



Joseph Beuys (1975): Die Wärmezeitmaschine in der Ökonomie.

Politikberatung zum Globalen Wandel: Ein Modell*

Klaus Fraedrich

Zusammenfassung: Die Arbeit, Perspektiven und originären Methoden des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) werden in drei Schritten präsentiert: Die *Diagnose* kombiniert Symptome, die die Trends des Globalen Wandels miteinander in Beziehung setzen, Syndrome, die aus einer Clusterbildung und Regionalisierung dieser Trends entstehen, und Kritikalität, mit der quantitativ die Belastung von Ökosystemen ermittelt wird. Die *Prognose* basiert auf globalen Risiken, die mit der Eintrittswahrscheinlichkeit das Schadensmass verbinden, und mit deren Typologisierung Entwicklungen antizipiert werden können. Das führt zu einer Strategie des Risikomanagements mit dem Ziel, Risiken dynamisch in einen Normalbereich zurückzuführen. Die *Handlungsempfehlungen* werden auf der Grundlage normativ-ethischer Leitbilder abgeleitet und operationalisiert, um politische Defizite aufzuheben und eine global nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen. Sie werden hergeleitet nach einer qualitativen, interdisziplinären Bewertung der Diagnosen und Prognosen; für Planungen und politische Entscheidungen können die ökologischen und sozio-ökonomischen Belastungsgrenzen anhand der Leitplanken- und Toleranzfenster-Ansätze ermittelt werden.

Inhalt

1. Globaler Wandel und der Wissenschaftliche Beirat für Globale Umweltveränderungen (WBGU)
 - 1.1 Kernprobleme des Globalen Wandels
 - 1.2 Wissenschaftlicher Beirat für Globale Umweltveränderungen
 - 1.3 Die Werkstatt des WBGU: Ansätze und Arbeitsmethoden
2. Diagnose: Symptome, Syndrome und Kritikalität
 - 2.1 Symptome und Beziehungsgeflecht
 - 2.2 Syndrome: Funktionale Muster des Globalen Wandels
 - 2.3 Kritikalität: Eine quantitative Analyse des Globalen Wandels
3. Prognose: Risiken - ein Weg zur stochastisch-dynamischen Analyse
 - 3.1 Risiko und Risikotypen
 - 3.2 Risiko-Dynamik
4. Handlungsempfehlungen
 - 4.1 Normativ-ethisches Leitmotiv: Ökologischer Imperativ
 - 4.2 Qualitative Bewertungen der Diagnose und Prognose
 - 4.3 Quantitative Bewertungen: Ermittlung von Leitplanken
5. Ein Ausblick

*Vorträge: 17. September 1999, Australian National University, Canberra (Australian Alexander von Humboldt Fellows, AAyHF); 2. März 2000, Pennsylvania State University (School of Earth Sciences); 25. April 2000 Universität Trier (SFB 'Umwelt und Region'); 5. Mai 2000, Universität Mainz (Forschungsverbund 'Komplexe Systeme', CSRA); 7. November 2000 Universität Bern (Geographisches Institut); Druck (1. Oktober 2000) Universität Freiburg; zusammengestellt aus den WBGU-Gutachten unter Mitarbeit von Dr. J. Léonardi.

1. Globaler Wandel und der Wissenschaftliche Beirat für Globale Umweltveränderungen

Am 23. April 1999 wurde dem Deutschen Bundestag eine Entschliessung zur Lösung der weltweit sich herausbildenden Süßwasserkrise empfohlen, die sich auf die Erkenntnisse und Empfehlungen des WBGU-Jahresgutachtens 1997 "Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser" bezieht (Deutscher Bundestag 1999). Zuvor hatte die Bundesregierung dem Bundestag darüber berichtet, welche Bereiche ihrer bisherigen wasserspezifischen Politik sie ändern möchte und welche Massnahmen sie dazu vorbereitet. Damit regen Regierung und Parlament eine nationale Umweltpolitik an, die den global dauerhaften Schutz der Ressource Wasser stärker verfolgt und dafür internationale Kooperationen eingeht. Es ist durchaus nicht üblich, dass sich die Politik von den Vorstellungen und Erkenntnissen von Wissenschaftlern leiten lässt. In diesem Fall aber konnte die von unabhängigen Experten aufbereitete, handlungsorientierte Darstellung interdisziplinärer Forschungsergebnisse zum Thema Süßwasser Eingang finden in einen politischen Prozess und die WBGU-Empfehlungen ein Massnahmenbündel anregen. Damit hat der Beirat Hilfestellung für die Konzipierung des weiteren Vorgehens der Bundesregierung in der internationalen Umwelt- und Entwicklungsarbeit geleistet. Bevor es zur Übergabe an die Regierung und somit zum Anstoss einer politischen Weiterentwicklung kommt, findet innerhalb des WBGU eine intensive Vorbereitung für ein solches Gutachten statt. Die Werkstatt des Beirats ist deshalb primär ein der Politik vorgelagerter Bereich. Nachgelagert sind entsprechende Dialoge mit der Regierung. Diese waren jedoch bislang relativ selten, obwohl sie einen wesentlichen Bestandteil der "Evaluation" der Beratungstätigkeit darstellen. Infolge welcher Arbeitsschritte kommt der WBGU zu seinen gutachterlichen Empfehlungen? Mit der Beantwortung dieser Frage anhand der Präsentation der wichtigsten Ansätze und Themen aus den WBGU-Gutachten soll eine höhere Transparenz über die Arbeitsweise und eine bessere Nachvollziehbarkeit der WBGU-Ergebnisse erzielt werden.

1.1 Kernprobleme des Globalen Wandels

"Globaler Klimawandel", "Ozonloch", "Artensterben", "Wüstenbildung", "Trinkwasserkrise", "Massenarmut und Landflucht in den Entwicklungsländern", "Umweltzerstörung und Landschaftszersiedlung in den Industrieländern" - diese Schlagworte deuten auf eine Krise im Verhältnis zwischen Mensch und Natur hin. Die Menschheit aus dieser Krise herauszuführen, ist das Ziel globaler Umwelt- und Entwicklungspolitik, die sich seit dem Erdgipfel in Rio de Janeiro 1992 am Leitbild der "nachhaltigen Entwicklung" orientiert. Eine nachhaltige Entwicklung soll die Bedürfnisse heutiger Generationen befriedigen, ohne die Lebensgrundlagen kommender Generationen zu gefährden. Doch wie könnte eine solche nachhaltige Entwicklung aussehen? Welche Wege sollten hierzu beschritten werden? Welche Entwicklungen müssen unter allen Umständen vermieden werden? Zu diesen Fragen benötigt die Politik einen Orientierungsrahmen, der sich auf wissenschaftliche Analysen und Lösungsvorschläge stützt. In Deutschland wurde daher kurz vor der Rio-Konferenz der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) eingerichtet. Zwölf Experten aus unterschiedlichen Fachrichtungen beschäftigen sich in jährlichen Gutachten mit aktuellen Fragen der globalen Umwelt- und Entwicklungspolitik (Anhang). Oberstes Ziel ist es, Handlungs- und Forschungsempfehlungen für die Bundesregierung zu erarbeiten. Wichtigster Gegenstand dieser Empfehlungen sind die Kernprobleme des Globalen Wandels.

Die Bewältigung globaler Umwelt- und Entwicklungsprobleme erfordert internationale Zusammenarbeit. Die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung (UNCED) 1992 in Rio de Janeiro war hierfür ein entscheidender Meilenstein. Mit der Agenda 21 wurde ein Aktionsprogramm für das kommende Jahrhundert beschlossen, ausserdem wurden die Klimarahmenkonvention, die Seerechtskonvention, die Konvention über die biologische Vielfalt und 1994

die Desertifikationskonvention verabschiedet. Im Verlauf des Rio-Nachfolgeprozesses wurde von den Vereinten Nationen eine Reihe von Weltgipfeln zu Themen wie "Bevölkerung und Entwicklung", "Frauen", "Soziale Sicherheit", "Verstädterung" und "Ernährung" einberufen. Im Rahmen der Lokalen Agenda 21 ist auch weltweit eine Vielzahl kommunaler Initiativen entstanden, die sich für das Umsetzen der Rio-Beschlüsse vor Ort engagieren. Vorläufiger Höhepunkt des Rio-Nachfolgeprozesses war die Sondergeneralversammlung der Vereinten Nationen im Juni 1997, auf der eine erste Zwischenbilanz gezogen wurde.

Tab. 1: Kernprobleme des Globalen Wandels

<i>Anthroposphäre</i>	<i>Natursphäre</i>
Bevölkerungsentwicklung, Migration, Urbanisierung	Klimawandel
Gesundheitsgefährdung	Verlust biologischer Vielfalt
Gefährdung der Ernährungssicherheit	Bodendegradation
Wachsende globale Entwicklungsdisparitäten	Süßwasserverknappung, -verschmutzung
Ausbreitung nicht-nachhaltiger Lebensstile	Verschmutzung der Weltmeere

1.2 Wissenschaftlicher Beirat für Globale Umweltveränderungen

Der Beirat wurde 1992 von der Bundesregierung als unabhängiges Beratergremium eingerichtet und verfügt über eine Geschäftsstelle am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven. Er ist direkt der Bundesregierung zugeordnet und wird im 2-Jahres-Rhythmus abwechselnd vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) federführend betreut. Ausserdem begleitet ein Interministerieller Ausschuss (IMA) aus weiteren 13 Ministerien und dem Bundeskanzleramt seine Arbeit.

Gutachten: Einmal jährlich übergibt das Expertengremium dem Bundeskabinett ein Gutachten mit Handlungs- und Forschungsempfehlungen zur Bewältigung globaler Umwelt- und Entwicklungsprobleme. In Sondergutachten nimmt der Beirat auch zu aktuellen Anlässen Stellung, wie beispielsweise zu den Klimakonferenzen in Berlin 1995 oder Kyoto 1997.

Aufgaben und Zielsetzungen: Die Hauptaufgabe des interdisziplinär besetzten Beirats ist es, wissenschaftliche Erkenntnisse aus allen Bereichen des Globalen Wandels auszuwerten und daraus politische Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Entwicklung abzuleiten. Dazu gehören:

- globale Umwelt- und Entwicklungsprobleme analysieren und darüber berichten,
- nationale/internationale Forschungen auf dem Gebiet des Globalen Wandels auswerten,
- auf neue Problemfelder frühzeitig hinweisen,
- Forschungsdefizite aufzeigen,
- Impulse zur interdisziplinären, anwendungsorientierten Forschung des Globalen Wandels geben,
- nationale, internationale Politik zur Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung beobachten,
- Handlungs-Forschungsempfehlungen für Politik/Öffentlichkeit erarbeiten und verbreiten.

1.3 Die Werkstatt des WBGU: Ansätze und Arbeitsmethoden

Der Beirat ist bewusst so zusammengesetzt, dass die für die Analyse globaler Umweltveränderungen wichtigsten Fachgebiete so weit wie möglich durch Experten vertreten sind. Daraus ergibt sich sowohl die Chance als auch die Verpflichtung einer Ganzheitsbetrachtung der gegenwärtigen Krise im System Erde. Blosser Multidisziplinarität, die durch geeignetes Arrangement von Fachbeiträgen in einem Sammelband zustande kommt, reicht dafür nicht aus: Die komplexe, d. h. verflochtene Dynamik des globalen Wandels muss sich widerspiegeln in einer entsprechend vernetzten Betrachtungsweise, wo die Einsichten der verschiedenen Fachgebiete zu wechselseitigen In- und Outputgrößen verdichtet werden. Daraus erwächst Inter- oder Transdisziplinarität, die sich zum Expertensystem entwickeln kann. Für eine solche Zusammenschau des Globalen Wandels bieten sich zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze an:

(i) *Der quantitativen Modellierung* des gekoppelten Systems aus Natur- und Anthroposphäre muss eine umfassende und detaillierte Beschreibung der relevanten Systemvariablen zugrunde liegen, mit seinen Quellen und Senken, den internen Wechselwirkungen und dem externen Antrieb. Im Idealfall führt dies zu einem dynamischen System, das durch geeignete Anfangsbedingungen und zeitliche Integration Vorhersagen, Sensitivitäts-Analysen, etc. des Systems gestattet. Erste Schritte zu entsprechenden integrierten Modellen sind erst in Entwicklung, so dass von diesem Ansatz kurzfristig noch keine Ergebnisse für die Politikberatung erwartet werden können, zumal noch keine konsistente Methodologie zur Kopplung quantitativer Modellierung und Ansätze existiert, die die Optionen vieler Akteure abbildet (z.B. Spieltheorie).

Tab. 2: Ansätze und Methoden

<i>Diagnose</i>	Symptome: Trends globaler Umweltveränderungen, Beziehungsgeflecht Syndrome: Muster globalen Wandels und anthropogene Wechselwirkungen Kritikalität: Belastung natürlicher Systeme, komplexe Indikatoren
<i>Prognose</i>	Risiken und Risikotypen Risiko-Dynamik
<i>Empfehlung</i>	Normativ-ethisches Leitmotiv Qualitative Bewertungen der Diagnosen und Prognosen Quantitative Bewertung: Leitplanken und Toleranzfenster

(ii) *Die phänomenologisch-deskriptive Systemanalyse* (Bestimmung der Haupttrends, Synergieeffekte, neuralgische Punkte, Rückkopplungsschleifen usw.) basiert auf kombiniertem Expertenwissen und Intuition bei heterogener bzw. schwacher Information. Hier geht es um den Versuch, die inneren Zusammenhänge des Systems Erde ohne Vorschaltung einer formalen Rekonstruktion in einem dynamischen Modell darzustellen. Hauptziel dieses Zugangs ist die Identifikation der wichtigsten Entwicklungen im Rahmen des globalen Wandels und deren Zusammenspiel, d.h. der Blick wird unmittelbar auf die Dynamik sich gegenseitig bedingender kooperativer Phänomene gerichtet. Eine solche qualitative Analyse umgeht die Gefahr, aus unscharfer Datenlage scharfe Aussagen ableiten zu wollen und ist deshalb für den Beirat der bevorzugte methodologische Ansatz.

Um seine Aufgaben zu bewältigen, bediente sich der Beirat zuerst herkömmlicher Ansätze und Methoden der "Scientific Community". Allerdings zeigte es sich, dass innovative Verfahren notwendig waren, um der Komplexität der Aufgabe gerecht zu werden. Daher wurden mehrere originäre Verfahren entwickelt; dazu kam die arbeitsleitende Perzeption von Nachhaltigkeit als Identifizierung nicht-nachhaltiger Entwicklungszonen. Diese vom Beirat verwendeten Methoden des wissenschaftlichen Arbeitens und der politischen Beratung zu globalen Umweltveränderungen lassen sich in drei Schritte unterteilen: Diagnose, Prognose und Empfehlung (Tabelle 2).

2. Diagnose: Symptome, Syndrome und Kritikalität

Eine Diagnose des Erdsystems liefert qualitative regionale Strukturen (Syndrome), die sich wiederholen oder in ähnlicher Ausprägung in anderen Gebieten auftreten können. In einem dynamischen System zeichnen sie sich durch die gleichen Trends und selbstverstärkenden Rückkopplungen (Symptome im Beziehungsgeflecht) aus. Um Dispositionsräume für die jeweiligen Syndrome ermitteln zu können, sind quantitativer Masse erforderlich. Eine derartige Syndrom-Disposition kann durch geeignete Kritikalitäts-Indikatoren bestimmt werden. Auslösefaktoren, Lebenszyklen und Kuration sind weitere Aspekte der Diagnostik des Globalen Wandels.

2.1 Symptome und Beziehungsgeflecht

Als methodisches Hilfsmittel der Ganzheitsbetrachtung wird eine graphische Darstellung des globalen Beziehungsgeflechts gewählt. Dies lässt sich u.a. dadurch begründen, dass eine geometrische Kennzeichnung von Zusammenhängen zwar oft verwirrender erscheint als eine algebraische (z.B. Matrixform), aber die direkte und indirekte Vernetzung der System-Komponenten wesentlich deutlicher macht. Das Beziehungsgeflecht wird wie folgt konstruiert:

Schritt-1: Aufgliederung des gekoppelten Systems aus Natur- und Anthroposphäre in analytische Kategorien (9 Sphären) in Anlehnung an die Grundstruktur der Gutachten (Hydrosphäre, Atmosphäre, Biosphäre, Pedosphäre, Bevölkerung, Wirtschaft, psychosoziale Sphäre, gesellschaftliche Organisation, Wissenschaft/Technik). In der entsprechenden Darstellung (Abbildung 1) ist jeder Komponente eine charakteristische Farbe zugeordnet, um die Identifizierung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu erleichtern.

Schritt-2: Bestimmung der im Rahmen des globalen Wandels unmittelbar oder mittelbar bedeutsamen Trends (~ 80 Symptome). Die symbolische Kennzeichnung dieser Trends erfolgt durch Ellipsen, welche an geeigneter Stelle innerhalb der Hauptkompartimente oder - bei Querschnittscharakter - dazwischen zu plazieren sind (Abbildung 1).

Schritt-3: Identifizierung der gegenseitigen Beeinflussung der globalen Trends. Wechselwirkungen können sowohl innerhalb einer Komponente als auch zwischen den Sphären bestehen. Jede Einwirkung eines Trends auf einen anderen wird durch eine Verbindungslinie zwischen den entsprechenden Ellipsen mit der Farbe des "verursachenden" Kompartiments symbolisiert. Bei Querschnittsphänomenen muss die Farbgebung nach der Nähe zu den benachbarten Teilsystemen entschieden werden. Die Art der Einwirkung wird auch berücksichtigt und nach zwei Regeln unterschieden: (i) "Trend A verstärkt Trend B" (Pfeil von A nach B); (ii) "Trend B schwächt Trend A ab" (Runder "Boller" in A, kein Pfeil in B). Schon bei Berücksichtigung nur der augenfälligsten Phänomene und Interdependenzen hat das Ergebnis bereits ausgesprochen komplexen Charakter und demonstriert die mit dem systemaren Ansatz verbundenen Herausforderungen. Im Sinne einer Einführung in diese Ganzheitsbetrachtung ist in Abbildung 1 das "Hologramm" des globalen Wandels durch das Thema "Einwirkungen auf Regelungsfunktionen der Biosphäre" definierten Vernetzungsmuster wiedergegeben.

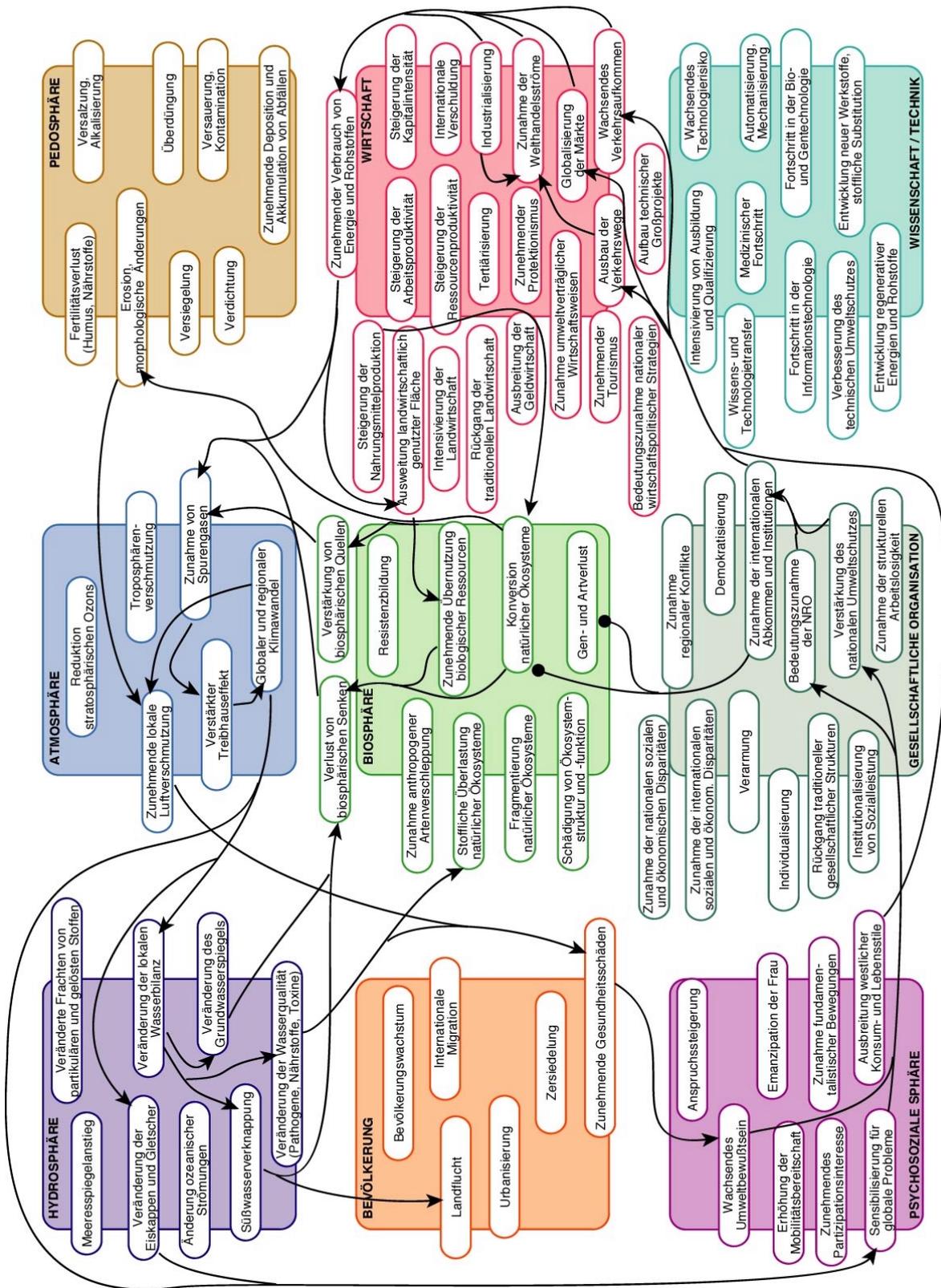


Abb. 1: Trends (Symptome) des Globalen Wandels und Beziehungsgeflecht am Beispiel der Einwirkungen auf die Regulationsfunktionen der Biosphäre (WBGU 2000).

Bei der Bestimmung der Trends und ihrer Wechselwirkungen durch geeignete Indikatoren hat sich gezeigt, dass bei der Auswahl von Trends für die Syndromanalyse (siehe unten) gelegentlich geographisch differenziert werden muss. Ferner laufen zumindest einige Syndrome in Phasen ab, zu deren Bestimmung es einer jeweils unterschiedlichen Trendauswahl bedarf. Ihre Bewältigung erfordert die Berücksichtigung neuerer Forschungsergebnisse aus den verschiedensten Disziplinen. Der Beirat sieht darin einen prinzipiellen Ansatz, um das kollektive Wissen seiner Mitglieder in fachübergreifender und systemgerechter Weise zu organisieren und laufend fortzuschreiben. In diesem Sinne dient das globale Beziehungsgeflecht als "Generalkarte" für die Orientierung der vergangenen und weiteren Beiratsarbeit.

Anwendungsmöglichkeiten: Generell greifen bei dem beschriebenen Zugang die Methoden der qualitativen Systemanalyse, wie sie in den Bereichen theoretische Ökologie, Operations Research oder Kontrolltheorie Eingang gefunden haben. Mit Hilfe solcher Verfahren, wie auch durch direkte Inspektion, lassen sich aus dem Beziehungsgeflecht eine Reihe von nichttrivialen Informationen gewinnen. Einige Möglichkeiten sind im folgenden skizziert:

Muster (Regime): Wie homogen ist die Vernetzung der Trends und Kompartimente? Zerfällt der Gesamtkomplex in unabhängige Teilcluster? Gibt es "Flaschenhälse", "Kurzschlüsse", "Brennpunkte" oder "Transmissionsriemen"?

Rückkopplungen (feedbacks): Welche "Verstärkungs- und Dämpfungsschleifen" lassen sich identifizieren? Wo zeichnen sich über gegenläufige Trends oder Rückstellkräfte, Polarisierungen bzw. Gleichgewichtstendenzen ab?

Synergie: Welche unterschiedlichen Einflüsse auf einen bestimmten Trend überlagern sich nicht einfach nur, sondern wirken nichtlinear zusammen?

Sensitivität: Welche Trends zielen auf besonders fragile Komponenten der Natur- bzw. Anthroposphäre? Dort, wo grosse Änderungen in der Dynamik und hohe Verletzbarkeit zusammenfallen, sind gravierende aktuelle oder künftige Problemfelder definiert.

Das Beziehungsgeflecht lässt sich darüber hinaus nutzen, um Forschungsdefizite aufzuzeigen (z. B. mit durch Fragezeichen markierten Wechselwirkungen) oder um sich einen Überblick über den internationalen Prozess der Umweltkonventionen zu verschaffen. "Konventionsreife" bzw. "konventionsbedürftige" Umwelt- und Entwicklungsprobleme können etwa durch verschiedenartige zusätzliche Symbole auf dem Hologramm gekennzeichnet werden. Diese Methode liefert zwar die Basis weiterer Analysen, sie kann aber nur bedingt den Handlungsbedarf zeigen und liess sich bisher nicht bis zum entscheidenden Punkt der Handlungsempfehlung an die Politik fortentwickeln. So können aus diesem Schritt keine Empfehlungen zur globalen Umweltpolitik direkt abgeleitet werden. Dazu müssen weitere Instrumente herangezogen werden.

2.2 Syndrome: Funktionale Muster des Globalen Wandels

Ein "Syndrom" charakterisiert in der Medizin komplexe "Krankheitsbilder". Bei der Diagnose des Systems Erde soll es vor allem auf das Zusammenwirken vieler Ko-Faktoren hinweisen, die die ökologischen, ökonomischen und sozio-kulturellen Trends charakterisieren. Hier wie dort gibt es die Erfassung der Vorgeschichte, die Diagnose und Bewertung auf der Basis von Symptomen, und schliesslich Empfehlungen für eine Therapie. Das Ziel ist, die Syndrome zu lindern oder zu beseitigen, besser noch, ihre Entstehung vorsorgend zu vermeiden.

Eine regionalisierte Betrachtung des Erdsystems mit dem Instrument der Beziehungsgeflechte macht deutlich, dass die Interaktionen zwischen Zivilisation und Umwelt in bestimmten Regionen häufig nach typischen funktionalen Mustern (Syndrome) ablaufen. Sie sind unerwünschte charakteristische Konstellationen von natürlichen und zivilisatorischen Trends und ihren Wechselwirkun-

gen, die sich geographisch explizit in vielen Regionen dieser Welt identifizieren lassen. Die Grundthese des Beirats ist, dass sich die komplexe globale Umwelt- und Entwicklungsproblematik auf eine überschaubare Anzahl von Umwelt-Degradationsmustern (16 Syndrome) zurückführen lässt, mit zahlreichen negativen Auswirkungen auf Umwelt und gesellschaftliche Entwicklung. Sie können an verschiedenen Stellen der Erde in unterschiedlicher Ausprägung auftreten. Anhand der Syndromanalyse lässt sich abschätzen, welche Weltregionen für bestimmte Syndrome anfällig sind oder dies zukünftig sein könnten. Denkbar ist umgekehrt eine Gruppe von aus nachhaltiger Sicht positiven Mensch-Umwelt-Interaktionsmuster.

Tab. 3: Syndrome

Nutzung

Sahel	Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte bei ländlicher Armut
Raubbau	Raubbau an natürlichen Ökosystemen
Landflucht	Umwelt-, Entwicklungsprobleme durch Aufgabe traditioneller Anbaumethoden
Dust Bowl	Umweltdegradation durch industrielle Landwirtschaft
Katanga	Umweltdegradation infolge Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen
Massentourismus	Schädigung von Naturräumen durch Tourismus
Verbrannte Erde	Umweltzerstörung durch militärische Einflüsse

Entwicklung

Aral-See	Umwelt-, Entwicklungsprobleme durch zentralistisch geplante Grossprojekte
Grüne-Revolution	Ökologische, gesellschaftliche Probleme bei angepasster Agrarentwicklung
Kleine-Tiger	Vernachlässigung ökologischer Standards bei hohem Wirtschaftswachstum
Favela	Umweltdegradation und unregelmäßige Urbanisierung
Suburbia	Landschaftsschädigung durch reguläre Expansion von Städten, Infrastrukturen
Havarie	Umweltdegradation durch technisch-industrielle Unfälle

Senken

Hoher-Schornstein	Umweltdegradation durch weiträumige Verteilung meist langlebiger Wirkstoffe
Müllkippen	Umweltgefährdung durch Deponierung von Abfällen
Altlasten	Langfristige ökologische Belastung im Umfeld von Industriestandorten

Syndrome zeichnen sich durch einen *transsektoralen* Charakter aus, d.h. die assoziierten Problemlagen greifen über einzelne Sektoren (etwa Wirtschaft, Biosphäre, Bevölkerung) oder Umweltmedien (Boden, Wasser, Luft) hinaus, haben aber immer einen direkten oder indirekten Bezug zu Naturressourcen. *Global relevant* sind Syndrome dann, wenn sie den Charakter des Systems Erde modifizieren und damit direkt oder indirekt die Lebensgrundlagen für einen Grossteil der Menschheit spürbar beeinflussen, oder wenn für die Bewältigung der Probleme ein globaler Lösungsansatz erforderlich ist. Jedes einzelne dieser "globalen Krankheitsbilder" stellt also ein eigenständiges Grundmuster der zivilisatorisch bedingten Umweltdegradation dar. Das bedeutet, dass das jeweilige Syndrom - im Prinzip - unabhängig von den anderen auftreten und sich weiter entfalten kann. Dies gilt besonders in den Fällen, in denen Syndrome durch *Selbstverstärkungsmechanismen* gekennzeichnet sind, wie z.B. in den Phänomenen Landflucht oder Massentourismus. Wenn, wie

im ersten Fall, die ländliche Infrastruktur und Lebenssituation der agrarischen Bevölkerung generell durch Abwanderung schlechter wird, verstärkt sich der Druck zu weiterer Abwanderung in die Städte. Oder wenn, wie im zweiten Fall, die Folgen des bereits ausgebrochenen Syndroms eine Region für touristische Ansprüche unattraktiv machen, wird nach neuen Regionen gesucht und das typische Schädigungsmuster breitet sich erneut aus. Die grundsätzliche Eigenständigkeit der Syndrome schliesst jedoch keineswegs die passive Überlagerung oder die aktive Wechselwirkung solcher Degradationsmuster aus.

Syndrom-Klassifikation: Im WBGU-Jahresgutachten (1996) sind die 16 wichtigsten "Krankheitsbilder" des Globalen Wandels beschrieben und durch einen Begriff belegt worden; dabei ist ein Syndrom immer sehr viel umfassender und vielschichtiger als es in einer prägnanten Kurzform ausgedrückt werden kann. Die Syndrome werden in drei Gruppen gegliedert: Bei der Syndromgruppe "Nutzung" handelt es sich um Syndrome, die infolge einer einseitigen oder sorglosen Ausbeutung von Naturschätzen auftreten. Die Gruppe "Entwicklung" umfasst Syndrome, die sich aus nicht-nachhaltigen Fortschrittsprozessen ergeben, und der Gruppe "Senken" werden jene zugeordnet, die aus einer unangepassten Entsorgung von Stoffen in Boden, Wasser oder Luft entstehen. Wesentlich für jedes der Syndrome ist ihr Querschnittscharakter; beispielsweise umfasst das "Favela-Syndrom" gleichermaßen Umweltdegradation und unregelmäßige Urbanisierung, vor allem der Entwicklungsländer. In den Slumgebieten der grossen Städte häufen sich Umwelt- und Entwicklungsprobleme auf engstem Raum. Verschärft wird die Lage durch die Zuwanderung vom Land. Eine wichtige Ursache hierfür ist das "Grüne-Revolution-Syndrom", durch das die sozio-ökonomischen und regionalen Disparitäten im ländlichen Raum weiter angewachsen sind (siehe auch Sahel-Syndrom).

Beispiel "Sahel-Syndrom": Die Entstehung (Ausbruch) eines Syndroms, seine Manifestation als selbstverstärkender Teufelskreis und seine Dokumentation als ein bereits beobachtetes "Krankheitsbild" werden am Beispiel des Sahel-Syndroms skizziert (WBGU 1994, Abb.7, 8). Als Sahel-Syndrom (Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte) wird der Ursachenkomplex von Degradationserscheinungen bezeichnet, die bei Überschreitung der ökologischen Tragfähigkeit in Regionen auftreten, wo die natürlichen Umweltbedingungen (Klima, Boden) nur begrenzte landwirtschaftliche Nutzungsaktivitäten zulassen (marginale Standorte). Zur *Entstehung* dieses Syndroms können unangepasste Entwicklungsstrategien (Sesshaftmachung von Nomaden, Tiefbrunnenbau) beitragen, die durch ein hohes Bevölkerungswachstum verschärft werden. Sie geschehen im Kontext gesamtgesellschaftlicher Transformationsprozesse, wie der Auflösung traditioneller Solidarsysteme, der Verschiebung lokaler Preisgefüge infolge subventionierter Exporte aus Industrieländern und kulturellem Wandel. Die *Manifestation* dieses Syndroms ist ein "Teufelskreis" sich gegenseitig verstärkender Symptomketten in Natur- und Anthroposphäre: (i) In der *Natursphäre* sind dies die Degradation von Böden (Erosion, Fertilitätsverlust, Versalzung), Ausbreitung wüstenähnlicher Verhältnisse (Desertifikation), Verwendung fossiler Süßwasserressourcen, Konversion naturnaher Ökosysteme (z.B. durch Entwaldung), Verlust biologischer Vielfalt und Veränderung des regionalen Klimas. (ii) Im *sozio-ökonomischen Raum* sind die syndromspezifischen Trends wachsende Verarmung der Bevölkerung, Landflucht, steigende Anfälligkeit gegenüber Nahrungskrisen sowie zunehmende Häufigkeit von politischen und sozialen Konflikten um knappe Ressourcen. Vor allem in Subsistenzwirtschaften sind ländliche Armutsgruppen und von Ausgrenzung bedrohte Bevölkerungsschichten durch Übernutzung der Agrarflächen (z.B. Überweidung, Ausweitung von Ackerbau auf ökologisch empfindliche Gebiete) einer zunehmenden Degradation ihrer natürlichen Umwelt ausgesetzt. Die Intensivierung ursprünglich nachhaltiger Bodenbearbeitungsmethoden, wie z.B. die Aufgabe von Fruchtfolge- und Rotationsystemen oder die Verkürzung der Brachezeiten, sind wichtige Kennzeichen des Syndroms. Die Konsequenz der unangepassten Landnutzung ist Desertifikation und Abwanderung in die Städte.

Das führt zu einer gegenseitigen Verstärkung (positive Rückkopplung) von Verarmung, Übernutzung und Umweltdegradation, die im Verlauf des Sahel-Syndroms durch eine sukzessiven Verengung der Handlungsspielräume der betroffenen sozialen Gruppen (Extremfall: Hungerkatastrophe) stattfindet. Aus dem Sahel-Gebiet wird berichtet, dass dort durch die Destabilisierung der ländlichen Produktions- und Sozialsysteme mehr als die Hälfte der Bevölkerung von Hunger bedroht sind. Die traditionelle Landwechselwirtschaft hat durch das Bevölkerungswachstum die kritische Grenze überschritten, so dass es zu einer Ausweitung der Agrarproduktion auf Grenzertragsflächen kommt. Ein anderes Beispiel für das Sahel-Syndrom ist die Waldkonversion an marginalen Standorten mit nachfolgender Subsistenznutzung: shifting cultivation (Brandrodungsfeldbau).

Dispositionsräume von Syndromen: Die Syndrome lassen sich bei der Ermittlung des Dispositionsraums kartographisch als Fleckenstrukturen abbilden. Dies ist der zweite Schritt der Systemanalyse eines Syndroms. Die Karten zeigen dann, wo und in welcher Stärke das betrachtete Syndrom vorliegt. Weist man z.B. jedem einzelnen Syndrom eine spezifische Farbe mit mehreren Intensitätsstufen zu, dann sollte die Überlagerung der entsprechenden Karten ein aussagekräftiges Bild vom Umwelt- und Entwicklungszustand des Planeten Erde zeichnen. Während das Beziehungsgeflecht das wesentliche Muster der Mensch-Umwelt-Beziehungen graphisch darstellt, wird durch die Disposition für ein Syndrom die Gefährdung für den "Ausbruch" der syndromspezifischen Mechanismen regional bestimmt.

Dispositionsraum "Sahel Syndrom": Eine Region ist dann beispielsweise für das Sahel-Syndrom anfällig, wenn bestimmte strukturelle Konstellationen naturräumlicher und sozioökonomischer Dispositionsfaktoren vorliegen. Solche Faktoren sind z.B. kulturelle Merkmale, politische Instabilität, Wasserverfügbarkeit, Hangneigung etc., die in einer syndromspezifischen Kombination die Anfälligkeit einer Region festlegen. Kommen innerhalb dieser Rahmenbedingungen bestimmte auslösende Faktoren hinzu (Expositionsfaktoren, z.B. Verschlechterung der ‚terms of trade‘ oder Dürreperioden), so setzt der Mechanismus des Syndroms ein, und das Syndrom wird in der jeweiligen Region akut. Die Disposition für das Sahel-Syndrom wird im wesentlichen bestimmt durch:

- (a) *naturräumliche Disposition*, d.h. die naturräumlichen Produktionsbedingungen lassen erwarten, dass es infolge von landwirtschaftlicher Intensivierung bzw. Ausweitung auf niedrigem Niveau bereits zu Bodendegradation kommt;
- (b) *sozio-ökonomische Disposition*, d.h. die marginalisierte bäuerliche Bevölkerung hat keine Handlungsalternativen zu diesen Landnutzungsformen.

Um abzuschätzen, in welchem Ausmass eine naturräumliche Disposition vorliegt, muss eine natur- und agrarwissenschaftliche Abschätzung der Empfindlichkeit (Fragilität) der Region gegenüber landwirtschaftlicher Nutzung durchgeführt werden (Abbildung 2). Unter Verwendung von Methoden der fuzzy logic wird die Fragilität eines Standorts durch einen Zugehörigkeitswert zwischen 0 (sicher nicht fragil) und 1 (fragiler Standort) bestimmt:

- (i) Berücksichtigt wird die natürliche Dimension mit Wasser- und Temperaturbegrenzung des Pflanzenwachstums sowie Bodenfruchtbarkeit und -topographie, aber auch der Zugang zu Oberflächenwasser für die Bewässerung.
- (ii) Der zweite Aspekt, die sozio-ökonomische Disposition, ist charakterisiert durch die fehlenden Alternativen der ländlichen Bevölkerung zur weiteren Ausweitung oder Intensivierung ihrer landwirtschaftlichen Aktivitäten. Sie wird bestimmt unter Berücksichtigung folgender Faktoren: a) Das Ausmass der Subsistenzwirtschaft eines Landes ergibt sich indirekt aus den offiziellen Statistiken über das inländische Nahrungsmittelangebot und den Nahrungsbedarf der Bevölkerung. b) Die syndromfördernden energiewirtschaftlichen Randbedingungen (Abhän-

gigkeit der Energieversorgung von der Brennholznutzung) werden durch einen zusammengesetzten Indikator erfasst, der aus Kennzahlen für den Energieverbrauch pro Kopf und den Anteil der Brennholznutzung besteht.

- (iii) Drittens, da für den "Ausbruch" des Syndroms eine naturräumliche *und* eine sozio-ökonomische Disposition vorliegen muss, werden beide Aspekte über eine logische "Und-Verknüpfung" zur Gesamtdisposition zusammengefügt. Das Resultat in Abbildung 2 zeigt in roter Farbe die besonders disponierten Regionen, in denen ein Auftreten des Sahel-Syndroms in Zukunft zu befürchten bzw. das Syndrom bereits ausgebrochen ist. Die Karte zeigt, dass nicht nur die namensgebende Region Afrikas für das Sahel-Syndrom disponiert ist, sondern auch viele andere Gebiete der Erde gefährdet sind (WBGU 1996).

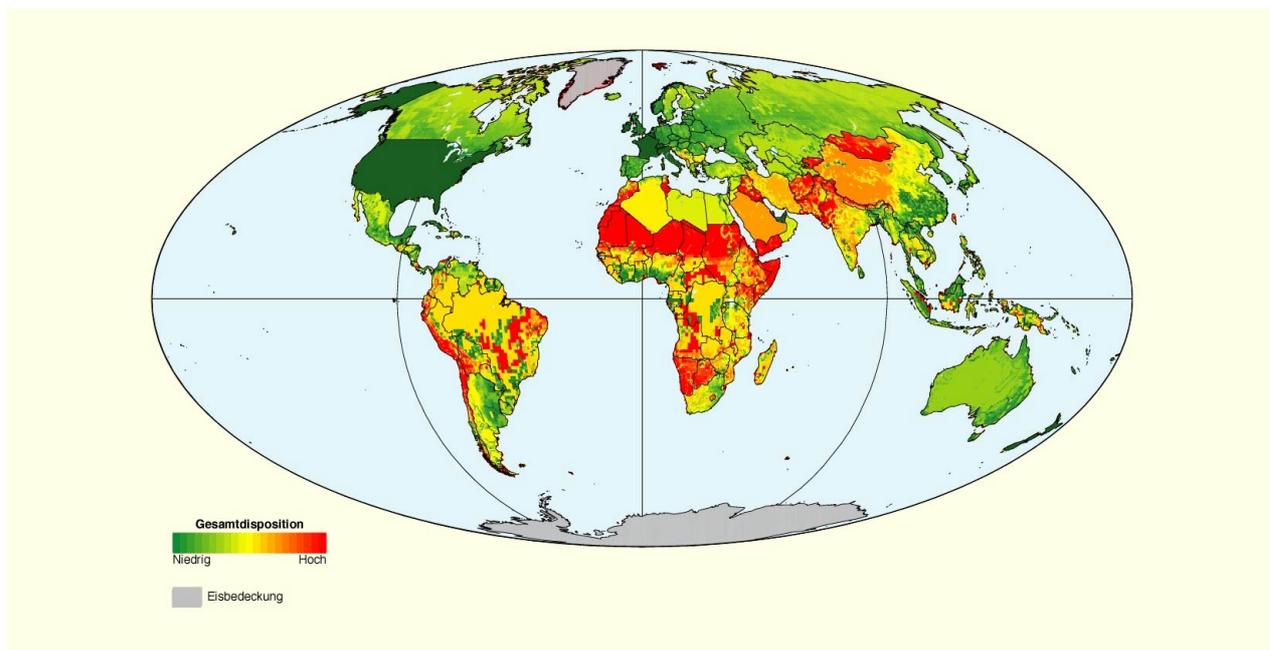


Abb. 2: Dispositionsraum des Sahel Syndroms (WBGU 1994, 1996).

Anwendung des Syndromansatzes (z.B. Süßwasser): Syndrome als regionale Muster des globalen Wandels lassen sich auch im Zusammenhang mit der Süßwasserproblematik mit folgenden Fragen analysieren: Wie wirken die aktiven Trends eines bestimmten Syndroms auf die Wasserproblematik? Welches sind die Rückwirkungen auf Mensch und Gesellschaft? Am Beispiel des Sahel-Syndroms lassen sich darauf folgende Antworten ermitteln:

Übernutzung von Grundwasservorräten durch Tiefbrunnen (aride Variante),

Veränderung der regionalen Wasserbilanz durch Konversion von Ökosystemen (aride und humide Varianten),

Veränderung des lokalen (und eventuell globalen) Niederschlagsmusters (vorwiegend humide Variante),

Verschärfung der Wasserknappheit mit gesundheitlichen Folgen (aride Variante), die durch Aufgabe traditioneller Landnutzung verursacht wird.

In ähnlicher Weise lässt sich der Beitrag aller weiteren Syndrome für die Süßwasserproblematik qualitativ einschätzen (Abbildung 3).

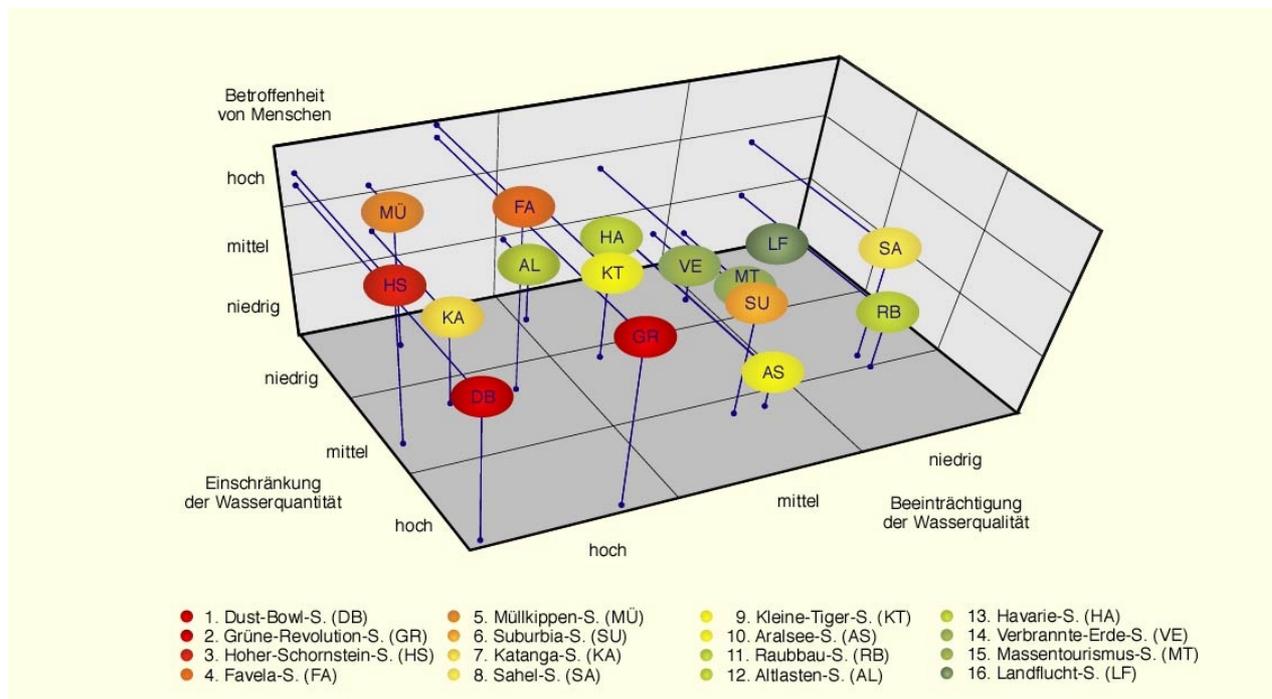


Abb. 3: Einschätzung der Bedeutung der einzelnen Syndrome hinsichtlich ihres Beitrags zur Wasserkrise (WBGU 1998). Die Farbkodierung von rot nach grün kennzeichnet eine abnehmende globale Wasserrelevanz, die aus einer Linearkombination der Achsenkategorien gebildet wurde. Der Aspekt "Betroffenheit von Menschen" wurde doppelt gewichtet, um die anthroposphärische Dimension mit den naturräumlichen Aspekten Wasserquantität und -qualität gleichwertig zu halten.

2.3 Kritikalität: Eine quantitative Analyse des Globalen Wandels

Um die qualitative Dynamik im Syndrom-Raum in den geographischen Raum zu projizieren, hat der Beirat auch das Instrument der Kritikalitätsabschätzung zur Diagnose globaler Umweltveränderungen genutzt und weiterentwickelt, um die hydrologische, klimatologische, demographische und ökonomische Faktoren gleichzeitig zu berücksichtigen. Diese Abschätzung ermöglicht regionalspezifische Aussagen über das zukünftige Ausmass eines negativen Trends der Natursphäre und wird im folgenden am Beispiel der Analyse der Wasserkrise und der globalen Regelungsfunktion der Biosphäre vorgestellt (WBGU 1998a). Ziel der Kritikalitätsanalyse ist eine Ermittlung der kritischen Grenzen der Belastung eines Bereichs der Natursphäre, die nicht überschritten werden dürfen. Da jeder globale Trend ein eigenes Vorgehen verlangt, kann noch keine allgemeine Methodik der Kritikalitätsermittlung aufgestellt werden. Die Kritikalitätsanalyse ist eine Weiterentwicklung des "critical load" Konzeptes zur Angabe ökotoxikologischer Wirkungsschwellen und kritischer Belastungswerte (WBGU 1994). Sie bietet eine methodische Ergänzung zu den herkömmlichen, auch im WBGU angewandten Sensitivitäts-, Anpassungsfähigkeits- und Vulnerabilitätsanalysen des IPCC (1996). Sie geht aber über die Ermittlung der geographischen Verteilung bestimmter Ökosystemveränderungen hinaus und zeichnet sich im Vergleich zu anderen naturwissenschaftlichen Methoden dadurch aus, dass sie anthropogene Faktoren in die Analyse integriert.

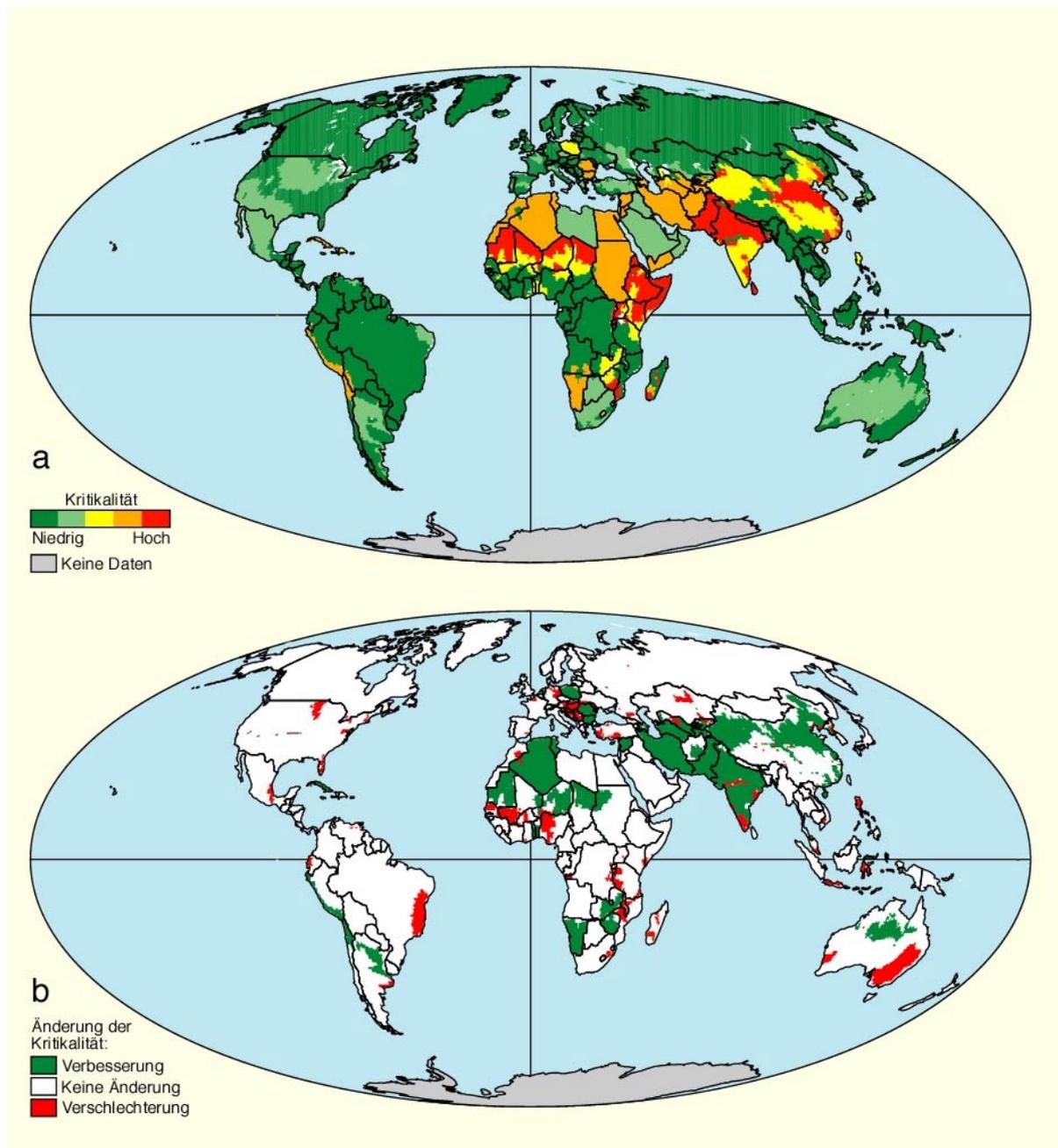


Abb. 4: Kritikalitätsanalyse: Globale Süßwasserkrise (WBGU 1998a).

Beispiel-1 "Süßwasser": Für eine realistische und regional differenzierte Bewertung der globalen Wasserkrise hat der Beirat einen Ansatz vorgeschlagen, der die globale Wasserkrise durch einen komplexen Indikator bewertet (Abbildung 4). Dabei werden das natürliche Wasserdargebot und der wachsende menschliche Nutzungsdruck in ein Verhältnis gesetzt und gleichzeitig das Abhilfe- oder Problemlösungspotential einer Gesellschaft berücksichtigt. Wo das Dargebot knapp, der Nutzungsdruck hoch und das Abhilfepotential gering sind, ist die Krise in besonderem Masse akut; wo dagegen ein geringer Nutzungsdruck einem hohen Wasserdargebot gegenübersteht und die Gesellschaft gleichzeitig über eine Reihe von Optionen zur Problemlösung verfügt, ist keine Krise gegeben. Zwischen diesen beiden Polen liegt wahrscheinlich die Mehrheit der Länder der Welt. Der zu formulierende Kritikalitätsindex sollte vor allem der Abschätzung von Wasserkrisen in naher Zukunft dienen, fungiert also als Frühwarnsystem. Er muss daher einen "dynamischen"

Zuschnitt besitzen und aktuelle Trends berücksichtigen. Mit Hilfe dieses "lokalen", zusammengesetzten Indikators K_w ,

$$K_w = \text{Wasserentnahme} / \{ \text{Wasserverfügbarkeit} * \text{Problemlösungspotential} \}$$

lässt sich die weltweite Süßwasserproblematik in Form eines Kritikalitätsindex regional aufgelöst bewerten. Die einzelnen Größen hängen von unterschiedlichen Einflussfaktoren ab:

- (i) Die Wasserentnahme wird bestimmt durch die lokale Bevölkerungsdichte, die spezifischen Wirtschaftsformen (besonders hinsichtlich Wassereffizienz und Wasserverschmutzungspotential), die Umweltbedingungen und die kulturellen Spezifika.
- (ii) Für die Wasserverfügbarkeit sind Klima, Vegetation, Bodenbeschaffenheit, Hydro- und Topographie, Klimavariabilität sowie installierte wasserbauliche Massnahmen verantwortlich.
- (iii) Das Problemlösungspotential ist die "weichste" der drei im Indikator auftretenden Größen. In sehr rudimentärer Form könnte es an der Wirtschaftskraft eines Standortes (BSP pro Kopf), an einem Indikator für wasserbezogenes Know-how, an der Menge und Qualität der vorhandenen Infrastruktur für Wasserversorgung und -entsorgung sowie an einem Indikator für die Effizienz und Stabilität der relevanten politischen Institutionen bemessen werden.

Für das Beispiel "Wasserkritikalität" mussten die drei oben genannten Größen Wasserentnahme, Wasserverfügbarkeit und wasserspezifisches Problemlösungspotential, global modelliert werden; die Daten zu den genannten Indikatoren sind global gesammelt, klassifiziert, in Modellen integriert und in Prognosenform kartographisch dargestellt (Abbildung 4). Danach wird erwartet, dass für das Jahr 2025 zwischen 2,7 und 3,3 Mrd. Menschen von einer Süßwasserkrise betroffen sind (WBGU 1998a).

Beispiel-2 "Globale Regelungsfunktion der Biosphäre": Das folgende Konzept stellt nur einen ersten Schritt in Richtung einer Bewertung der Rolle der Biosphäre für das Erdsystem dar, in die folgende Parameter eingehen: Primärenergieaufnahme, Robustheit bzw. Sensitivität gegenüber einer Veränderung der Umweltbedingungen und eine Auswahl metabolischer Funktionen der Biosphäre für das Gesamtsystem, die durch eine integrale Grösse gekennzeichnet wird. Der Kritikalitätsindikator K_B ergibt sich aus Kombination dieser Eigenschaften in der folgenden Form:

$$K_B = \{ \text{Primärenergieaufnahme} * \text{Funktionen} \} / \text{Robustheit}$$

Dieser Kritikalitätsindikator stellt damit eine einfache, räumlich aufgelöste Bewertungsfunktion dar, in die geeignete Basisindikatoren für die genannten Eigenschaften eingesetzt werden:

- (i) *Primärenergie-Aufnahme (Karte 1)*: Die Produktivität der Biosphäre lässt sich auf der Biomskala (oder feinere Auflösung) darstellen; Messgröße ist die Nettoprimärproduktion (NPP). Als Energieflussdichte (Energiezufuhr pro Flächeneinheit) formuliert beschreibt sie die Menge an pflanzlichem Material, die, im Gleichgewicht mit seiner Umgebung, durch Photosynthese während eines Jahres pro Flächeneinheit gebildet wird. Im naturnahen Ökosystem dient dieses pflanzliche Material im wesentlichen dem Wachstum der lebenden Biomasse. Bei landwirtschaftlich genutzten Ökosystemen bildet die NPP die obere Grenze des Ernteertrags, die jedoch wegen nicht verwendbarer Anteile (Wurzelwerk, Stengel) kaum erreicht wird. Zusammen mit der marinen Biosphäre lässt sich dieser Aspekt weltweit identifizieren.
- (ii) *Funktionen* sind die Leistungen der Biosphäre für das Erdsystem, die mit dem globalen Strahlungs- und Wasserhaushalt über ihre Albedo und Evapotranspiration verbunden sind. *Strahlungsthermostat (Karte 2)*: Aus dem Vergleich der jahreszeitlichen Albedoverteilungen lassen sich die Regionen identifizieren, wo die Albedo der Biosphäre im Jahresverlauf eine ne-

gative Rückkopplung zeigt, weil eine schwächere Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten zu einer geringeren Rückstrahlung führt. Es kommt zwar zu keiner völligen Kompensation, dennoch wird durch Blattfärbung und -fall und dem dann dunkleren Hintergrund des Bodens der Übergang zu den Wintermonaten energetisch ein wenig gemildert. *Wasserkreislauf (Karte 3)*: Die Transpiration der Pflanzen übersteigt die der abiotischen Prozesse bei weitem und trägt damit entscheidend zum Energie- und Nährstofftransfer im Erdsystem bei. Dieser Aspekt lässt sich durch die Verknüpfung von globalen Datensätzen der Evapotranspiration und des Blattflächenindex aufzeigen. Beide Größen sind notwendig, um die regionale biosphärische Transpirationsleistung global darzustellen.

- (iii) *Robustheit (Karte 4)* charakterisiert die lokale Sensitivität der Nettoprimärproduktion bei Änderung von Klimaelementen des Strahlungs- und Wasserhaushalts (bodennahe Lufttemperatur, Niederschlag etc.) als statistische Korrelation zwischen der NPP und Klima (hier mittels eines neuronalen Netzes an 62.000 Orten). Die Ergebnisse zeigen, in welchen Regionen der Welt die NPP relativ stabil gegenüber Klimaschwankungen ist bzw. wo bei geringen Klimaänderungen grosse Effekte zu erwarten sind.

Kritikalität biogeographischer Regionen (WBGU 2000): Eine Minimumverknüpfung aller Karten identifiziert dann diejenigen biogeographischen Regionen, die gleichermassen eine wichtige Funktion für das Erdsystem haben und sensibel auf eine Veränderung der Umweltbedingungen reagieren (Abbildung 5, Kreise 1 bis 7): (1) Im Nordwesten der USA wurde ein Ost-West-Streifen als kritisch identifiziert, der sich innerhalb der Rocky Mountains parallel zur kanadischen Grenze erstreckt. Die Vegetationstypen in dieser Region variieren zwischen borealem Mischwald, Nadelwald und Grassland und sind durch den Einfluss des Menschen, insbesondere in den Regionen um Seattle und Portland, durch Abholzung (Raubbau-) oder Zersiedlung (Suburbia-Syndrom) gefährdet. (2) Das atlantische Küstengebiet Amazoniens mit Guyana, Surinam und Brasilien stellt ebenfalls eine wichtige und fragile Region dar. Dort befinden sich ein von Abholzung gefährdeter tropischer Regenwald und bereits degradierte steppenähnliche Strauch- und Graslandgebiete. Der Küstenstreifen wird als Agrar- und Siedlungsland genutzt. Ähnlich schutzwürdig sind weite Bereiche Zentralbrasiliens und die Kordilliere Venezuelas. (3) Die kritischen Gebiete am Nordrand der Steppen Kasachstans liegen in einem Streifen nördlich des Kaspischen Meeres und der zentralasiatischen Wüsten. Dort befinden sich heute überwiegend hochproduktive Agrargebiete und kaum noch die ursprüngliche Steppe. (4 und 5) Die kritischen Gebiete in Afrika erstrecken sich in mehreren Streifen entlang der Sudanzone und der Übergangszonen zum Regenwald West- und Zentralafrikas, der ostafrikanischen Savannen, der Regenwaldrandgebiete im Süden des Kongo, in Moçambique und auf Madagaskar. Der Nutzungsdruck ist vergleichsweise hoch, aber die Bevölkerungsdichte bleibt mit Ausnahme des südlichen Nigerias noch auf einem niedrigem Niveau. Daher besitzen Land- und Forstwirtschaft in nahezu allen Regionen eine nur mittlere bis schwache Intensität. Es ist nur in Ausnahmegebieten wie den Küstenwäldern Westafrikas zu befürchten, dass eine Intensivierung der Nutzung zu einer schnellen Vernichtung der Biomfunktionen führen wird. (6) Der Süden Chinas und Indochina stellen eine hochverdichtete, kaum noch mit natürlicher Vegetation bedeckte Landfläche dar. Insbesondere die Bergregionen Vietnams, Laos, Südchinas, Thailands und Burmas sind aufgrund ihrer Regelungsfunktion für die Flüsse, ihrer hohen Biodiversität und ihrer Klimafunktionen als extrem bedroht einzustufen. (7) Der Osten Australiens besitzt ebenfalls hohen Schutzbedarf, weil die ursprüngliche Vegetation insbesondere im südlichen Teil durch Agrarfläche ersetzt worden ist. Dort besteht aufgrund des erreichten Wohlstandsniveaus allerdings die Möglichkeit, Eingriffe in die Biosphäre auf ein erträgliches Ausmass zu reduzieren.

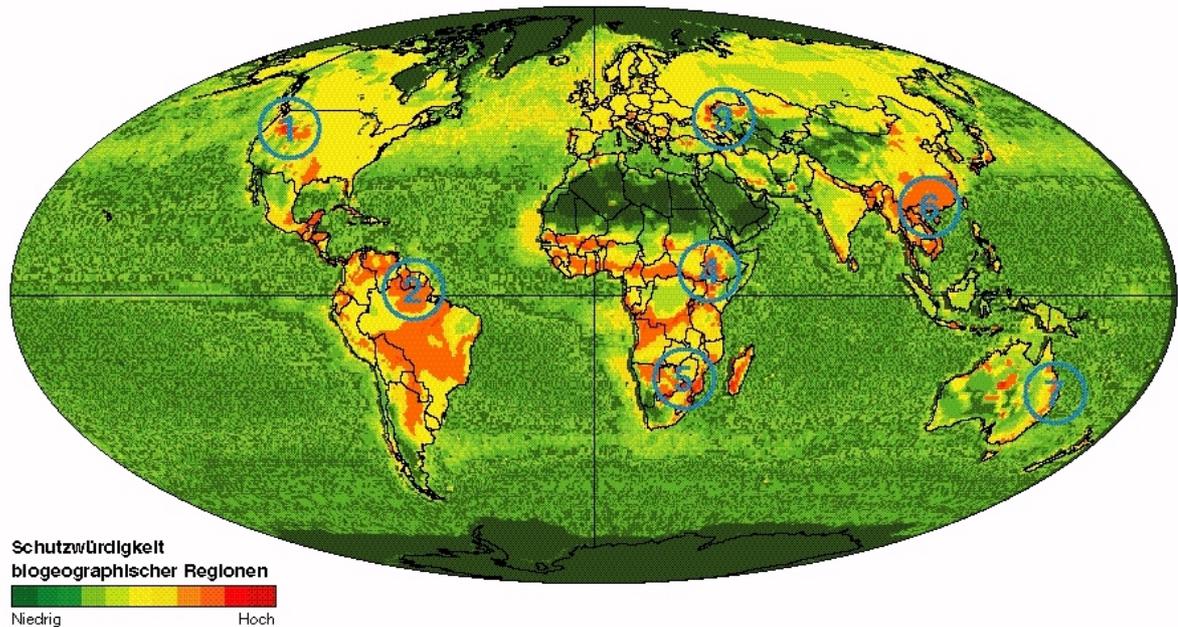


Abb. 5: Kritikalitätsanalyse: Biogeographische Regionen mit wichtiger Funktion für das Erdsystem und hoher klimatischer Sensitivität (WBGU 1999b).

3. Prognose: Risiken - ein Weg zur stochastisch-dynamischen Analyse

Die Menschheit ist einer kaum zählbaren Vielfalt von Risiken ausgesetzt. Ein Teil dieser Risiken ist mit natürlichen Abläufen und Ereignissen verbunden, andere sind aufgrund von menschlichen Aktivitäten entstanden oder verstärkt worden. Das grundsätzliche Dilemma besteht darin, dass alle menschlichen Aktivitäten mit unbeabsichtigten Nebenwirkungen verbunden sein können, gleichzeitig aber die Bedürfnisse des Menschen ohne derartige Aktivitäten nicht zu erfüllen sind.

Risiken einzugehen, ist also ein notwendiger Bestandteil menschlichen Verhaltens und damit erst die Voraussetzung für wirtschaftliche und soziale Entwicklung. Gleichzeitig aber ist eine Risikoanhäufung für eine Gesellschaft existenzgefährdend: Es gilt, einen Mittelweg zwischen Chancenwahrnehmung und Risikobegrenzung zu finden. Allerdings gibt es keine Rezepte, Risiken pauschal zu bewerten. Deshalb hat sich der Beirat entschlossen, neben Schadensausmass und Eintrittswahrscheinlichkeit weitere Bewertungskriterien für globale Risiken heranzuziehen: Ubiquität (weltweite Ausbreitung), Persistenz (Akkumulation über lange Zeit), Irreversibilität (Schäden ohne Ausgleich), Mobilisierung (Konfliktpotential und Ängstigung der Bevölkerung).

Mit der Einführung des Risiko-Konzeptes wird der Weg von der Diagnose zur Prognose (als Wahrscheinlichkeitsvorhersage) beschritten, da Risiken insbesondere durch die Schätzungen ihrer Eintrittswahrscheinlichkeiten und des Schadensausmasses charakterisiert werden. Allerdings sind prognostische Ansätze bereits im diagnostischen-Teil enthalten (und umgekehrt). Um das Vorhersagbarkeitsproblem nach K.R. Popper (1972) abzurunden, kommen notwendig noch die entsprechenden Fehlerschätzungen (ihre jeweiligen Varianzen) hinzu; etwas laxer ausgedrückt ist dies die Prognose der Vorhersagbarkeit.

3.1 Risiko-Typologie

Ähnlich wie es bei der Bewertung toxikologischer Risiken üblich ist, erscheint eine Aufteilung der verschiedenen Risiken in Risikotypen sinnvoll. Diese Einteilung ist von dem Grundanliegen getragen, typenspezifische Verfahrensweisen und Regeln zu entwickeln, die einen den Risiken angemessenen und dem Begrenzungsauftrag angepassten Umgang mit Risiken erlauben. Vor der Risikobewertung sind folgende Fragen zu beantworten:

(i) Sind Risiken einer Aktivität oder Technologie *bekannt*, mit begründetem Verdacht kausaler Beziehungen zwischen Risikoauslösung und möglichen Schäden oder *unbekannt*? Für nahezu oder völlig *unbekannte Risiken* sind die klassischen Vorsorgestrategien gefragt, die aus drei Teilen bestehen: eine vorsichtige, auf Eindämmung der Risiken ausgerichtete Weiterentwicklung der risikoezeugenden Aktivitäten, eine Stärkung der Resilienz betroffener Systeme und (Begrenzungsstrategie) eine Intensivierung der Forschungsanstrengungen, um in Zukunft eine eindeutige Einordnung in die verschiedenen Risikotypen zu ermöglichen und Nebenwirkungen frühzeitig zu erfassen, und schliesslich die Institutionalisierung eines Frühwarnsystems.

(ii) Liegt ein begründeter Verdacht zwischen Auslöser und Wirkung vor, so sind Schadenspotentiale weitgehend identifizierbar, Wahrscheinlichkeiten grob abschätzbar und es lassen sich Schadensausmass und Eintrittswahrscheinlichkeit mit ihren Varianzen verbinden (wie es in der technischen Risikoanalyse und Versicherungswirtschaft praktiziert wird). Damit stellt sich die Frage, ob es sich um ein Risiko aus dem *Normal-, Grenz- oder Verbotsbereich* handelt:

- Risiken im *Normalbereich* kennzeichnen folgende Eigenschaften: Geringe Ungewissheiten in Bezug auf die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Schäden, insgesamt eher geringes Schadenspotential mit geringer bis mittlerer *Eintrittswahrscheinlichkeit*, geringe *Persistenz* und *Ubiquität* (zeitlich-räumliche Ausdehnung), weitgehende *Reversibilität* potentiellen Schadens, geringe *Schwankungsbreiten* von Schaden und Eintrittswahrscheinlichkeit, geringes soziales *Mobilisierungspotential* (keine deutlichen Bewertungsdiskrepanzen zwischen Risikoträgern und Nutzengewinner).

Die Festlegung eines Normalbereichs führt zu einer innovationsfördernden Politik, bei der es möglich sein wird, Chancen und Risiken einander gegenüberzustellen und systematisch abzuwägen. Für Politiker signalisieren Risiken in diesem Bereich den "Routinefall", bei dem zumindest in Europa und in vielen anderen Ländern die bestehenden rechtlichen Vorschriften meist ausreichen. Hier könnte man sogar an zusätzliche Deregulierungsmassnahmen denken. Wie im nationalen Anwendungsbereich, sieht der Beirat bei Normalrisiken auch im internationalen Rahmen keinen unmittelbaren Handlungsbedarf. Problematischer ist dagegen der Fall, dass die Risiken Bereiche berühren, die über das alltägliche Ausmass deutlich hinausgehen.

- Das Risiko befindet sich im *Verbotsbereich*, wenn zu dem hohen Risiko auch noch ein geringer Nutzen oder eine geringe Chancenerwartung hinzukommen oder das Produkt der beiden Risikokomponenten extreme Ausmasse annimmt.

Dieser Bereich ist leicht zu handhaben. Im Verbotsbereich sind die zu erwartenden Folgen, die mit dem Eingehen eines Risikos verbunden sind, so gravierend, dass eine unbedingte Risikoreduktion zu erfolgen hat. Im Extremfall ist hier sofort mit einem Verbot oder mit einem Moratorium zu reagieren.

- Der *Grenzbereich* wird unter folgenden Bedingungen erreicht: Die Ungewissheit über die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Schäden ist hoch, das Schadenspotential ist hoch, die Eintrittswahrscheinlichkeit ist hoch - sie geht gegen 1, *Schwankungsbreiten* von Schadenspotential und Eintrittswahrscheinlichkeit sind hoch, *Persistenz*, *Ubiquität* und *Irreversibilität* sind

besonders hoch, wobei ein begründeter Verdacht einer kausalen Beziehung zwischen Auslöser und Folgen vorliegen muss, aus Gründen der wahrgenommenen Verteilungsgerechtigkeiten oder anderer sozialer und psychischer Faktoren ist mit einem grossen Konflikt- bzw. *Mobilisierungspotential* (Abwanderung, Verweigerung, Protest, Widerstand) zu rechnen. Mit einer dieser Voraussetzungen, befindet sich das Produkt von Wahrscheinlichkeit und Schaden im Grenzbereich.

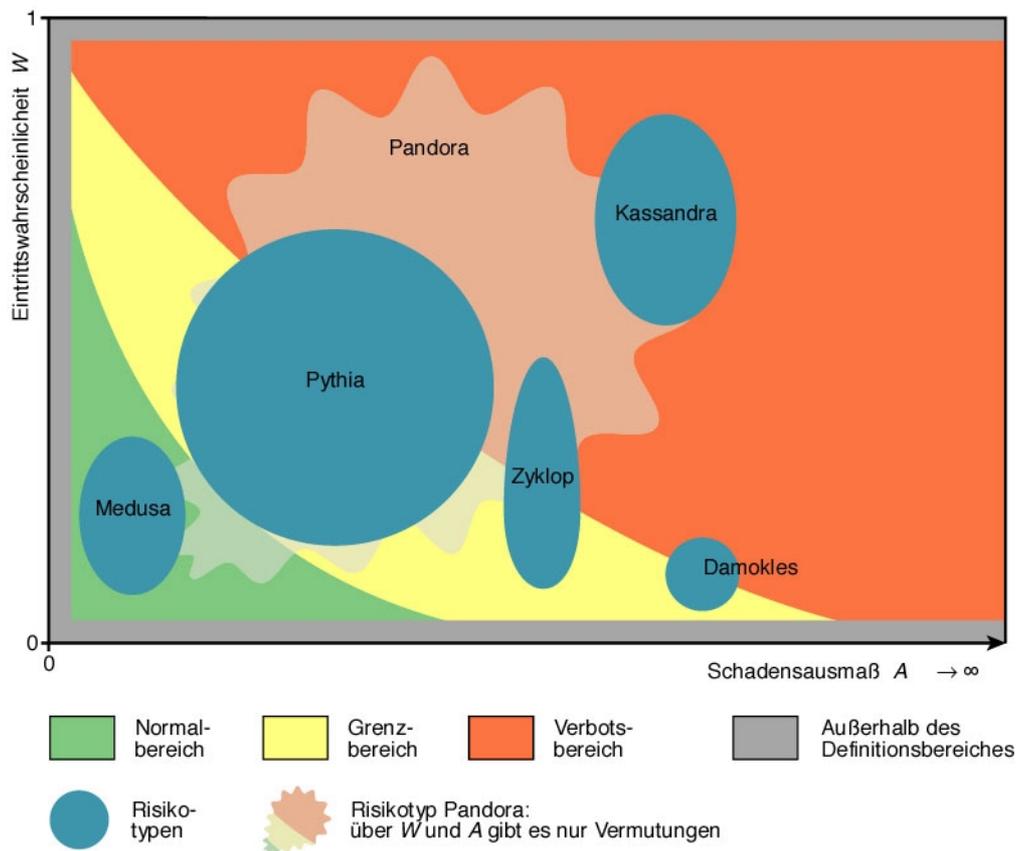


Abb. 6: Risikotypen im Normal, Grenz-, und Verbotsbereich (WBGU 1999a).

Problematisch ist der Umgang mit Risiken im Grenzbereich. Hier ist entweder mit relativ hohen hohen Ungewissheiten zu rechnen, oder eine der verschärfenden Bewertungsdimensionen ist eindeutig verletzt. Darunter fallen die Kriterien der *Irreversibilität* (Schäden sind nicht wieder zu beheben), der *Persistenz* (Schadstoffe akkumulieren sich über lange Zeit), der *Ubiquität* (Schadstoffe breiten sich weltweit aus) und der *Mobilisierung* (Risiken führen zu starken Konflikten und ängstigen die Bevölkerung).

- Der **Sonderfall** "Verzögerungswirkung" bezieht sich auf Risiken, die hohe Schadensausmasse mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit verbinden. Normalerweise werden solche Risiken erst gar nicht zugelassen und ohne grosse Diskussion im Verbotsbereich angesiedelt. Liegt jedoch zwischen dem auslösenden Ereignis und dem Schadenseintritt eine hinreichend grosse Zeitspanne, dann wird die Problematik eines solchen Risikos den Entscheidungsträgern oft nicht bewusst bzw. leicht verdrängt.

Tab. 4: Risiko-Typologie

ZYKLOP	"Rundaugen" waren in der antiken Mythologie einäugige Riesen, die mit nur einem Auge nur eine Seite der Wirklichkeit erfassen.
Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist weitgehend ungewiss, der mögliche Schaden hoch und bestimmbar: Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, Dürren oder Vulkanausbrüche sowie Seuchen oder krebserregende Stoffe in geringen Dosen.	
Eine übergreifende Strategie ist, Forschung und Beobachtung zu intensivieren, um Eintrittswahrscheinlichkeit und mögliche Schäden zukünftig besser abzuschätzen sowie die Fähigkeiten der Betroffenen zur Risikoabwehr und die internationale Katastrophenvorsorge zu verbessern. Hierzu ist besonders der "Rat für die Bewertung globaler Risiken" geeignet.	
PYTHIA	Blinde Seherin des Orakels von Delphi. Zwar wurde in Pythias Weissagungen deutlich, wenn grosse Gefahr drohte; genauere Umstände blieben jedoch verborgen und ihre Antworten letztlich unklar.
Wahrscheinlichkeit des Eintretens und mögliche Schäden sind ungewiss: Gentechnik und Eingriffe des Menschen in geozyklische Kreisläufe, abruptes Abschalten des Golfstroms.	
Hier eignen sich vielfach Fondslösungen, da Pythia-Risiken kaum versicherbar sind und deren Schadenshöhe globale Ausmasse annehmen kann. Vor allem sollte das Wissen in der Grundlagenforschung verbessert werden. Der Beirat empfiehlt eine Strategie der begrenzten Einführung von langlebigen Stoffen zu entwickeln und Überwachungssysteme einzurichten.	
DAMOKLES-SCHWERT	Damokles musste einst ein Gastmahl unter einem Schwert einnehmen, das nur an einem hauchdünnen Faden befestigt über ihm hing. Chance und Risiko hingen für Damokles eng zusammen.
Im Unterschied zu "Pythia" kann beim "Damokles-Schwert" der mögliche Schaden sehr hoch sein. Die Eintreff-Wahrscheinlichkeit ist sehr gering: Meteoriteneinschläge, Grosstechnologien (Chemie-, Kernkraftwerke, Megastaudämme).	
Drei zentrale Strategien: zunächst durch Forschung und technische Massnahmen das Katastrophenpotential reduzieren, dann die Resilienz des Systems gegen Überraschungen stärken und effektives Katastrophenmanagement sicherstellen.	
PANDORA	Die Büchse der Pandora enthielt Übel, die, solange die Büchse ungeöffnet blieb, keinen Schaden anrichten konnten. Sobald sie geöffnet wurde, konnten sich die Übel auf der ganzen Welt verteilen.
Die Auswirkungen dieser Risiken sind noch unbekannt bzw. es gibt bestenfalls Vermutungen über mögliche schädliche Wirkungen: die Zerstörung des stratosphärischen Ozons, das Schädlingsbekämpfungsmittel DDT, oder Monokulturen in der Landwirtschaft, die weltweite Verbreitung von chemischen Stoffen und ihre Anreicherung in Organismen.	
Hier eignen sich Entwicklung von Ersatzstoffen, Anwendungsbegrenzung langlebiger Stoffe mit unbekanntem Risikopotential auf überschaubare Räume und Risikostreuung durch Erhöhung der Vielfalt angewandeter Verfahren und eingesetzter Stoffe.	
KASSANDRA	Seherin der Troer, sagte eine Niederlage gegen die Griechen voraus, wurde von ihren Landsleuten aber nicht ernst genommen. Niemand wollte die erst in weiterer Zukunft liegende Bedrohung wahrhaben.
Zwischen der Verursachung und dem Schadenseintritt liegt eine relativ grosse Zeitspanne. Beispiel: langfristige Folgen des globalen Klimawandels; Stoffe mit mutagener Wirkung.	
Durch kollektive Selbstverpflichtung und Förderung langfristig angelegter globaler Institutionen, wie einem "Rat für die Bewertung globaler Risiken", die Verantwortung der Staatengemeinschaft für zukünftige Generationen stärken. Hierzu zählt auch die Information der Öffentlichkeit über die Folgen des Nichtstuns. Zur Reduktion dieser Risiken sind Mengenbegrenzungen, die Entwicklung von Ersatzstoffen, aber auch Zertifikatlösungen geeignet.	
MEDUSA	Eine von drei grausamen Gorgonenschwestern, deren Anblick allein schon einen Menschen zu Stein werden liess. Ähnlich wie die Gorgonen als nur imaginäre Sagengestalten Angst und Schrecken verbreiteten, so wirken auch manche neuartige Phänomene auf den modernen Menschen.
Die Gefahren werden öffentlich als weit grösser eingeschätzt, als sie wirklich sind. Z.B. die Sorge um krebserzeugende Wirkung ionisierender oder elektromagnetischer Strahlung geringer Konzentration, die statistisch nicht nachzuweisen ist.	
Bedarf für mehr Vertrauensbildung und Wissensverbesserung, um die verbleibenden Unsicherheiten auszuräumen. Denn die Betroffenen müssen bei der Abwägung von Risiken entscheiden, ob sie den oft wenig begründeten Ängsten in der Öffentlichkeit mehr Gewicht als den nachgewiesenen Schadenspotentialen beimessen.	

Solche Risiken sind eigentlich inakzeptabel, werden aber häufig politisch und sozial nicht als solche wahrgenommen. Fallen also bei der Beantwortung der zweiten Frage Risiken in den Grenzbereich, so steht die Ampel der Risikopolitik auf gelb und besondere Vorsicht ist angebracht. Jetzt kann eine Risiko-Typologie sinnvoll und angemessen eingeführt werden und man sollte dazu übergehen die Risiken bestimmten Risikotypen zuzuordnen.

- Die **Risiko-Typologie** legt spezifische Strategien zum Risikomanagement nahe. Tabelle 4 beschreibt für jeden Risikotyp den Bezug zur Vergangenheit (oben), die Erscheinungen des Globalen Wandels in der Gegenwart (mitte) und die Strategien für die Zukunft (unten). Ihre Lokalisierung ist in Abbildung 6 dargestellt.

3.2 Risiko-Dynamik

Ziel aller Massnahmen zur typenspezifischen Risikoreduktion ist die Überführung von Risiken aus dem Grenzbereich in den Normalbereich. Das heisst, es geht in der Risikopolitik nicht um eine Reduzierung der Risiken auf Null, sondern um eine Verlagerung der Risiken auf solche Grössenordnungen, bei denen die gängigen Methoden der Risiko-Nutzen Abwägung durch Marktteilnehmer und staatliche Regulatoren zum Einsatz kommen können. Globale Risiken, die sich im Normalbereich befinden, erfordern nicht notwendig internationale Anstrengungen zu ihrem Management; allerdings können Industrieländer Hilfestellung beim Aufbau von effektiv arbeitenden Regulationsbehörden, funktionierenden Versicherungsmärkten und effektiven Massnahmen zum Notfallschutz geben. Wird aber ein globales Risiko durch die beschriebenen Parameter als einer der auf dem Grenzbereich lokalisierten Risikotypen identifiziert, sind international wirksame Massnahmen notwendig, um das Risiko aus dem Grenz- in den Normalbereich zu überführen. Diese Überführung wird im Regelfall in mehreren Schritten erfolgen müssen. Selbst wenn einzelne Massnahmen erfolgreich sind, kann sich das Risiko von einem Typ zu einem anderen Typ bewegen, ohne direkt in den Normalbereich zu gelangen (Abbildung 7).

Dabei gibt es in der Regel zwei Typen von Massnahmen: (i) zum einen Wissensverbesserung (Forschung, ggf. Haftung), (ii) zum anderen regulative Massnahmen, die auf die jeweils typenspezifischen kritischen Grössen einwirken (Eintritts-Wahrscheinlichkeit, Schadensausmass, Irreversibilität, Persistenz, Verzögerungswirkung und Mobilisierung). Wie aus Abbildung 7 ersichtlich, führt Wissensverbesserung in der Regel zu einer Bewegung von einem Risikotyp zum anderen (etwa von Pandora zu Pythia, von Pythia zu Zyklon und von dort zu Damokles oder Medusa). So können Massnahmen, die an der jeweiligen kritischen Grösse ansetzen, eine Risiko-Dynamik initiieren oder direkt in den Normalbereich führen.

Beispiel zur "Risiko-Dynamik": Die Bewegung von einem Risikotyp zum anderen kann an einem fiktiven Beispiel erläutert werden. Ein Stoff, der global eingesetzt wird, bei dem eine hohe Persistenz vorliegt und irreversible Folgen begründet vermutet werden, ist gekoppelt mit einem Risiko der Kategorie Pandora. Sie ist im oberen Drittel des Grenzbereiches angesiedelt, wobei die Unsicherheit bis in die inakzeptable Zone reicht. Für ein Risiko diesen Typs lassen sich primär zwei Strategien einsetzen: Wissensvermehrung und Begrenzung des Risikopotentials.

(i) Das Wissen um das Risiko kann weiter quantifiziert werden, wobei sich möglicherweise der Verdacht auf irreversible Folgen oder hohe Persistenz erhärtet; dann wird das Risiko eindeutig in den Verbotsbereich überführt. Eine Substitution des Stoffes oder sogar ein Verbot ist dringend angeraten, um das Risikopotential einzuschränken. Ein Sonderfall liegt vor, wenn zwischen dem auslösenden Ereignis (Exposition von Menschen oder der Umwelt) und dem Schaden eine grosse Zeitspanne besteht, so dass politisch eine direkte Einflussnahme im Sinn eines Verbots oder einer Begrenzung wenig aussichtsreich ist. Dann liegt der Risikotyp der *Kassandra* vor. Um diesem Typ zu begegnen, bedarf es der Stärkung der Langfristverantwortung und der Mobilisierung der

wichtigsten Akteure, so dass die gebotene Strategie der Substitution oder zumindest der Begrenzung auch wirklich zum Zug kommt.

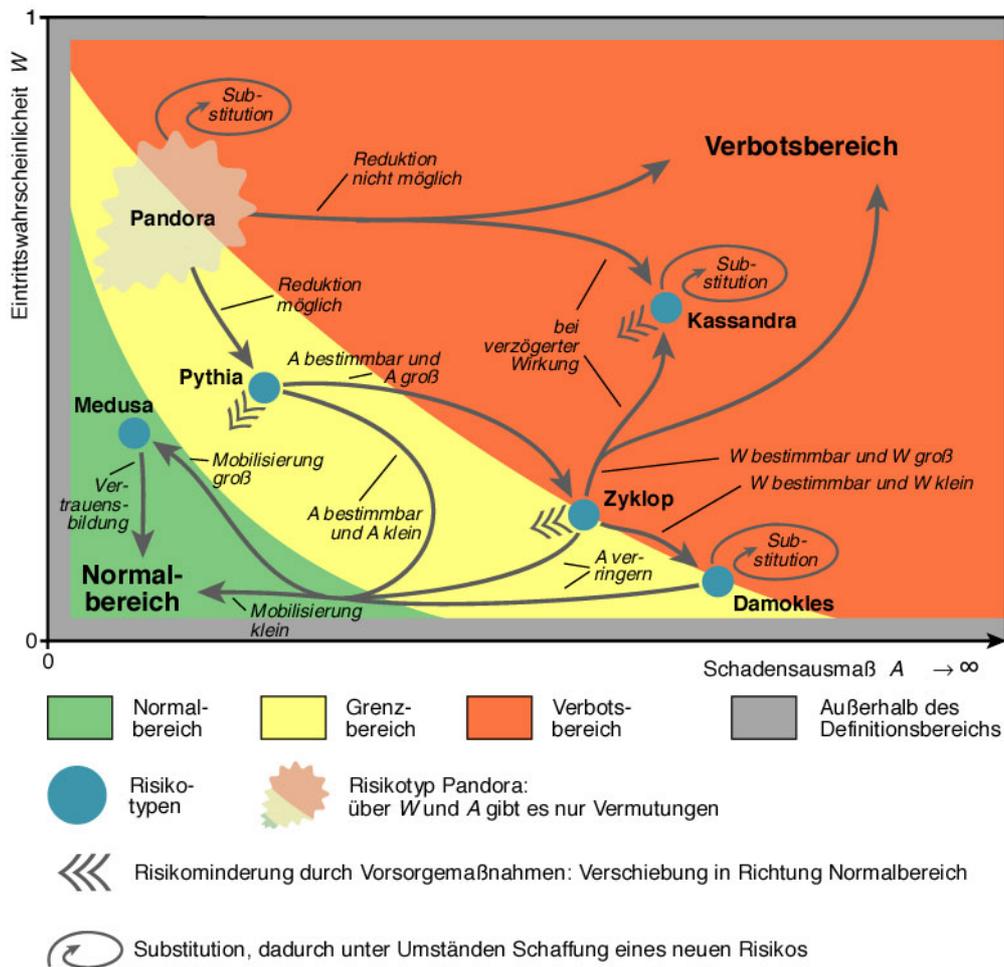


Abb. 7: Dynamik von Risiken im Normal, Grenz- und Verbotsbereich (WBGU 1999a).

(ii) Gelingt es, die räumliche Ausbreitung dieses Stoffs zu begrenzen und eine ubiquitäre Verteilung zu verhindern, so wird das Risiko in die Kategorie Pythia überführt, denn die Eintrittswahrscheinlichkeit sowie das Ausmass der Folgen sind beide noch mit hoher Ungewissheit verbunden. Deshalb muss das Schadensausmass eindeutiger bestimmt werden. Liegt (wie hier angenommen) der begründete Verdacht eines messbaren und hinreichend grossen Schadens vor, um eine Überführung in den Normalbereich auszuschliessen, setzt sich die Risiko-Dynamik auf den Typ *Zyklon* fort. Der Risikotyp *Zyklon* ist in Abbildung 6 ein zentraler Knotenpunkt, da sich von dort aus die Risiken in andere Typen wandeln können. Gelingt es z. B., die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts zu bestimmen und ist diese relativ gering, lässt sich das Risiko dem Typ *Damokles* zuordnen, der durch ein hohes Schadensausmass und eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit charakterisiert ist. Liegt dagegen die Wahrscheinlichkeit hoch, bewegt sich das Risiko, sofern ein Verzögerungseffekt auftritt, wiederum in Richtung auf *Kassandra*. Ohne diesen Verzögerungseffekt dürften ein Verbot oder eine schnelle Substitution erfolgen (Überführung in den Verbotsbereich). Lässt sich durch technische oder andere Massnahmen das Ausmass der Schäden auf ein "normales" Niveau reduzieren, steht einer Überführung in den Normalbereich nichts mehr entgegen. Bleibt das Katastrophenpotential aber trotz Reduzierungsmassnahmen sehr hoch, landet das

Risiko beim Typ *Damokles*. Auch hier kann einerseits durch Verbesserung des Wissens, andererseits durch Reduzierung des Katastrophenpotentials eine Überführung in den Normalbereich erfolgen. Versagen alle Mittel der Reduzierung, ist eine Grundsatzentscheidung zu treffen, ob man den Nutzen dieses Risikos als so hoch ansieht, dass man das hohe Schadenspotential in Kauf nimmt, da ja die Eintrittswahrscheinlichkeiten für einen Katastropheneintritt gering sind. Andernfalls wandert das Risiko in den Verbotsbereich. Die gewünschte Überführung in den Normalbereich kann bei allen Typen über den Risikotyp *Medusa* erfolgen, wenn bei dem hier beschriebenen Beispiel die Öffentlichkeit wenig Vertrauen in die angebliche Reduzierung des Schadenspotentials hat. Man braucht nur an die Probleme mit den Castor Transporten zu denken: Selbst wenn das gesundheitliche Risiko der Strahlung von Ausmass und Wahrscheinlichkeit als gering einzustufen ist, was bei den punktuellen Überschreitungen der Strahlendosen gerechtfertigt erscheint, so ist doch der Verlust in Bezug auf Glaubwürdigkeit und Zuverlässigkeit gross genug, um einen hohen politischen und psychologischen Mobilisierungseffekt hervorzurufen. Deshalb mögen sich viele Risikoregulatoren lieber für ein Verbot einsetzen, selbst wenn die Schadenshöhe und die Eintrittswahrscheinlichkeit ein Normalrisiko signalisieren, oft aus leidvoller Erfahrung mit öffentlichen Risikodebatten und ihren politischen Folgewirkungen. Hier sind vertrauensbildende Massnahmen und weitere Verbesserungen des Wissensstandes notwendig, um die Bevölkerung von der "Normalität" des Risikos zu überzeugen und gleichzeitig die Anlagebetreiber auf die gesetzlich vorgeschriebene Handhabung des Risikos zu verpflichten. Darüber hinaus ist kritisch zu prüfen, ob die eingeleiteten Massnahmen die gewünschte Begrenzung des Risikos herbeiführen.

4. Handlungsempfehlungen

Handlungsempfehlungen ergeben sich aus der Gegenüberstellung der gegenwärtigen Situation (ggf. politische Defizite) mit den Ergebnissen aus Diagnose, Prognose und deren Bewertung. Für die Zusammenstellung der Handlungsempfehlungen bietet sich der klassische Aufbau an, der zuerst die Handlungsgrundlage und deren Ziele (als ethisches Leitmotiv) darstellt, bevor Massnahmen und Instrumente zur Umsetzung im Bereich der ökonomischen, administrativen, wissenschaftlich-technischen und menschlichen Ressourcen eingeführt werden.

4.1 Normativ-ethisches Leitmotiv: Ökologischer Imperativ

Die Handlungsempfehlungen des Beirats orientieren sich prinzipiell, ungeachtet ihres kontextspezifischen Charakters, an gemeinsam entwickelten, normativen Leitlinien, die sich aus einem übergeordneten Leitbild für eine nachhaltige Entwicklung und damit für den "Guten Umgang mit Ökologie und Ressourcen" in einer Welt im Wandel ableiten lassen, wobei "grösstmögliche Effizienz unter Beachtung der Gebote von Fairness und Nachhaltigkeit" Bedingung für die Leitbildumsetzung ist (WBGU 1998). Operationalisieren und spezifizieren lässt sich das allgemeine Leitbild in jedem Gutachten mit Hilfe aller vorgestellten Analyseschritte. Sind einmal Leitbild und ökologische Imperative abgeleitet, so liefern sie ein Konzept für die nachhaltige Entwicklung, die die Natur- und Anthroposphäre miteinander verbindet. So können Bewertungen der jüngeren Entwicklung der internationalen Umweltpolitik auf dieser Grundlage erfolgen, und bestimmte Defizite ermittelt werden. Die erforderlichen Korrekturhandlungen liegen dann nicht immer auf der Hand und müssen, wie für die Schaffung vollkommen neuer Instrumente globaler Politik, zunächst vorgeschlagen werden. Die meisten politischen Empfehlungen sind jedoch direkte Schlussfolgerungen aus den vorangegangenen Ideen und Analyseergebnissen. Die Grundlagen dazu sind in "Umwelt und Ethik" (WBGU 1999) entwickelt worden. Sie münden in Schutzstrategien (Tabelle 4), die die Einführung kategorischer und kompensationsfähiger Gebote und Verbote sinnvoll erscheinen lassen, um den Umgang mit Biosphäre und anderen Komponenten zu gestalten.

4.2 Qualitative Bewertungen der Diagnose und Prognose

Das *Syndromkonzept* bietet mehrere Optionen: Zum einen lässt sich die Analyse soweit vorantreiben, dass die Anfälligkeit einer gegebenen Region für ein Syndrom bestimmt werden kann (Prävention). Zum anderen ergibt sich aufgrund der systemaren Einbeziehung von Ursachen, Mechanismen und Folgen als problemspezifisches Muster ein besseres Systemverständnis, womit fundiertere Empfehlungen zur Kuration von Syndromen möglich werden. Nicht zuletzt eröffnet das Konzept einen Weg zur Operationalisierung des Begriffs der nachhaltigen Entwicklung, womit allgemein eine akzeptable Koevolution von Natur- und Anthroposphäre gemeint ist.

Tab. 5: Schutzstrategien zur Durchsetzung kategorischer Leitplanken

<i>Noah</i>	Vollständiger Schutz unter starker Einschränkung jeglicher Nutzung.
<i>Censor</i>	Ausgewogenes Verhältnis zwischen Schutz und Nutzungsinteressen; extensive Nutzung soll mit dem Erhalt des Ökosystems einhergehen.
<i>Demiurg</i>	Intensive und gleichzeitig nachhaltige, auf Dauer angelegte Nutzung der Naturressourcen.

Der Analyserahmen von *Risikotypen* und die damit verbundene Massnahmendynamik sind Ansätze für ein logisch konsistentes und politisch praktikables Konzept, das der Bundesregierung und der Staatengemeinschaft helfen soll, das Augenmerk auf die Risiken zu legen, die sich zu globalen Bedrohungen ausdehnen können, während die Risiken aus dem Normalbereich im Rahmen nationaler Regulationsstrukturen gut aufgehoben sind. Die Konzentration auf das Wesentliche bildet des weiteren eine wichtige Botschaft an die Öffentlichkeit, die bei der allgemeinen Verwirrung über das Schadenspotential von Risiken Orientierung und Handlungssicherheit von Politik und Wissenschaft erwartet. Gleichzeitig können die Einteilung nach Risikotypen und die Anwendung der typenspezifischen Massnahmen eine effektive und zielgerechte Behandlung von Risiken erleichtern und Risikomanagern aus Wirtschaft und Politik Anleitungen zum rationalen Umgang mit Risiken vermitteln und damit zu einer dringend gebotenen Versachlichung der Diskussion beitragen.

Interdisziplinäre Bewertung: Die Ergebnisse aus den genannten, eher naturwissenschaftlich orientierten Schritten werden in jedem WBGU Gutachten durch Analysen ergänzt, in denen ökonomische, sozio-kulturelle, politische und philosophisch-ethische Aspekte problemlösungsorientiert erörtert werden. So fließen Angaben zu den Ausprägungen von Trends, Syndromen und kritische Grenzen der Belastungen von Ökosysteme in qualitative Bewertungen hinein.

4.3 Quantitative Bewertungen: Ermittlung von Leitplanken

Entsprechend dem den Beirat in seiner Arbeit leitenden Nachhaltigkeitsbegriff werden, um die globale Entwicklung zu charakterisieren, unerwünschte oder gefährliche Zustände im Umwelt-, Wirtschafts-, Sozial- und Kulturbereich definiert. Diese "Bereiche der Nicht-Nachhaltigkeit" sind durch "Leitplanken" (Grenzflächen in mehrdimensionaler Darstellung) vom Raum akzeptabler Handlungen abgegrenzt. Innerhalb des letzteren bleibt die Gesellschaft handlungsfähig, und es können freie Entscheidungen über die menschlichen Aktivitäten getroffen werden. Lediglich in der Nähe der Grenzflächen erhöht sich das Risiko und die Stabilität vermindert sich, während ein Aufenthalt des Zustands jenseits der Leitplanken unbedingt vermieden werden sollte. Die Komplexität des Systems und die oftmals nur unscharfe Datenlage führen dazu, dass "Leitplanken" nicht exakt definierbar sind. Eine Abschätzung ist jedoch oftmals möglich, wo der Forschungsstand noch keine Kriterien für eine quantitative Analyse zulässt. Sie sind daher eher im Sinne von

"Grenzzonen" mit unscharfen Rändern zu verstehen. Da die Festlegung dieser Zonen vom jeweiligen Kenntnisstand, von den herrschenden Wertvorstellungen, dem Grad der Partizipation im politischen Prozess und der Risikobereitschaft der Bevölkerung abhängt, ist ihr Verlauf auch einem zeitlichen Wandel unterworfen. Die Aufgabe der Steuerung des Erdsystems ist es nun, ein Abgleiten in die Bereiche jenseits der Grenzzonen zu verhindern.

Beispiel: Als Beispiel für diesen prinzipiellen Ansatz kann das Klimaschutz-Szenario des Beirats dienen, in dem globale CO₂ Reduktionsziele abgeleitet werden (WBGU 1995). Hierfür werden zunächst Grenzen definiert, innerhalb derer sich die globale Klimaentwicklung bewegen muss, wenn allgemeine Prinzipien wie die "Bewahrung der Schöpfung" nicht verletzt werden sollen. So entsteht ein "tolerierbares Fenster" für das globale Klimasystem, dessen Beachtung inakzeptable Konsequenzen für Mensch und Umwelt ausschliesst. Unter der Prämisse, dass ein Verlassen dieses Klimafensters nicht erlaubt ist (da nicht nachhaltig), können die künftig notwendigen CO₂ Emissionsminderungen direkt berechnet werden. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass ein problemorientierter systemarerer Ansatz letztlich auch die Operationalisierung des Begriffs der nachhaltigen Entwicklung erleichtert. Für die Umsetzung des Leitplankenmodells bietet das Syndromkonzept einen besonders guten Ansatzpunkt: Nachhaltige Entwicklung lässt sich dann als Abwesenheit bzw. Linderung von Syndromen beschreiben. In bezug auf diesen (utopischen) Idealfall können regional existierende Syndrome bewertet werden, indem über Indikatoren ihr "Abstand" vom Desiderat bestimmt wird.

5. Ein Ausblick

Die Analogie zur wissenschaftlich fundierten Wettervorhersage ist mein Leitmotiv für diesen Überblick der siebenjährigen Arbeit des WBGU an der Politikberatung zum Globalen Wandel. Um den täglichen Wetterbericht oder die saisonalen Langfrist-Prognose für Kunden zu erstellen, muss zuerst die globale Situation diagnostiziert werden (zum Beispiel über die Identifikation und kritische Analyse der Grosswetter-Lagen und ihrer Trends); dann erst können Prognose-Hilfen (numerische und statistische Modelle) eingesetzt werden, um das eigentlichen Produkt, den Wetterbericht, zu veröffentlichen. Sinnvoll wird dieses Produkt als Wahrscheinlichkeitsaussage formuliert und liefert damit Handlungsempfehlungen, in die das Vertrauen in die eigentliche Prognose quantitativ eingeflossen ist. Das setzt Abnehmer in die Lage, Nutzen-Kosten-Abwägungen durchzuführen und danach zu entscheiden. Der Beirat hat in seinen bisherigen Gutachten die wissenschaftlichen Grundlagen für ein entsprechendes Vorgehen bei globalen Veränderungen der Umwelt gelegt und dieses auch praktiziert. Um zu den Handlungsempfehlungen zu gelangen, sind innovative Methoden der Diagnose globaler Umweltveränderungen (Symptome, Syndrome, Kritikalität im Rahmen der System-Analyse) sowie Prognose-Hilfen (wie zum Beispiel die Risiko-Typologie) entwickelt worden. Ausserdem sind die Grundlagen zur adäquaten ethisch-normativen Einbettung der Handlungsempfehlungen notwendiger Bestandteil einer Politikberatung. Wie beim Wetterbericht enthalten die Handlungsempfehlungen kein "multiple choice" Angebot für "policy-maker" sondern dienen der geeigneten Nutzen-Kosten-Abwägung einer Regierung, die von den Fachressorts der Ministerien zu leisten ist.

Zurück zur Wetterprognose: Erstmals sind bereits Nahe der Wende des letzten Jahrhunderts Wetterberichte vom Government-Astronomer Cooke in Western Australia als Wahrscheinlichkeit-Prognosen erstellt und evaluiert worden. Vielleicht können wir in Australien zu einer ähnliche Rolle in der Politikberatung zum Globalen Wandel gelangen und wissenschaftlich neue Ansätze entwickeln, sozusagen in guter Tradition innovativer Kundenberatung erwarteter lokaler Wetter-Wechsel im Goldfield-District West-Australiens.

Danksagung

Frau Lenelis Kruse-Graumann und Herrn Paul Velsing (beide WBGU) bin ich für die kritische Durchsicht des Vortragsmanuskripts sehr dankbar.

Literatur

Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Jahresgutachten 1993. Economica Verlag, Bonn, 224S.

Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Jahresgutachten 1994. Economica Verlag, Bonn, 278S.

Szenario zur Ableitung globaler CO₂-Reduktionsziele und Umsetzungsstrategien. Stellungnahme zur ersten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Berlin. Bremerhaven: WBGU (1995).

Welt im Wandel: Wege zur Lösung globaler Umweltprobleme. Jahresgutachten 1995. Springer, Berlin, 247S.

Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft. Jahresgutachten 1996. Springer, Berlin, 201S.

Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser. Jahresgutachten 1997. Springer, Berlin, 419S.

Ziele für den Klimaschutz 1997. Stellungnahme zur dritten Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention in Kyoto. Bremerhaven, WBGU (1997).

Die Anrechnung biologischer Quellen und Senken im Kyoto-Protokoll: Fortschritt oder Rückschlag für den globalen Umweltschutz? Bremerhaven, WBGU (1998), 76S.

Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten 1998. Springer, Berlin, 350S.

Welt im Wandel: Umwelt und Ethik. Metropolis-Verlag, Marburg (1999), 149S.

Welt im Wandel: Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Jahresgutachten 1999. Springer, Berlin, 482S.

Welt im Wandel: Neue Strukturen globaler Umweltpolitik. Jahresgutachten 2000. Springer, Berlin, 223S.

Deutscher Bundestag (1999): Drucksache 14/837. Beschlussempfehlung und Bericht des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zu der Unterrichtung durch die Bundesregierung: - Bericht der Bundesregierung zum Jahresgutachten 1997, Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996): Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-technical analysis. Contributions of working group II to the second assessment report of the IPCC. - Cambridge, New York: Cambridge University Press.

Popper, K. R. (1972): Of Clocks and Clouds. From: Objective Knowledge. - At the Clarendon Press: Oxford, 206-255.

Kontakt: <http://www.wbgu.de>