:** Ein XML-Dokument enthält keinerlei Information über die Darstellung des Inhalts. Die Formatierungsinformation liegt getrennt vom XML-Dokument in einem sogenannten Stylesheet (XSLT) gekapselt. Diese Eigenschaft bietet die Möglichkeit des sogenannten Multichannel Publishing. Multichannel Publishing bezeichnet die Darstellung eines Dokumentes in unterschiedlichen Medien wie z. B.: Web-Browser, WapHandys, Archivierung in einer Datenbank etc.
- **Erweiterbarkeit:** Die Semantik einer XML-Sprache kann individuell für eine Anwendung entworfen werden. Es gibt keine vorgefertigten Tags wie in HTML.

- **Struktur:** Der mögliche Aufbau und die Struktur eines Dokuments werden extern in einer "Dokument Type Definition" (DTD) festgelegt. Dadurch können Parser die Gültigkeit des Dokuments verifizieren.
- **Textformat:** XML unterstützt alle gängigen Textkodierungen (ASCII, ISO8859-1, Unicode, UTF8, etc.). Dies gewährleistet eine Plattform-, Programmiersprachen- und Protokollunabhängigkeit. Des weiteren sind die Dokument dadurch menschenlesbar und selbstbeschreibend.
- **Web-Orientierung:** XML adaptiert etablierte Standards des Internets (z. B. HTML, CSS) und kann so deren Infrastruktur benutzen.
- **Offener Standard:** XML ist ein offener Standard des World Wide Web Consortiums (W3C) und somit herstellerunabhängig.
- **JAVA unterstützt:** Zur Zeit existieren bereits eine Vielzahl von Java basierten XML-Anwendungen, wie z. B.: XML-RPC (XML Remote Process Control), XML-Parser, XML-Editoren etc.. Die Grundkonzeption der Plattformunabhängigkeit von Java und XML stellt eine enge Verbindung dieser beiden Standards dar.

#### 2.4 Modellintegration und Modellsteuerung

Der modulare Aufbau des Modellservers vereinfacht die Integration von schon vorhandenen Simulationsmodellen, welche sich in dem jeweiligen Fachgebiet etabliert und bewährt haben, wodurch eine Kopplung der Wissensstände der verschiedenen Disziplinen realisiert wird. Auf Grund der standardisierten Schnittstellen kann der Modellservers durch Hinzufügen weiterer Modelle erweitert oder durch Auswechseln von einzelnen Simulationsmodulen angepasst werden, ohne dass dadurch Eingriffe in die anderen Simulationsprogramme des M3-Systems notwendig werden. Der Modellbildungsprozess kann somit evolutionär hin zu einem robusten, konsistenten und adäquaten System von Modellen führen.



## ***Wrapper-Technologie***

Für gewöhnlich bieten die Simulationsprogramme, wie sie zur Zeit in den verschiedenen Disziplinen für die Simulation umweltrelevanter Prozesse benutzt werden, kaum Möglichkeiten einer externen Steuerung. Diese ist aber für die Interaktion mit den Akteuren und für die Kopplung mit anderen Modellen unerlässlich. Um solche Programme trotzdem für das M3-System verwenden zu können, werden die ursprünglichen Simulationsprogramme - welche überwiegend aus Fortran77,- Fortran90- oder C-Programmcode bestehen - mittels in Java programmierten *Wrapper* gekapselt. Die Kommunikation zwischen dem jeweiligen Java-Wrapper und dem eigentlichen Simulationsprogramm erfolgt über die Standardein- und -ausgabe in XML oder in einem anderen, proprietären Protokoll. Durch die Kapselung der Simulationsprogramme kann von den Stärken der Java-Programmiersprache (Plattformunabhängigkeit, Nebenläufigkeit durch Threads, hohe Netzwerktauglichkeit etc.) profitiert werden, ohne größere Eingriffe in den ursprünglichen Code der Simulationsprogramme vornehmen zu müssen. Bei der Auswertung der XML-Streams kommen sowohl auf Seiten der Programme, als auch auf Seiten der Java-Wrapper, Standard-XML-Parser (z. B. Expat, Xerces oder XML4J) zum Einsatz.

Über die Wrapper erfolgt nicht nur die Steuerung der Programme, sondern auch der für die Modellkopplung notwendige Zugriff auf den Datenraum des jeweiligen Modells. Die Sicherheit bei der Eingriffnahme auf die Modellparameter ist durch festgelegte Schnittstellen gegeben, die klar definieren, auf welche Daten wie zugegriffen werden darf.

## ***Steuerung und zeitliche Synchronisation der Modelle***

Die Verwendung von Java als übergeordnete Programmiersprache ermöglicht die Benutzung der umfangreichen Java-Klassenbibliotheken zur Realisierung verteilter Systeme. Die Steuerung der Simulationsprogramme erfolgt im M3-System zum einen über die Java-Bibliothek **RMI** (Remote Method Invocation) und zum anderen über in **XML**-Syntax codierte Methodenaufrufe. Der Java-Wrapper des jeweiligen Modells stellt an einem festgelegten Port des entsprechenden Rechners einen RMI-Service zur Verfügung, der dann über das Internet angesprochen werden kann, um das Simulationsprogramm zu starten, zu steuern oder zu beenden. Nachdem eine Simulation über RMI gestartet wurde, nimmt sie Methodenaufrufe und Daten in XML entgegen (siehe Beispiel in der Tabelle unten).

Die zeitliche Synchronisation der unterschiedlichen Modelle erfolgt durch die Bereitstellung einer zentralen Modellzeit, der sogenannten **M3-Zeit**, welche die aktuelle Zeit der virtuellen Welt angibt. Die M3-Zeit wird verglichen mit der realen Zeit im Zeitraffer ablaufen, bei einer Skalierung von zum Beispiel 144:1 (*M3-Zeitfaktor* = 144) würden 10 Minuten Realzeit auf 24 Stunden M3-Zeit abgebildet. Diese Zeitraffung reicht jedoch noch nicht aus, um in einem überschaubaren Zeitrahmen die Dauer eines Menschenlebens zu simulieren. Deswegen werden sogenannte *M3-Sprungtage* eingeführt, das bedeutet, dass aus der Sicht der Akteure nach Sa., 1.1.2000 zum Beispiel direkt So., 9.1.2000 folgt - die sieben Tage dazwischen werden übersprungen. Aus Sicht der Simulationsmodelle läuft die Zeit jedoch weiterhin kontinuierlich ab, die bekannten Verhaltensmuster der Akteure aus vergangenen Tagen werden dazu genutzt, um auch für die übersprungenen Tage das Verhalten der Gesellschaft vorgeben zu können. Mit Hilfe diese Zeitmodells (*M3-Zeitfaktor* = 144, *M3-Sprungtage* = 7) werden 30 Tage Realzeit auf etwa 100 Jahre M3-Zeit abgebildet, ohne dass die Charakteristika des Tagesganges übergangen werden müssen.

Die zeitliche Synchronisation der unterschiedlichen Modelle wird durch das Einfügen einer blockierenden Abfrage in die Zeitschleife des Simulationsprogramms, in deren Zeittakt die Kopplung mit anderen Modellen stattfindet, ermöglicht. Die Kontrollinstanzen der einzelnen Simulationsmodelle fragen die

aktuelle M3-Zeit regelmäßig ab, um dann selbständig zu entscheiden, ob die Simulation für den nächsten Zeitschritt fortgesetzt werden muss. Der Server kann wiederum über RMI beim Wrapper nachfragen, ob die Simulation "up to date" ist. Dieses Vorgehen ermöglicht eine sehr schlanke und robuste Steuerung der Simulationsmodelle.

Beispiel eines XML-Input-Streams für die Steuerung und den Datenaustausch mit dem Landwirtschaftsmodul "SWIM"	Der resultierende XML-Output-Stream von "SWIM" als Antwort auf den links abgebildeten Input-Stream
<pre> &lt;?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?&gt; &lt;!DOCTYPE swim SYSTEM "file://modelle/br/swim.dtd"&gt; &lt;!-- data input to swim --&gt; &lt;swim&gt;   &lt;!-- simulate next day --&gt;   &lt;methodCall nr="1"&gt;     &lt;step/&gt;   &lt;/methodCall&gt;   &lt;!-- input of weather data to swim --&gt;   &lt;swimdata step="1"&gt;     &lt;subb isub="15"&gt;       &lt;weather&gt;         &lt;precip&gt;11.3000002&lt;/precip&gt;         &lt;snofall&gt;0.0000000&lt;/snofall&gt;         &lt;snocvr&gt;0.0000000&lt;/snocvr&gt;         &lt;tmn&gt;0.8000000&lt;/tmn&gt;         &lt;tmpav&gt;2.0999999&lt;/tmpav&gt;         &lt;tmx&gt;2.7000000&lt;/tmx&gt;       &lt;/weather&gt;     &lt;/subb&gt;   &lt;/swimdata&gt;   &lt;!-- get data from subbasin 15, hydrotop 3 --&gt;   &lt;methodCall nr="2"&gt;     &lt;getHydr isub="15" ihyd="3"/&gt;   &lt;/methodCall&gt; &lt;/swim&gt; </pre>	<pre> &lt;?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?&gt; &lt;!DOCTYPE swim SYSTEM "file://modelle/br/swim.dtd"&gt; &lt;!-- data output from swim --&gt; &lt;swim&gt;   &lt;methodResponse nr="1"&gt;     &lt;methodName&gt;step&lt;/methodName&gt;     &lt;swimdata step="1"&gt;       &lt;simdate&gt;         &lt;day&gt;1&lt;/day&gt;         &lt;year&gt;1981&lt;/year&gt;       &lt;/simdate&gt;     &lt;/swimdata&gt;   &lt;/methodResponse&gt;   &lt;receiveData nr="1" step="1"&gt;     &lt;!-- isub=15 --&gt;     &lt;!-- input of weather data --&gt;   &lt;/receiveData&gt;   &lt;methodResponse nr="2"&gt;     &lt;methodName&gt;getHydr&lt;/methodName&gt;     &lt;swimdata step="1"&gt;       &lt;subb isub="15"&gt;         &lt;hydr ihyd="3"&gt;           &lt;field&gt;             &lt;ncrp&gt;14&lt;/ncrp&gt;             &lt;cpnm&gt; WWHT&lt;/cpnm&gt;             &lt;igro&gt;1&lt;/igro&gt;             &lt;bio_ms&gt;3400.0350&lt;/bio_ms&gt;             &lt;alai&gt;1.4350000&lt;/alai&gt;           &lt;/field&gt;         &lt;/hydr&gt;       &lt;/subb&gt;     &lt;/swimdata&gt;   &lt;/methodResponse&gt; &lt;/swim&gt; </pre>

### ***Kopplung von Modellen mit unterschiedlichen zeitlichen und räumliche Skalen***

Für die Kopplung von Modellen mit unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen sind im M3-System zwei verschiedene Ansätze denkbar. Wo möglich und physikalisch vertretbar werden die Daten durch Konvertierung in den betreffenden Wrappern auf ein einheitliches zeitliches und räumliches Raster gebracht, welches im Wesentlichen durch die im MUVE definierten Objekte vorgegeben wird. Die Kopplung der Modelle erfolgt dann als enge Kopplung, da die Konvertierung versteckt in den Wrappern verläuft. Wie diese Konvertierung konkret durchzuführen ist, kann nicht universell vorgegeben, sondern muss je nach Modell anhand der physikalischen Begebenheiten entschieden werden. Ein zweite Möglichkeit ist die, dass die Modellparameter zunächst in einer Datenbanken in der ursprünglichen Auflösungen abgespeichert und erst bei Bedarf durch ein externes Programm in die benötigte Auflösung konvertiert werden. Dies entspricht dem Begriff einer losen Modellkopplung.

## **3. Einbindung von Modellen**

Das M3-Framework ermöglicht die Implementierung einer Vielzahl von verschiedenen, untereinander gekoppelten Modellen, welche jeweils einen bestimmten Bereich der Umwelt simulieren. Das M3-System soll dabei zunächst folgende Bereiche abdecken: Das Wachstum von Pflanzen (Landwirtschaftsmodell, Forstmodell), das Grund- und Oberflächenwasser (hydrologisches Modell), den Boden und dessen Einfluss auf das Pflanzenwachstum (Bodenmodell), das Wetter und die Ausbreitung von Schadstoffen (Wetter- und Luftbelastungsmodell), den Verkehr (Verkehrsmodell) und den Impakt der Umwelt auf den Menschen (Impaktmodelle). Die Ökonomie wird endogen durch die Implementierung eines Wirtschaftssystems in das M3-System abgebildet.

### **3.1 Landwirtschaftsmodell**

Die Einbeziehung einer Landwirtschaftssimulation in das M3-System ist aus verschiedenen Gründen wichtig: Zum einen soll sich das System evolutionär entwickeln und somit auch die verschiedenen Schritte der Industrialisierung im Laufe der Zeit vollziehen können. Die Landwirtschaft ist somit zumindest zu Beginn der Simulation vor allem für das Wirtschaftssystem von zentraler Bedeutung. Zum anderen soll die M3-Simulation den Einfluss der Handlungsweisen der Gesellschaft (zum Beispiel Art der Bewirtschaftung, Dünger- und Pestizideinsatz) auf die Nahrungsmittelproduktion und die Ökologie wiedergegeben werden können.

Bei der Auswahl der Modelle standen folgende Kriterien im Vordergrund: Das Modell muss wissenschaftlich validiert sein; es muss an die lokalen Gegebenheiten des Simulationsgebietes angepasst (parametrisiert) werden können; es muss Möglichkeiten zur Kopplung mit anderen Bereichen (Mensch, Wetter, Wasser, etc.) bieten und es muss zudem die zur Visualisierung und für das Wirtschaftssystem relevanten Parameter liefern.

Eines der Simulationsprogramme für den Bereich der Landwirtschaft, das diese Kriterien erfüllt, ist das "Soil and Water Assessment Tool" (SWAT), entwickelt vom Grassland, Soil & Water Research Laboratory, USDA-ARS, Texas, USA [Arnold et al., 1993]. Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) hat auf diesem Programm aufbauend das Simulationsprogramm "Soil and Water Integrated Model" (SWIM) entwickelt [Krysanova et al., 1998] und erfolgreich auf verschiedene Gebiete in Europa angewandt (z.B. im Rahmen des Projekts RAGTIME). Der Anwendungsbereich der Programme liegt bei mesoskaligen Wassereinzugsgebieten von 100 bis zu 20.000 km<sup>2</sup>. Beide Modelle

ermöglichen neben der Simulation des Pflanzenwachstums und der Berechnung von landwirtschaftlichen Erträgen zusätzlich die Simulation der Hydrologie und des Bodens in Abhängigkeit der Bewirtschaftung, der Bodenbeschaffenheit, des Wetters, des Grundwasserstandes sowie der Topographie.

### ***Räumliche und zeitliche Diskretisierung***

Für das gesamte Simulationsgebiet erfolgt zunächst eine Gebietsuntergliederung (Disaggregation) nach Teileinzugsgebieten. Diese werden wiederum in einzelne, jeweils horizontal homogene *Hydrotope* mit gleicher Landnutzung und gleichen Bodeneigenschaften aufgeteilt, welche über den Wasserkreislauf miteinander gekoppelt sind. Für jedes einzelne Hydrotop kann getrennt der Bodentyp, die Wetterdaten und die Landnutzung vorgegeben werden. Die kleinste zeitliche Auflösung der Modelle ist ein Tag, ein Simulationslauf kann jedoch kontinuierlich für eine simulierte Zeitspanne von mehreren Jahrzehnten durchgeführt werden.

### ***Pflanzenwachstum***

Für die Simulation des Pflanzenwachstums wird eine spezielle landwirtschaftliche Datenbasis [Williams et al., 1985] benutzt, mit deren Hilfe verschiedene Nutzpflanzenarten (Weizen, Gerste, Mais, Kartoffeln, Raps etc.) sowie auch natürliche Vegetationsbestände (Nadelwald, Grasland) modelliert werden können. Das Pflanzenwachstum wird anhand eines phenologischen Konzepts, basierend auf der täglich akkumulierten Wärme, dem Reifegrad, dem Ansatz von Monteith [1977] für die potentielle Biomasse und den entsprechenden Anpassungen bei Wasser-, Nährstoff- und Temperaturstress berechnet. Damit können sowohl einjährige, als auch mehrjährige Pflanzen, die im Winter eine Ruhephase einlegen, simuliert werden. Das Pflanzenwachstumsmodell wird dazu genutzt, den Verbrauch von Wasser und Nährstoffen in der Wurzelzone, die Transpiration und die Produktion von Bio- und Erntemasse zu berechnen. Der tägliche Nährstoffbedarf wird aus dem Biomassewachstum und der optimalen Nährstoffkonzentration in der Pflanze abgeschätzt. Das Bodenangebot wird durch den aktuellen Nährstoffgehalt in der Wurzelzone bestimmt.

### ***Landnutzung***

Zur Simulation des Pflanzenwachstums muss die Landnutzung eines jeden Hydrotops in Form von Bewirtschaftungsdaten (Pflanzenart, Pflanz- und Erntedatum, Menge und Art des Düngemittels etc.) bekannt sein. Bei den zur Zeit erhältlichen Programmversionen von SWAT und SWIM müssen diese Daten schon zu Beginn eines kompletten Simulationslaufes vorgegeben werden und können während der Simulation nicht mehr verändert werden. Um eine Kopplung des Landwirtschaftsmodells an die interaktiv agierenden Akteure des M3-Systems zu ermöglichen, ist eine Schnittstelle notwendig, die eine Modifikation der Bewirtschaftungsdaten innerhalb des Landwirtschaftsmodells von außen während der Simulation ermöglicht.

### ***Implementierung in das M3-System***

Für erste Tests wurde das Programm SWAT bereits erfolgreich in die M3-Simulation integriert. In zukünftigen Versionen des M3-Systems wird es aber durch das Simulationsprogramm SWIM ersetzt, um so bei der notwendigen Parametrisierung des Landwirtschaftsmodells für die Region Berlin/Brandenburg auf die vorhandene Datenbasis des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung zugreifen zu können. Eine enge Zusammenarbeit mit dem PIK bezüglich der Anpassung von SWIM auf die Bedürfnisse des M3-Systems besteht bereits.

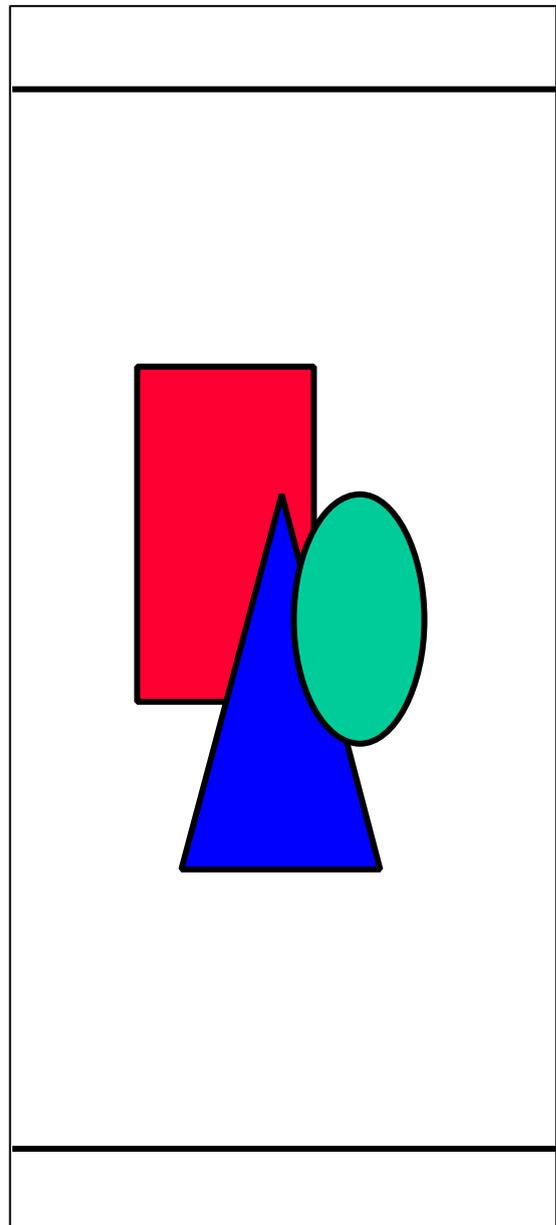
In der ursprünglichen Version ermöglichen weder SWAT noch SWIM eine externe Steuerung der Simulation, das heißt, die Programme können während der Laufzeit nicht von außen beeinflusst werden. Daher war es notwendig, die Programme für die Einbindung in das M3-System aufzubrechen und mit Schnittstellen zu versehen, welche den Zugriff auf die Funktionalität und die Zustandsdaten der Simulationsprogramme ermöglichen. Die Steuerung der Simulation erfolgt über die im Abschnitt *Modellintegration und Modellsteuerung* beschriebenen Mechanismen.

Zur intuitiven Visualisierung werden zur Zeit für jedes Hydrotop die Pflanzenart, die Biomasse und der "Leaf Area Index" (Maß für die Fläche, die von Blättern überdeckt wird) dem M3-System bereitgestellt.

### 3.2 Hydrologisches Modell

Die im vorhergehenden Abschnitt (*Landwirtschaftsmodell*) beschriebenen Programme "SWAT" und "SWIM" ermöglichen implizit die Simulation wichtiger hydrologischer Prozesse:

- **Niederschlag:** Die Bereitstellung der täglichen Wetterdaten kann anhand realer Daten oder mittels eines in das Modell integrierten Wettergenerators (Markow Ketten-Modell 1. Ordnung) erfolgen. Angestrebt ist jedoch die Kopplung des hydrologischen Modells an ein externes Wettermodell, welches die benötigten meteorologischen Daten (tägliche Niederschläge, Lufttemperaturminimum, -maximum, -mittel, Nettostrahlung) berechnet und über den M3-Modellbus zur Verfügung stellt.
- **Schneeschnmelze:** Die Simulation der Schneeschnmelze erfolgt nach dem einfachen Tagesgrad-Verfahren [Knisel, 1980].
- **Evapotranspiration:** Die potentielle Verdunstung kann nach der Priestley-Taylor-Methode (Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur) oder nach Penman-Monleith bestimmt werden. Die Abschätzung der aktuellen Verdunstung erfolgt nach dem Konzept von Ritchie [1972].
- **Oberflächenabfluss:** Modifikation der "Soil Conservation Service Curve Number"-Methode [USDA-SCS, 1972].
- **Versickerung zum Grundwasser:** Bodenwasserspeicher-Routing-Prozedur aus SWRRB [Arnold et al., 1990].
- **Interflow,**
- **Grundwasserzufluss zum Fluss und**
- **Abflussrouting im Flusssystem:** Modifiziertes ROTO-Modell [Arnold, 1990].



Die Ermittlung des *Oberflächenabflusses* erfolgt unter Verwendung einer modifizierten Form der "Curve number"-Methode und ergibt sich als nichtlineare Funktion des Niederschlags und des Retentionskoeffizienten. Dieser ist seinerseits eine Funktion des Bodenwassergehalts, der Landnutzung und der Bodentypen.

Der *laterale unterirdische Abfluss (Interflow)* wird parallel zur Versickerung in jedem Zeitschritt berechnet und entsteht bei perkulationsbedingter Überschreitung der Speicherkapazität einer Bodenschicht über die Feldkapazität hinaus.

Das simulierte hydrologische System besteht aus vier Kontrollvolumen: der Bodenoberfläche, der Wurzelzone, dem oberflächennahen Aquifer und dem tiefen Aquifer. Die Versickerung aus dem Bodenprofil dient der Auffüllung des oberflächennahen Aquifers, welcher zur Speisung der Gewässer beiträgt. Das Wasser, das in den tiefen Aquifer versickert, kann an geeigneter Stelle dem Oberflächengewässersystem zugeführt werden.

### 3.3 Forstmodell

Ähnlich wie im Landwirtschaftsmodell gibt es vielfältige Gründe ein Forstmodell in die M3-Simulation zu implementieren. Das Forstmodell kann zum einen als ein weiterer Wirtschaftsfaktor neben der Landwirtschaft fungieren. Des weiteren stellt der Wald eine wichtige Erholungsfunktion für den Menschen dar und beeinflusst somit im starken Maße Lebensqualität und Gesundheit. Auch der indirekte Einfluss des Waldes auf den Menschen durch die Fähigkeit Wasser zu speichern und Schadstoffe zu filtern sind wichtige Faktoren, die bei einer Umweltsimulation nicht zu vernachlässigen sind.

Als Forstmodell soll das vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) entwickelte Programm 4C [Bugmann et al., 1997] herangezogen werden. Bei 4C handelt sich ursprünglich um ein Forstmodell, welches die Sukzessionsdynamik für kleinflächige Waldbestände von ca. 200 m<sup>2</sup> simuliert.

Im Laufe des Projektes ist jedoch eine Ausweitung von 4C zu einem großflächigen Forstmodell geplant.

Teilweise umgesetzt wurden bereits die Kopplung des Landwirtschaftsmodells SWIM und 4C über den Wasserhaushalt und die klimatischen Rahmenbedingungen. Diese Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit den Modellentwicklern von SWIM und 4C durchgeführt.

Das Forstmodell wird im Wesentlichen durch Wetterdaten (Niederschlag, Luftdruck, Luftfeuchte, Tagesdurchschnittstemperatur und Strahlung) angetrieben. Die Baumindividuen einer jeden Art sind in Kohorten gleichen Alters und gleicher Baumdimension zusammengefasst. Es werden während der Simulation Wasser- und Wärme Flüsse, Phänologie, Bodenkohlenstoff- und Stickstoffdynamik sowie die photosynthetische Produktion berechnet. 4C besitzt zur Zeit noch ein eigenes Bodenmodell, das hauptsächlich aus den drei Untermodellen Wasser-, Temperatur- und Kohlenstoff/Stickstoffmodell besteht.

Da eine externe Steuerung des Modells ursprünglich nicht vorgesehen war aber dies eine Grundvoraussetzung für die Implementierung in das M3-System ist, wurde in die 4C Tagesroutine ein Kommunikationsmodul eingefügt, welches den externen Datenaustausch mit anderen Anwendungen ermöglicht. Es können nun während der Laufzeit von 4C einzelne Parameter und Zustandsgrößen abgefragt und geändert werden. Es besteht somit die Möglichkeit interaktiv in den Simulationsablauf einzugreifen und Funktionalitäten wie etwa die Bewirtschaftung eines Forstes durch Einschlag, Anpflanzung oder Düngung zur Verfügung zu stellen. Um das Modell möglichst offen für andere Anwendung zu halten, soll der externe Datenaustausch generisch in dem Datenformat XML erfolgen.

### 3.4 Bodenmodell

Zur Zeit kommen für die beiden Bereiche Landwirtschaft (SWAT/SWIM) und Forst (4C) jeweils unterschiedliche Bodenmodelle zum Einsatz, die aber in Zukunft durch ein einheitliches Bodenmodell für das gesamte Simulationsgebiet ersetzt werden sollen.

Im Bereich der *Landwirtschaft* erfolgt eine vertikale Bodenaufteilung in maximal 10 Schichten, denen jeweils die Parameter Tiefe, Körnung, Lagerungsdichte, Porosität, nutzbare Feldkapazität, Gehalt an organischem Kohlenstoff und Stickstoff, Erodibilität und gesättigte Wasserleitfähigkeit zugeordnet werden. Bei der Bodensimulation werden neben dem Wassertransport als wichtigste Prozesse die Erosion sowie der Nährstofftransport (Stickstoff und Phosphor) berücksichtigt:

- **Erosion:** Der Sedimenttransport wird für jedes Teileinzugsgebiet mit der MUSLE-Gleichung berechnet. Der Phosphateintrag aus dem Boden in die Gewässer wird über Sedimenttransport, Adsorption und Desorption abgeschätzt.
- **Mineralisation:** Der Stickstoff des Bodenumus wird in einen aktiven und einen stabilen Pool eingeteilt. Die Mineralisation erfolgt nur im aktiven Pool und wird als Funktion von organischem Stickstoff, Bodentemperatur und Wassergehalt simuliert. Ein Teil des Stickstoffs aus dem stabilen Teil kann langsam in den aktiven Teil wandern.
- **Denitrifikation:** Die Denitrifikationsrate wird als Exponentialfunktion aus Bodentemperatur, organischer Substanz, Bodenfeuchteffizient und Gehalt an mineralischem Stickstoff abgeschätzt.
- **Nitrifikation:** Die Umwandlung von Ammonium- zu Nitratstickstoff wird mit der empirischen Formel nach Bieleck berechnet.

Im Bereich der *Forstwirtschaft* erfolgt - abhängig von der Bodenbeschaffenheit - eine Einteilung in eine variable Anzahl verschiedener Bodenschichten. Das Bodenmodell besteht aus drei Untermodellen die den Wasser-, Temperatur- und Kohlenstoff/Nitrathaushalt simulieren.

Im Bodenwassermodell werden Verdunstung, Versickerung, Schneebedeckung und der Wassergehalt des Bodens berechnet. Nach der Versickerung, die abhängig von der Bodenstruktur ist, wird die Bodenverdunstung und die Wasseraufnahme über die Wurzeln bestimmt.

Das Kohlenstoff/Nitrathaushaltsmodell wird vor allem durch die Mineralisierung des Laubes angetrieben. Die Mineralisierung des Laubes wird beeinflusst von der Bodentemperatur, dem Wassergehalt und dem PH-Wert des Bodens.

Die Temperaturdynamik wird durch eine eindimensionale Wärmeleitungsgleichung beschrieben, die abhängig von den initialen Randbedingungen ist. Dabei wird die obere Randbedingung (Bodentemperatur) durch die Lufttemperatur der letzten drei Tage bestimmt.

### 3.5 Wetter- und Luftbelastungsmodell

Zur Zeit werden die meteorologischen Daten durch ein im Landwirtschaftsmodell implementierten einfachen Wettergenerator bestimmt und dem M3-System zur Verfügung gestellt. Um aber auch die Ausbreitung von Schadstoffen in der Luft simulieren zu können, soll dieser durch ein eigenständiges Wetter- und Luftbelastungsmodell ersetzt werden. Als Wettergenerator benutzen wir das WGEN-Modell von Richardson und Wright [Richardson und Wright, 1984]. Das Modell beruht auf einem Markov-Kettenmodell 1. Ordnung, d. h. das tägliche Wetter wird durch einen stochastischen Prozess ermittelt [Richardson, 1981]. Basierend auf den Klimadaten von Wetterstationen auf der ganzen Welt wurden statistische Daten für Niederschläge, maximale und minimale Lufttemperatur, Luftdruck, Sonneneinstrahlung (Nettostrahlung) und Tageslänge extrahiert, welche vom Zufallsgenerator zur Erzeugung der täglich

chen Wetterdaten benutzt werden [Friend, 1998]. Entsprechende Daten für die Windfelder müssen noch ermittelt werden, um auch diese auf die gleiche Art und Weise zu simulieren.

Zusammen mit diesen Eingangsdaten können wir alle relevanten Daten zur Steuerung von SWIM, dem hydrologischen Modell, dem Forstmodell und dem Luftschadstoffmodell erzeugen. Neben der Systemzeit fungiert der Wettergenerator als weiteres Steuerungs-Tool für alle anderen Simulationsmodelle. Eng gekoppelt an das Wettermodell ist die Ausbreitung von Luftschadstoffen in Form von Gasen oder Partikeln. Ein großer Teil von gesundheitsschädlichen Substanzen wird dadurch transportiert. Unsere Arbeitsgruppe besitzt einige Erfahrungen mit Luftschadstoffen und deren Simulation im Rahmen des DYMOs-Modells [Sydow et al., 1997, 1998].

Das Modell basiert auf REWIMET, welches ein hydrostatisches, mesoskaliges Euler-Modell ist. Durch die Ankopplung eines Lagrange-Modells können damit auch Partikel bis  $10\mu\text{m}$  (PM10-Modell) simuliert werden. Als Eingangsdaten werden neben der Wetterinformation auch Emissionen der Fahrzeuge sowie Haushalte und Industrie berücksichtigt. Die Luftchemie ist in ca. 90 Reaktionsgleichungen abgebildet während die Ausbreitung sowohl die Diffusion als auch den windgetriebenen Transport umfasst.

### 3.6 Verkehrsmodell

In Ballungsgebieten ist der Kraftfahrzeugverkehr mittlerweile der größte Verursacher der Luftverschmutzung. Die mengenmäßig bedeutendsten vom Verkehr emittierten Schadstoffe sind Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide und Kohlendioxid. Einigen in Bezug auf die Menge unbedeutenden Schadstoffkomponenten, wie Dieselruß, Reifenabrieb und Benzol, kommt aufgrund ihrer Wirkungsrelevanz eine hohe Bedeutung zu. Ebenso stellt der vom Individualverkehr ausgehende Lärm eine problematische Belastung dar. Im Rahmen der Modellierung zur Entwicklung und Analyse von Nachhaltigkeitsstrategien ist daher die Simulation des Kraftfahrzeugverkehrs und seiner Emissionen von zentraler Bedeutung.

In der ersten Pilotanwendung wurde ein mesoskopisches Verkehrsflussmodell [in Anlehnung an DYNEMO, Schwerdtfeger, 1984] implementiert, das mikro- und makroskopische Eigenschaften vereint. Wie in mikroskopischen Ansätzen betrachtet das Simulationsmodell das einzelne Fahrzeug als kleinste Einheit des Verkehrsflusses. Dessen Bewegung wird jedoch, wie in makroskopischen Modellen, in Abhängigkeit von der mittleren Verkehrsdichte des betrachteten Abschnitts bestimmt. Zunächst wurde ein für Stadtstraßen relevantes Fundamentaldiagramm (Abbildung der mittleren Geschwindigkeit über einer mittleren Fahrzeugdichte) um eine Wunschgeschwindigkeitsverteilung erweitert, d. h. ein Fahrzeug kann auf einer "leeren" Straße seine Wunschgeschwindigkeit fahren, während es bei "voller" Straße an die vorgegebene Geschwindigkeit gebunden ist. Getrieben wird das Verkehrsflussmodell über eine Quelle-Ziel-Matrix (OD) und deren Umlegung auf das zugrundeliegende Verkehrsnetz.

Durch die Betrachtung einzelner Fahrzeuge und ihrer Fahrmodi, können verkehrsbedingte Emissionen über fahrzeugabhängige Emissionsfaktoren [herausgegeben vom UBA] berechnet werden und an die weiterverarbeitenden Modelle zur Schadstoffausbreitung, Impaktmodelle usw. geleitet werden.

Diese Vorgehensweise ermöglicht auch eine einfache Einbindung von Akteuren in das System. Nach Auswahl eines Fahrzeugtyps, der Wunschgeschwindigkeit und der gewünschten Route wird ein Objekt Fahrzeug mit diesen Eigenschaften erzeugt und in die laufende Simulation eingesetzt. Durch Verknüpfung dieser Routeninformation mit einer regionalen OD-Matrix kann der "reale" Verkehr einer Region nachgebildet werden. Die bildliche Darstellung des Verkehrs erfordert durch eine hohe Aktualisierungsrate eine enge Anbindung an das Visualisierungstool.

### 3.7 Wirtschaftsmodell

Das ökonomische System bildet eine Dimension der integrativen Nachhaltigkeitsbetrachtung. Herkömmliche volkswirtschaftliche Modelle beschreiben die wirtschaftlichen Akteure in ihrer Gesamtheit durch Nutzenfunktionen und setzen einen Gleichgewichtszustand des Marktes voraus. Durch den M3-Ansatz der Einbeziehung realer handelnder Akteure kann die Beschränkung auf diese meist unrealistischen Annahmen vermieden werden. Zumindest in der Anlaufphase der M3-Welt kann nur von einer geringen Anzahl (in der Größenordnung einiger tausend) von Akteuren ausgegangen werden. Wie die Diskussion mit Prof. Klepper zeigte, existieren z. Z. keine anwendbaren Modelle für solch kleine regionale Wirtschaftssysteme, welche die realistische Situation des Nichtgleichgewichtes des Marktes adäquat widerspiegeln. Daher soll im M3-Framework das regionale Wirtschaftssystem als dynamische Online-Simulation basierend auf den aktiven marktrelevanten Handlungen aller Akteure des Systems abgebildet werden. Die notwendigen Randbedingungen und Vorgaben werden durch das gesamtwirtschaftliche umweltökonomische Simulationsmodell geliefert, wodurch die Einbettung der akteurbasierten regionalen Wirtschaftssimulation in die gesamte Volkswirtschaft möglich wird.

Zur ersten Betrachtung der möglichen Konzeption der akteurbasierten regionalen Wirtschaftssimulation wurden zwei Studienarbeiten in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Wirtschaftsingenieurwesen der TU-Berlin vergeben [Weidner, 2000; Kortschack, 2000]. Sie zeigen, dass sich interessante Ansätze der regionalen Wirtschaftssimulation durch die Online-Simulation eröffnen, dass jedoch bedingt durch die extreme Komplexität heutiger Wirtschaftssysteme Vereinfachungen notwendig sind. Es muß daher festgestellt werden, dass besonders in dieser Richtung ein erhöhter Forschungsbedarf besteht.

### 3.8 Impaktmodelle

Die Modellierung wichtiger Rückkopplungsgrößen der wirtschaftlichen und sozialen Aktionen der Akteure auf ihre Lebenssituation und insbesondere auf ihre Gesundheit wurde in einem Unterauftrag an das IBB Ingenieurbüro Beger für Umweltanalyse und Forschung vergeben [Beger et al., 2000]. Die Berechnungsgrundlage für das zu erstellende Impaktmodul bildet die quantitative expositionsabhängige Modellierung und Bewertung der Gefährdung des Menschen, die dem derzeitigen Entwicklungsstand bei der Gefährdungsabschätzung toxischer Stoffe entspricht. Dabei wird die bestehende oder potentiell zu erwartende Exposition der Menschen ausgehend von der Schadstoffkonzentration in den Umweltmedien standortspezifisch simuliert und an Hand von humantoxikologisch begründeter tolerabler Expositionswerte bewertet. Während des Berichtszeitraumes konnten die wesentlichen konzeptionellen Grundlagen der Entwicklung des Moduls geklärt und die Voraussetzungen für die Implementierung geschaffen werden.

### Literatur:

- J.G. Arnold.* ROTO - a continuous water and sediment routing model. ASCE Proc. of the Watershed Management Symposium. Durango, Co, 480-488, 1990.
- J.G. Arnold, P.M. Allen und G. Bernhardt.* A comprehensive surface-groundwater flow model. Journal of Hydrology, 142: 47-69, 1993.
- J.G. Arnold, J.R. Williams, A.D. Nicks und N.B. Sammons.* SWRRB - A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resources Management. Texas A&M University Press, College Station, 255pp, 1990.
- Bieleck.* Balance of Nitrogen and its transformation in soil, Pushino, USSR Acad. Sci., 162p (in russisch).

- A.D. Friend.* Parametrisation of a global daily weather generator for terrestrial ecosystem modelling. *Ecological Modelling* 109, pp. 121-140, 1998.
- H. Bugmann, R. Grote, P. Lasch, M. Lindner und F. Suckow.* A new forest gap model to study the effects of environmental change on forest structure and functioning. In: Mohren, G.M.J. & Kramer, K. (eds.), *Global Change Impacts on Tree Physiology and Forest Ecosystems*. Forestry Sciences Vol. 52, Kluwer Academic Publishers, 255-261, 1997.
- W.G. Knisel* (ed.). *CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems*. USDA Conservation Research Report, 26, 643pp., 1980.
- V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil und A. Becker.* Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds. *Ecological Modelling*, 106, 261-289, 1998.
- J.L. Monteith.* Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. Res. Soc. London, Ser. B.* 281: 277-329, 1977.
- C.W. Richardson und D.A. Wright.* *WGEN: A model for generating daily weather variables*. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1984.
- C. Richardson.* Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation. *Water Resources Res.*, pp. 182-190, 1981.
- J.T. Ritchie.* A model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Res.* 8: 1204-1213, 1972.
- Th. Schwerdtfeger.* *DYNEMO: A Model for the Simulation of Traffic Flow in Motorway Networks*. Ninth International Symposium on Transportation and Traffic Theory, VNU Science Press, pp. 65-87, 1984.
- A. Sydow, Th. Lux, P. Mieth, M. Schmidt und S. Unger.* The DYMOS Model System for the Analysis and Simulation of Regional Air Pollution, in: R. Grützner (ed.), *Modellierung und Simulation im Umweltbereich*, Vieweg-Verlag, Wiesbaden, 1997, pp. 209-219, 1997.
- A. Sydow, Th. Lux, H. Rosé, W. Rufeger und B. Walter.* Conceptual Design of the Branch-Oriented Simulation System DYMOS (Dynamic Models for Smog Analysis), *Transactions of the Society for Computer Simulation International*, Vol. 15, No. 3 (1998), pp. 95-100, 1998
- UBA.* *Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA)*. Umweltbundesamt, 1995.
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.* *National Engineering Handbook, Hydrology Section 4*, Chapters 4-10, 1972.
- J.R. Williams und K.G. Renard.* Assessment of Soil Erosion and Crop Productivity with Process Models (EPIC). In R.F. Follet and B.A. Stewart, ed. *Soil Erosion and Crop Productivity*, 1985.

## **Publikationen**

- L. M. Jugel.* Enhancing MUVES: Connecting Virtual Objects with Environmental Simulation. *Proceedings of the International Conference on Virtual Worlds and Simulation*, Phoenix, Arizona, 8-11 January 2001.
- H. Rosé.* M3-Simulation - Multidimensional Modeling of Sustainability Strategies in Virtual Worlds. *Proceedings of the International Conference on Virtual Worlds and Simulation*, Phoenix, Arizona, 8-11 January 2001.

## **Studienarbeiten**

- E. Beger, D. Bieninda und S. Gester.* Konzeption des Moduls Impaktmodelle im M3-System des Projektes GLOBALSIM. IBB Ingenieurbüro Beger für Umweltanalyse und Forschung, Rossendorf, Dez. 2000.
- J. Heide.* Untersuchung der Schadstoffemissionen verschiedener Industriezweige. Studienarbeit Systemanalyse. TU-Berlin, GMD FIRST, Berlin, Jan. 2001.
- A. Kortschack.* Überlegungen zum Modul "Markt und Handel" in einer dynamischen Online-Simulation - Problematik der Nutzenbewertung - Alternativen zur Stabilisierung. Studienarbeit Wirtschaftsingenieurwesen, TU-Berlin, GMD FIRST, Berlin, Okt. 2000.

*W. Weidner.* Dynamische Modellierung der Online-Simulation eines nachhaltig ausgerichteten Wirtschaftssystems mit umfassender Integration realer Individuen. Studienarbeit Wirtschaftsingenieurwesen, TU-Berlin, GMD FIRST, Berlin, Sep. 2000.

*W.-H. Wang.* Umweltmodellierung am Beispiel der Landwirtschaftsmodelle. Studienarbeit Technischer Umweltschutz. TU-Berlin, GMD FIRST, Berlin, Feb. 2000.

### **Vorträge**

*L. M. Jugel.* Enhancing MUVES: Connecting Virtual Objects with Environmental Simulation. International Conference on Virtual Worlds and Simulation, Phoenix, Arizona, 8-11 January 2001.

*H. Rosé.* M3-Simulation - Multidimensional Modelling of Sustainability Strategies in Virtual Worlds. International Conference on Virtual Worlds and Simulation, Phoenix, Arizona, 8-11 January 2001.