

PIK Report

No. 71

GIS-GESTÜTZTE ANALYSE GLOBALER MUSTER
ANTHROPOGENER WALDSCHÄDIGUNG

EINE SEKTORALE ANWENDUNG
DES SYNDROMKONZEPTS

Martin Cassel-Gintz



POTSDAM INSTITUTE
FOR
CLIMATE IMPACT RESEARCH (PIK)

Eingereicht als Dissertationsarbeit
am Fachbereich Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin im Dezember 2000

Autor:
Dr. Martin Cassel-Gintz
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.
PF 60 12 03, D-14412 Potsdam
Tel.: +49-331-288-2579
Fax: +49-331-288-2640
E-mail: Martin.Cassel@pik-potsdam.de

Herausgeber:
Dr. F.-W. Gerstengarbe

Technische Ausführung:
U. Werner

POTSDAM-INSTITUT
FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG
Telegrafenberg
Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam
GERMANY

Tel.: +49 (331) 288-2500
Fax: +49 (331) 288-2600
E-mail-Adresse: pik@pik-potsdam.de

POTSDAM, JUNI 2001

Abstract

The global forest ecosystems play an important role in the global carbon cycle and in the preservation of biological diversity. The dissertation presents a qualitative analysis of non-sustainable civilisation-nature interaction patterns relevant for global deforestation and forest degradation. Since this problem is closely linked to other core problems of Global Change (GC), e.g. Soil Degradation, World Food security, Climate Change, etc., it is not to be tackled separately. Therefore a novel transdisciplinary approach to analyse non-sustainable civilisation nature interactions in the context of GC is utilised in the investigation. The approach rests on the decomposition of the intricate dynamics of GC into patterns of problematic civilisation nature interactions ("Syndromes") by an iterative process of observations, data and system theoretical analysis, and GIS based modelling attempts. These Syndromes characterise endangering and risky developments of civilisation nature interaction and represent a baseline for measuring and indicating 'non-sustainability' - in order to have a sustainable development it is necessary to have a far-reaching absence of Syndromes. The patterns are defined as characteristic constellations of interacting socio-economic and physical phenomena ("Symptomes" of GC), which build complex dynamical systems of civilisation-nature interaction. The cause-effect schemes of Symptomes and their interrelations are constituted as complex phenomena resulting from interactions over the different spheres of the Earth System. The approach is illustrated by a detailed analysis of those civilisation nature interaction patterns relevant for global deforestation.

Human activities cause a wide extent of deforestation and threaten the important role of the remaining global forest within the earth system. Global deforestation and forest degradation is made up by a limited number of cause effect patterns observed in different parts of the world. The main syndromes identified causing large scale deforestation are:

- The overexploitation of natural ecosystems - the OVEREXPLOITATION SYNDROME. Examples of this pattern are the exploitation of forests for timber or fuelwood and charcoal.
- The rural poverty driven overuse of natural resources - the SAHEL SYNDROME. Examples are the exploitation of forests via slash and burn cultivation by smallholders, particular in tropical developing countries.
- Non-sustainable agro-industrial use of soils and bodies of water - the DUST BOWL SYNDROME. Examples are the conversion of forest for large cattle farming or cash crop agriculture.

Besides these mayor cause-effect schemes of global deforestation, there are several other Syndromes that contribute on a minor scale, e.g. the development and destruction of nature for recreational ends (MASS TOURISM SYNDROME), the environmental damage of natural landscapes as a result of large-scale projects like dams (ARAL SEA SYNDROME), the environmental degradation related to mining and extraction of non-renewable resources (KATANGA SYNDROME) or the environmental degradation through large-scale diffusion of long-lived substances (SMOKESTACK SYNDROME) as in the case of acid rain.

The geographical analysis of a Syndrome is performed in several steps integrating GIS with concepts of fuzzy logic and qualitative reasoning. In the first step a syndrome specific network of interactions is formulated by analysing case studies, theories and expert assessments. Based on this systemic representation the natural and socio-economic conditions under which the syndrome specific mechanisms can be active are identified. This evaluation is called the disposition of a region towards a specific Syndrome. The resulting indicator can be used as an early warning indicator for the possible germination of a non-sustainable development. Based on the constituting elements of the Syndrome, a complex indicator for the intensity of the active Syndrome is derived in the next step of the analysis. This indicator assesses the critical states in the dynamical evolution of the non-sustainable patterns of civilisation nature interaction.

Complete Syndrome analyses are performed for the main Syndromes of deforestation. The resulting spatial distribution of the combined dispositions and intensities of the different Syndromes present a unique global assessment describing the current damage and future regional threats to forests by their underlying global cause-effect patterns of civilisation-nature interaction. Specially the assessment of the threat by coupling of momentarily active and potentially active cause-effect patterns provides a previously not achieved systematic insight into the complex interaction of different patterns of global deforestation and forest degradation.

Kurzzusammenfassung

Die globalen Waldökosysteme spielen eine wichtige Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf und in der Erhaltung der biologischen Vielfalt. Die vorliegende Dissertation befasst sich mit der räumlichen Analyse der globalen Entwaldungsproblematik. Da diese Problematik auf komplexe Weise mit weiteren Kernproblemen der globalen Entwicklung verknüpft und damit nicht isoliert zu behandeln ist, wird ein neuer, transdisziplinärer Ansatz zur Analyse nicht-nachhaltiger Zivilisation-Natur-Interaktionsmuster des Globalen Wandels (GW) genutzt. Der Ansatz beruht auf der Zerlegung der komplexen Dynamik des GW in Muster problematischer Zivilisations-Natur-Interaktionen („Syndrome“) durch einen iterativen Prozess von Beobachtung, Daten- und systemtheoretischen Analysen sowie GIS-gestützter Modellierung. Die Syndrome stellen eine Grundlage zur Indizierung von Nicht-Nachhaltigkeit dar - für eine nachhaltige Entwicklung ist die weitreichende Abwesenheit von Syndromen erforderlich. Sie umfassen die wesentlichen Kernprobleme des GW und sind als charakteristische Konstellationen von dynamisch interagierenden sozioökonomischen und naturräumlichen Phänomenen („Symptome“ des GW) definiert. Diese Ursache-Wirkungsschemata aus Symptomen und Wechselwirkungen sind von Beginn an als komplexe Phänomene über die einzelnen Sphären des Erd-Systems hinweg formuliert. Dieser neue Beschreibungsansatz für GW-Prozesse wird unter Verwendung von Konzepten der Fuzzy-Logik und GIS-gestützten Analysen zur Identifikation und Verortung der kausalen Wirkungsmechanismen der Entwaldungsmuster angewandt.

Zivilisatorische Aktivitäten haben große Waldverluste verursacht und bedrohen die wichtige Rolle der verbliebenen Waldökosysteme (C-Speicher, Erhalt der Biodiversität) im Erd-System. Entwaldung und Waldschädigung werden durch eine kleine Anzahl verschiedener Ursache-Wirkungsmuster verursacht. Die Haupt-Syndrome der Entwaldung sind:

- Raubbau an natürlichen Ökosystemen: Das RAUBBAU-SYNDROM. Beispiele sind die Übernutzung von Wäldern für die Holz- und Papierindustrie, sowie für die Brennholz- und Holzkohlegewinnung.
- Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte: DAS SAHEL-SYNDROM. Ein Beispiel ist der Brandrodungswanderfeldbau durch Kleinbauern in Entwicklungsländern.
- Nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern: Das DUST-BOWL-SYNDROM. Beispiele sind die Konversion von Wäldern für Rinderfarmen oder „cash-crop“-Landwirtschaft.

Neben den Hauptsyndromen sind weitere Muster zu einem kleineren Teil an der globalen Entwaldungsproblematik beteiligt. Diese Syndrome umfassen z. B. die Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke, die Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten wie Dämmen, die Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen oder die Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen wie im Fall des „Sauren Regens“.

Die geographische Analyse eines Syndroms erfolgt in mehreren Schritten unter Integration von GIS mit Konzepten der Fuzzy-Logik und des „*Qualitative Reasonings*“. Im ersten Schritt wird durch die Analyse von Fallstudien, Theorien und Expertenwissen ein syndromspezifisches Beziehungsgeflecht erstellt. Ausgehend von dieser systemischen Darstellung werden die naturräumlichen und sozioökonomischen Bedingungen, unter denen der Syndrommechanismus aktiv sein kann bestimmt. Diese Abschätzung wird als die Disposition einer Region gegenüber einem Syndrom bezeichnet. Der so erzeugte Indikator kann als ein Frühwarnsystem für das Einsetzen einer nicht-nachhaltigen Entwicklung genutzt werden. Basierend auf den das Syndrom konstituierenden Elementen wird ein Indikator für die Intensität des aktiven Syndroms abgeleitet.

Für die Hauptsyndrome der Entwaldung werden vollständige Syndromanalysen durchgeführt, auf deren Basis erstmals weltweit die regionale Schädigung und Gefährdung der Wälder durch die systematische Untersuchung der unterliegenden globalen Ursache-Wirkungsmuster qualitativ bestimmt werden konnte. Vor allem die Gefährdung durch eine mögliche Kopplung zwischen noch nicht aktiven, aber durch bereits ablaufende Prozesse exponierten Degradationsmustern, wird hier erstmalig systematisch untersucht und stellt eines der herausragenden Ergebnisse dieser Arbeit dar.

Inhaltsverzeichnis

Abstract

Kurzzusammenfassung

Vorwort

Teil I: Das Syndromkonzept

1	Einleitung	1
1.1	<i>Projektgenese</i>	1
1.2	<i>Der Globale Wandel</i>	2
1.3	<i>Die Notwendigkeit für einen neuen Zugang zur Analyse der Prozesse des Globalen Wandels</i>	9
1.4	<i>Nachhaltige Entwicklung</i>	12
2	Modellierungsansätze zur Analyse Globaler Umweltveränderungen	17
2.1	<i>Globale Ansätze</i>	19
2.2	<i>Regionale Ansätze</i>	25
2.3	<i>Lokale Ansätze</i>	28
2.4	<i>Defizite der bisherigen Herangehensweisen</i>	31
3	Das Syndromkonzept	33
3.1	<i>Grundlegende Elemente des Syndromkonzepts</i>	36
3.1.1	<i>Symptome des GW</i>	38
3.1.2	<i>Wechselwirkungen zwischen Symptomen</i>	40
3.1.3	<i>Syndrome als funktionale Muster des Globalen Wandels</i>	42
3.2	<i>Die Syndromanalyse</i>	47
3.2.1	<i>Konzepte zur Syndromdiagnose</i>	47
3.2.2	<i>Syndromkopplungen</i>	52
	Teil II: Syndrombasierte Analyse der globalen Entwaldungsproblematik	55
4	„Entwaldung“ - ein Kernproblem des Globalen Wandels	57
4.1	<i>Die Wälder der Erde</i>	57
4.1.1	<i>Waldflächenänderung in neuerer Zeit</i>	59
4.2	<i>Bedeutung der Wälder</i>	61
4.2.1	<i>Globale Klimafunktion der Wälder</i>	62
4.2.2	<i>Biodiversitätsfunktion der Wälder</i>	63
4.3	<i>Bisherige Forschungsansätze zur Analyse der Entwaldung</i>	64
5	Syndromanalyse der globalen Entwaldungsproblematik	66
5.1	<i>Raubbau an natürlichen Ökosystemen - Das RAUBBAU-SYNDROM</i>	66
5.1.1	<i>Allgemeine Charakterisierung des Syndroms</i>	66
5.1.2	<i>Der Mechanismus des RAUBBAU-SYNDROMS</i>	69
5.1.3	<i>Disposition von Waldökosystemen für das RAUBBAU-SYNDROM</i>	80

5.1.4	Abschätzung der Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS.....	87
5.2	<i>Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte - Das SAHEL-SYNDROM.....</i>	95
5.2.1	Allgemeine Charakterisierung des Syndroms.....	95
5.2.2	Der Mechanismus des SAHEL-SYNDROMS	95
5.2.3	Bedeutung des Syndroms für die globale Entwaldungsproblematik	100
5.2.4	Disposition des SAHEL-SYNDROMS	101
5.2.5	Intensität des SAHEL-SYNDROM	109
5.3	<i>Nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern - Das DUST-BOWL-SYNDROM.....</i>	118
5.3.1	Allgemeine Charakterisierung des Syndroms.....	118
5.3.2	Der Mechanismus des DUST-BOWL-SYNDROMS	119
5.3.3	Dispositionsmessung	122
5.3.4	Intensitätsbestimmung	125
5.4	<i>Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke - Das MASSENTOURISMUS-SYNDROM</i>	128
5.5	<i>Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten - Das ARAL-SEE-SYNDROM.....</i>	128
5.6	<i>Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen - Das HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM.....</i>	130
5.7	<i>Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen - Das KATANGA-SYNDROM... </i>	131
6	Aggregierte Gefährdung der Waldökosysteme	132
6.1	<i>Analyse der Syndrommechanismen</i>	132
6.2	<i>Syndrombasierte aggregierte Gefährdungsindikatoren</i>	134
6.2.1	Die aggregierte Gesamtgefährdung der Waldökosysteme.....	134
6.2.2	Abschätzung der aktuellen Schädigung und Gefährdung der Waldökosysteme.....	135
6.2.3	Abschätzung der zukünftigen Gefährdung von Waldökosystemen durch Kopplungsmechanismen.....	144
7	Zusammenfassung	150
7.1	<i>Ausblick.....</i>	152
Anhang I.....		160
Literatur.....		160
Danksagung		

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitreihe der atmosphärischen CO ₂ und CH ₄ Konzentrationen sowie der Abweichung von der mittleren Ortstemperatur über die letzten 400 000 Jahre.....	4
Abbildung 2: Zustand der anthropogenen Bodendegradation - GLASOD.	4
Abbildung 3: Prognostiziertes Bevölkerungswachstum nach Regionen bis 2050.....	7
Abbildung 4: Pro Kopf Einkommen nach Regionen in PPP \$ 1970 - 91.....	9
Abbildung 5: Ursache-Wirkungsketten.	11
Abbildung 6: Herangehensweise zur Identifikation und der Syndrome des GW.....	37
Abbildung 7: Zuordnungsmatrix für Beiträge von Syndromen zu Kernproblemen des GW.....	45
Abbildung 8: Generalisierte Karte der Verteilung der a) Waldtypen und b) Waldverluste	58
Abbildung 9: Historische Waldverluste a) nach Waldtypen; b) nach Regionen.	59
Abbildung 10: Rückgang der natürlichen Waldbedeckung von 1960 - 1990.	60
Abbildung 11: Syndromspezifisches Beziehungsgeflecht des Raubbau-Syndroms.....	71
Abbildung 12: Das RAUBBAU-SYNDROM als auslösendes Element für das SAHEL-SYNDROM und das DUST-BOWL-SYNDROM.	79
Abbildung 13: Fuzzyfizierung von Dispositionsvariablen im RAUBBAU-SYNDROM.....	83
Abbildung 14: Darstellung der Verknüpfung mit einem min-max-Kompensations-Operator K_{γ}	84
Abbildung 15: Fuzzy-Logischer Bewertungsbaum für das RAUBBAU-SYNDROM.	84
Abbildung 16: Disposition gegenüber dem RAUBBAU-SYNDROMS.....	85
Abbildung 17: Graphik zur Abschätzung des Grades u der Waldnutzung zur Holzgewinnung ohne Konversion der Waldfläche am Beispiel Brasiliens.	89
Abbildung 18: Vorherrschende Typen des RAUBBAU-SYNDROMS in länderweiter Darstellung.	89
Abbildung 19: Fuzzyfizierung von Variablen.	91
Abbildung 20: Globale Verteilung des Symptoms <i>Übernutzung biologischer Ressourcen</i>	91
Abbildung 21: Fuzzyfizierung von Variablen.	92
Abbildung 22: Indikator für <i>Politikversagen</i> im Hinblick auf den Schutz Waldressourcen.	93
Abbildung 23: Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS.	94
Abbildung 24: Kernmechanismus des SAHEL-SYNDROMS.	96
Abbildung 25: Fuzzyfizierung der Ausgangsvariablen.	105
Abbildung 26: Fuzzyfizierung der Ausgangsvariablen.	106
Abbildung 27: Bewertungsbaum der SAHEL-SYNDROM Disposition.....	107
Abbildung 28: Disposition gegenüber dem SAHEL-SYNDROMS.	108
Abbildung 29: Fuzzyfizierung der Elemente der SAHEL-SYNDROM Intensität.....	114
Abbildung 30: Intensität des SAHEL-SYNDROMS für den Zeitraum von 1985 - 1992.	115
Abbildung 31: SAHEL-SYNDROM Konsistenzabschätzung.	115
Abbildung 32: Kern des DUST-BOWL-SYNDROMS.....	121
Abbildung 33: Fuzzyfizierung der Ausgangsvariablen.	123
Abbildung 34: Bewertungsbaum zur Erzeugung einer DUST-BOWL-SYNDROM Disposition.	124
Abbildung 35: Disposition gegenüber dem DUST-BOWL-SYNDROM.....	124
Abbildung 36: Bewertungsbaum zur Bestimmung der Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS.....	126
Abbildung 37: Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS.	127

Abbildung 38: <i>GI</i> - indirekter Gesamtgefährdungsindikator durch die Hauptsyndrome der Entwaldung. .	135
Abbildung 40: Datenunsicherheit in der Aussage der aggregierten Waldgefährdungsindikatoren.	136
Abbildung 42: <i>AGI</i> - aktueller Schädigungs- und Gefährdungsindikator in Bezug auf die globalen Waldgebiete; a) untere Abschätzung; b) obere Abschätzung.	137
Abbildung 44: Prozentuale Gefährdung der globalen Primärwälder.	139
Abbildung 46: Abschätzung der zukünftigen Gefährdung für Waldökosysteme durch Syndromkopplung. a) <i>UGIK</i> - untere Abschätzung; b) <i>OGIK</i> - obere Abschätzung.	147
Abbildung 48: Zugehörigkeitsfunktionen.....	155
Abbildung 49: Trapezförmige Zugehörigkeitsfunktion für die Menge der „warmen Tage“.	156
Abbildung 50: Venn-Diagramm für einfache boolesche Verschneidungsoperationen.	156
Abbildung 51: Nicht-kompensatorische min-max-Operatoren.	157
Abbildung 52: UND-Verknüpfung nach Lukasiewicz (\wedge).	158
Abbildung 53: Darstellung des γ -Operators.	159
Abbildung 54: Darstellung eines min-max-Kompensationsoperator.....	159

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von „ <i>Integrated Assessment</i> “ Modellen	18
Tabelle 2: Definitionen der Grundbegriffe des Syndromkonzepts	37
Tabelle 3: Globale Symptom-Sammlung	39
Tabelle 4: Wechselwirkungen zwischen Symptomen und deren Symbolisierung.....	41
Tabelle 5: Liste der Syndrome des Globalen Wandels.....	44
Tabelle 6: Die Bedeutung des Ökosystems Wald für der Menschen.	61

Was ist **Geographie**?

Geographie *erfasst und erklärt die Grundlagen der Erde und die vielfältigen sozialen und wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen. Sie fragt nach den Kräften und Wechselwirkungen, welche die natürliche Gestaltung der Erdoberfläche, die verschiedenen Lebensformen des Menschen und die Dynamik ökologischer und ökonomischer Systeme bestimmen.*

Geographie *analysiert die gegenseitigen Abhängigkeiten von Mensch und Umwelt und die Folgen für die weitere Entwicklung der Städte und der freien Landschaft. Sie sucht Wege zur Verbesserung dieser spannungsreichen Beziehung.*

Geographie *verbindet den naturwissenschaftlichen mit dem sozialwissenschaftlichen Blick! Ihr Horizont ist deshalb weit, und sie kann übergreifende Zusammenhänge in einer komplexen Welt erfassen.*

Aus der Homepage des Geographischen Instituts der Universität Hannover.
http://www.geog.uni-hannover.de/Geographie/was_ist_geographie_.html

Vorwort

Die vorliegende Dissertation ist inhaltlich in zwei Teile gegliedert. Im ersten, methodischen Teil wird das Syndromkonzept, ein neuartiges Konzept zur Beschreibung und Modellierung der dynamischen Prozesse des Globalen Wandels (GW), vorgestellt. Dieser methodische Ansatz wurde, ausgehend von einer Idee des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung „Globale Umweltveränderungen“ (WBGU), unter meiner Mitarbeit im Laufe der letzten 6 Jahre in der interdisziplinären Projektgruppe QUESTIONS¹ am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) entwickelt. Diese sechsköpfige Projektgruppe setzt sich im Kern aus Natur- und Sozialwissenschaftlern sowie einem Geographen, dem Verfasser dieser Dissertation, zusammen. Vor diesem Hintergrund stellt der erste Teil der Dissertation die Resultate unserer gemeinsamen Forschungsarbeit der letzten 6 Jahre vor, zu denen auch ich entscheidend beigetragen habe.

Im zweiten Teil der Arbeit, meiner eigenen originären Forschung, wird basierend auf Syndromanalysen der wichtigsten an der globalen Entwaldungsproblematik beteiligten Ursache-Wirkungsmuster eine Einschätzung der Schädigungs- und Gefährdungssituation von Waldökosystemen vorgenommen. Diese sektorale Anwendung des Syndromkonzepts erfolgt mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS) und Methoden der Fuzzy-Logik. Die einzelnen an der globalen Entwaldungsproblematik beteiligten Syndrome werden hinsichtlich ihrer gegenwärtigen räumlichen Verteilung beschrieben sowie eine Abschätzung ihrer Intensität vorgenommen. Das wissenschaftliche Hauptresultat der Dissertation stellt hierbei die erstmalige Erzeugung von syndrombasierten, aggregierten und räumlich aufgelösten globalen Schädigungs- und Gefährdungsindikatoren für Waldökosysteme dar, wobei vor allem die systematische Untersuchung der möglichen Kopplungen zwischen derzeit aktiven Ursache-Wirkungsmustern und der durch sie ausgelösten weiteren Syndrommechanismen hervorzuheben ist.

¹ QUESTIONS: “Qualitative Dynamics of Syndromes and Transition to Sustainability”.

Teil I:
Das Syndromkonzept

1 Einleitung

1.1 Projektgenese

Ausgehend von der Erkenntnis, dass bloße Multidisziplinarität für eine Analyse des GW nicht ausreicht, trifft der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderung“ (WBGU) die Feststellung, dass ein Instrument für eine vernetzte Betrachtungsweise entwickelt werden muss, welche die *„...Identifikation der wichtigsten Elemente im Rahmen des globalen Wandels und deren Zusammenspiel“* zum Ziel haben muss (WBGU, 1993: 197). In einem ersten Schritt wurde hierfür im Jahresgutachten 1993 das sog. *Globale Beziehungsgeflecht* eingeführt, mit dem eine empirisch-phänomenologische Systemanalyse der entscheidenden *„gegenseitigen Beeinflussungen der globalen Trends“* (WBGU 1993: 200) unternommen werden können. Im folgenden Jahresgutachten wurde dieser Ansatz dahingehend erweitert, dass *„das disziplinär-symptomorientierte ‘Globale Beziehungsgeflecht’ (...) eines syndromorientierten Fundaments von regionaler Auflösung (bedarf), das von vornherein fachübergreifend angelegt sein muß“* (WBGU 1994: 196). Unter Syndromen² werden typische, funktionale Muster problematischer Mensch-Umwelt-Interaktionen verstanden, die durch Kombinationen einzelner Trends und Teilaspekte des GW (Symptome³), die wichtigsten Veränderungen in Zivilisation und Natur charakterisieren. Als ein wesentlicher Vorteil des Ansatzes erwies sich, dass er als Kommunikationsinstrument über die diversen Fachgrenzen hinweg eine transdisziplinäre Analyse des GW ermöglicht. Um eine weitere Ausarbeitung und Umsetzung des Konzepts zu ermöglichen, wurde 1995 ein BMBF-gefördertes Forschungsprojekt am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung eingerichtet. Neben der Mitarbeit an den Jahresgutachten des Beirats, war es Ziel des Forschungsprojektes, die Syndromanalyse weiterzuentwickeln und zu einer eigenständigen Forschungsrichtung zu vertiefen. Die Erfolge in Bezug auf die Zuarbeit können in den Jahresgutachten (WBGU 1996, 1997, 1998, 2000) verfolgt werden, wo umfassende Syndromanalysen einen Kern der jeweiligen Betrachtungen des GW darstellen. Ein weiterer entscheidender Beitrag des Projektes ist jedoch die erfolgreiche und vielversprechende Fortentwicklung des Konzeptes zu einem integrierten, transdisziplinären Analyseinstrument für den GW.

Ziel des Syndromkonzepts ist die Beschreibung und approximative Vorhersage der Problemlagen des anthropogenen GW sowie die Identifikation und Evaluation globaler, über die einzelnen Skalen abgestimmte, Handlungsoptionen für eine nachhaltige Entwicklung. Im Gegensatz zur Konzentration auf meist an traditionellen Wissenschaftsdisziplinen orientierten Einzelaspekten, betont dieser Ansatz die Zusammenfassung aller relevanten Elemente und Interaktionen des GW auch dort, wo nur ungenaues oder qualitatives Wissen vorliegt. Das Syndromkonzept bietet daher einen Rahmen zur Strukturierung und Integration

² SYNDROME sind im folgenden durch Darstellung in KAPITÄLCHEN gekennzeichnet.

³ *Symptome* sind im folgenden durch Darstellung in *Times New Roman kursiv* gekennzeichnet.

des derzeitigen Expertenwissens zu nicht-nachhaltigen Entwicklungen in der Zivilisation-Natur-Koevolution.

Die Syndrome sind im Rahmen des Ansatzes als archetypische Muster der Mensch-Umwelt-Wechselwirkung definiert. Als solches sind sie

- **transregional**, das gleiche Muster wird in verschiedenen Regionen der Welt angetroffen,
- **transsektoral**, ein Syndrom wird durch Elemente aus den verschiedenen Sphären des Erdsystems (Hydrosphäre, Atmosphäre, Pedosphäre, Biosphäre, psychosoziale Sphäre, Wirtschaftssphäre, etc.) konstituiert, und
- über eine vorwiegend **endogen bestimmte Dynamik** angetrieben,

was sie als Elemente für die Analyse des GW geeignet erscheinen lässt.

Vor diesem Hintergrund nimmt die vorliegende Dissertation eine interdisziplinäre systemorientierte Untersuchung eines sektoralen Problems des GW vor. Ausgehend von dem in der QUESTIONS-Arbeitsgruppe entwickelten Syndromkonzept soll eine Analyse der globalen Entwaldungsproblematik vorgenommen werden.

1.2 Der Globale Wandel

Die Menschheit hat im Laufe ihrer zivilisatorischen Entwicklung schon immer ihre Umwelt transformiert und ihren Bedürfnissen angepasst. War diese Einflussnahme früher auf die lokale Ebene beschränkt, so hat diese Umweltgestaltung in den letzten Jahrhunderten immer größere Ausmaße angenommen. Mit der Industrialisierung begann die Menschheit erstmals großräumig in die Umweltprozesse einzugreifen. Bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts beschreibt Marsh (1864) die Modifikation der Umwelt durch den Menschen. Zum Ende des 20. Jahrhunderts zeigt sich deutlich, dass die Menschheit die Biosphäre seit den letzten 50 Jahren fundamental transformiert (Turner et al. 1990). Vor der anthropogenen Beeinflussung war die Änderung der gesamten Ökosphäre der Erde im Wesentlichen durch die natürliche systeminhärente Dynamik gesteuert (Schellnhuber & Kropp 1999). Ausnahmen bildeten exogenen Einflüsse wie etwa Asteroideneinschläge. Waren die wesentlichen Änderungen im Erdsystem bisher also mehr oder weniger komplett von der Evolution der Anthroposphäre - die eine eher vernachlässigbare Störung im Erdsystem bildete - entkoppelt, so haben sich mittlerweile die zivilisatorischen Einflüsse auf die globale Ökosphäre zu einer signifikanten Störgröße entwickelt. Der Mensch agiert nun in der Rolle eines Verursachers *und* Betroffenen von Veränderungen im Erdsystem. Im folgenden werden einige Elemente dieses Globalen Wandels kurz vorgestellt.

Der anthropogen verstärkte Treibhauseffekt

Eines der wichtigsten Beispiele für den menschlichen Eingriff in die globale Ökosphäre ist die anthropogene Erhöhung des atmosphärischen CO₂, einer der Schlüsselfaktoren in der globalen Klimadynamik. Messungen der CO₂ Konzentrationen der letzten 1000 Jahre mit Hilfe von Eisbohrkernen aus der Antarktis und Grönland, sowie von den verschiedenen globalen

CO₂ Messstation (z. B. Mauna Loa auf Hawaii seit 1958) weisen in diesem Jahrhundert einen starken Anstieg der CO₂ Konzentration in der Atmosphäre aus (IPCC⁴ 1996). Mit Hilfe von Zeitreihen über die letzten 200 Jahre kann der schnelle parallele Anstieg der klimawirksamen Gase CO₂, CH₄, N₂O und der Weltbevölkerung verdeutlicht werden (McEvedy & Jones 1978; ICWC 1998; Keeling et al. 1976; Etheridge et al. 1992, 1996; Machida et al. 1995). Der durchschnittliche jährliche Anstieg der CO₂ Emissionen über die letzte Dekade wird im „*Global Environmental Outlook 2000*“ (UNEP 1999) des *United Nations Environmental Programme* mit 1.3 % oder etwa 0.3 Gt CO₂ (= 10⁹ t) pro Jahr angegeben.

Das CO₂ unterliegt einem komplexen Kreislauf von Austauschprozesse zwischen Atmosphäre, terrestrischer und mariner Biosphäre, Pedosphäre, Lithosphäre und den Ozeanen. Die jährlichen anthropogenen CO₂ Emissionen werden auf etwa 7.1 ± 1.1 Gt C aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, der Zementproduktion und aus Landnutzungsänderungen geschätzt. Etwa 2.0 ± 0.8 Gt C dieser anthropogen verursachten CO₂ Emissionen werden von den Ozeanen aufgenommen, 1.3 ± 1.5 Gt C werden einem Vegetationsdüngungseffekt zugeschrieben, 0.5 ± 0.5 Gt C werden in der Biomassenzunahme durch das Waldwachstum in der nördlichen Hemisphäre gebunden und 3.3 ± 0.2 Gt C verbleiben als anthropogener Beitrag in der Atmosphäre (alle Zahlen bezogen das Referenzjahr 1990; IPCC 1996).

Zeitreihen für die treibhauswirksamen Gase CO₂ und CH₄ sowie die Abweichung von der mittleren Ortstemperatur aus dem Vostok Eisbohrkern (Abbildung 1) zeigen ein gutes Übereinstimmen der Veränderungen der wichtigsten Treibhausgase mit der Temperatur über die 4 letzten glazialen / interglazialen Klimazyklen (Petit et al. 1999). Aus den abgebildeten Zyklen ist ersichtlich, dass sich die CO₂ Konzentration in der Atmosphäre über die letzten 400 000 Jahre relativ stabil zwischen 200 und maximal 300 ppmv bewegt hat. Heute beträgt der CO₂ Anteil etwa 360 ppmv (IPCC 1996), was deutlich über den Maximalwerten der letzten 400 000 Jahre liegt. Dieser Wert liegt außerhalb des bisherigen Schwankungsbereichs der CO₂ Konzentrationen.

Aus verschiedenen Temperaturreihen lässt sich eine Erhöhung der globalen Mitteltemperatur feststellen (IPCC 1996). All diese Hinweise deutet darauf hin, dass auf Grund der anthropogen erzeugten Anreicherung langlebiger Treibhausgase in der Atmosphäre, ein Einfluss des Menschen auf das Klima besteht: *“The Balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate”* (IPCC 1996: 4). Diese Einschätzung der im IPCC zusammengefassten Fachwissenschaftler wird auch durch andere Veröffentlichungen gestützt (z. B. Kaufmann & Stern 1997; Hegerl et al. 1997).

Durch Kopplungsmechanismen zwischen Klima, den ozeanischen Zirkulationssystemen und der Dynamik der polaren Eismassen kann es durch diese möglicherweise anthropogen verursachte Erwärmung zu einer weiteren Störung des Klimasystems kommen, die ein Ausschalten des nordatlantischen Golfstroms und damit eine starke Abkühlung für Europa zur Folge haben kann (Rahmstorf 1995; WBGU 1996). Weitere regionale und globale Folgen, wie die prognostizierte Verschiebung von Klima- oder Vegetationsgürtel, der landwirtschaft-

⁴ IPCC = *Intergovernmental Panel on Climate Change*

lichen Anbauzonen, der Anstieg des Meeresspiegels oder die verstärkte Entwicklung von Wetterextremen sind in ihrer Auswirkung auf Mensch und Natur noch weitgehend ungeklärt.

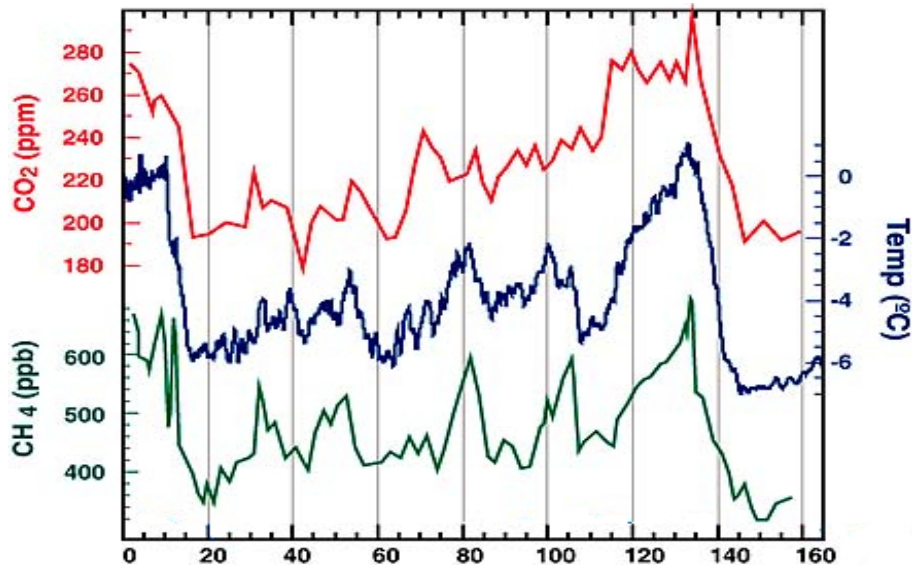


Abbildung 1: Zeitreihe der atmosphärischen CO_2 und CH_4 Konzentrationen sowie der Abweichung von der mittleren Ortstemperatur über die letzten 400 000 aus den Daten des Vostok Eisbohrkerns (nach Petit et. al 1999).

Die anthropogen verursachte Bodendegradation

Die Böden der Erde weisen in vielen Ländern bereits heute mittlere bis schwere Schädigungen auf (Oldeman et al. 1990; Abbildung 2). Bis 1990 haben unangepasste Landwirtschaftspraktiken zu einer Degradation von 562 Mio. ha beigetragen, dies entspricht etwa 38 % der gesamten Landwirtschaftsfläche von etwa 1.5 Milliarden ha (Oldeman 1994).

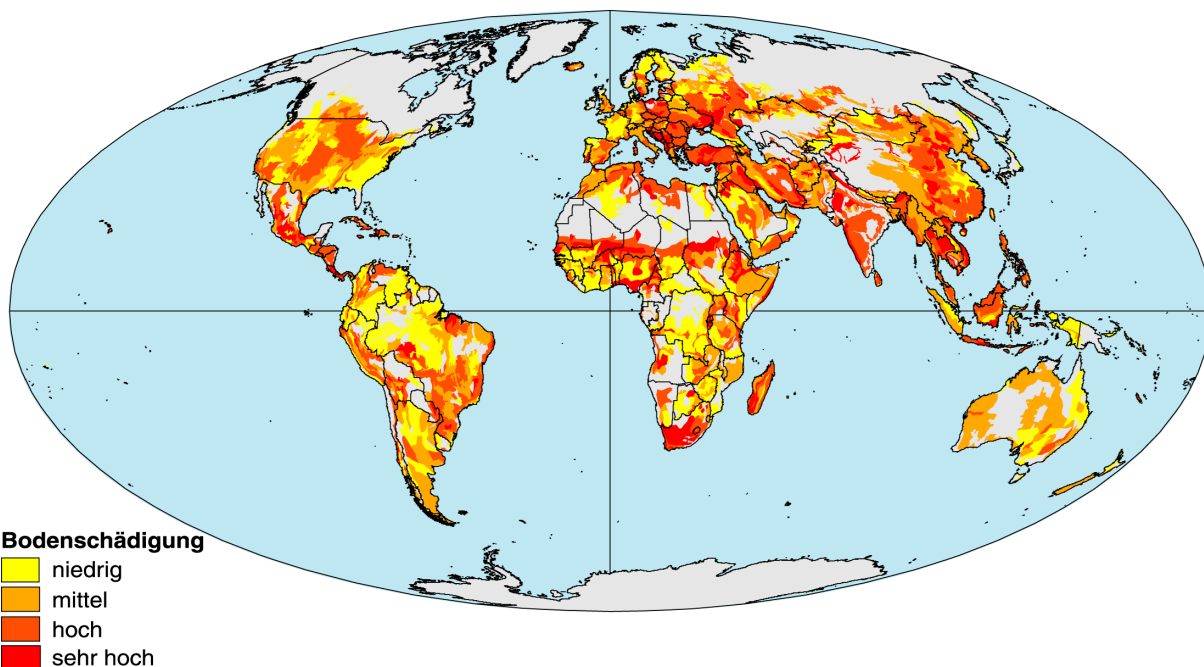


Abbildung 2: Zustand der anthropogenen Bodendegradation nach einer globalen Expertenabschätzung von 1990 - GLASOD (Oldeman et al. 1990).

Ein großer Teil wurde dabei so geschädigt, dass er nicht weiter landwirtschaftlich nutzbar ist. Seit dem 2. Weltkrieg wurden weltweit fast 30 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche aufgegeben (Lal & Stewart 1990). In der letzten Dekade gingen jährlich weitere 5 - 6 Mio. ha durch starke Bodendegradation verloren (UNEP 1997). Vor allem die Rolle der rasch wachsenden Weltbevölkerung und ihre wirtschaftlichen Aktivitäten, in deren Folge Übernutzungen und Umgestaltungen von Pflanzendecken, Verdichtungen und Versiegelungen von Böden sowie Belastungen durch toxische organische und anorganische Stoffe auftreten, werden immer wieder hervorgehoben (WBGU 1994). Diese großräumigen Bodendegradationen bedeuten Zerstörung menschlicher Lebensgrundlagen (Pimentel 1997) und sind damit auch Auslöser für Hunger (Lachenmann 1992) und Migration (UNRISD 1994). Es wird sogar diskutiert, dass die Verschlechterung der Lebensgrundlage zu gewalttätigen Konflikten führen kann (Homer-Dixon 1999; Bächler et al. 1996; Biermann et al. 1998).

Die anthropogen verursachte Süßwasserverknappung

Die Verknappung und Verschmutzung von Süßwasser stellt ein weiteres Kernproblem des GW dar. Der anthropogene Einfluss besteht hier in der lokalen und regionalen Übernutzung der Süßwasservorräte durch Aktivitäten wie Bewässerungslandwirtschaft, Industrialisierung sowie Verstädterung. Beispiele sind die Übernutzung des Ogallala-Aquifers in den USA (Brown & Halweil 1999), des Disi-Aquifers in Jordanien und Saudi Arabien, die Nutzung fossiler Grundwasservorkommen in Libyen und Yemen. Weitere Beispiele sind Indien, wo die Grundwasserentnahme den doppelten Wert der Aquiferauffüllung durch Niederschläge erreicht hat, und China, wo der Grundwasserspiegel in der wichtigsten Anbauregion um 1.5 m gefallen ist (Brown & Halweil 1999). Ein weiteres Problem stellt die Wasserleitungen für große Bewässerungsprojekte dar, die z. B. zur Austrocknung des Aralsees oder der Everglades in Florida führen. Die Salzwasserintrusionen in Deltas und Küstenaquifere in Folge der Übernutzung von Grund- und Oberflächengewässern, wie z. B. in Israel, China, Vietnam oder dem Golf von Kalifornien, sowie Verluste im Leitungsnetz, in der Bewässerung (Verdunstung) und in der Produktion stellen ebenfalls wesentliche Faktoren für Wasserverknappung dar. Die aus der zunehmenden Wasserknappheit und Wasserverschmutzung entstehenden ökonomischen, sozialen und politischen Konflikte um die knapper werdende Ressource Wasser werden vor allem im 21. Jahrh. globale Auswirkungen haben (WRI 1997; WBGU 1997). Die Errichtung großer Süßwasserreservoirs hat sich bisher nur bedingt als Lösung bewährt. Das derzeit in Staudämmen vorhandene Volumen an Süßwasser übersteigt das Volumen in allen Flüssen der Erde um das 5-fache (Chao 1995). Diese großen Veränderungen im hydrologischen Kreislauf führen zur Änderung der Transpiration und des Grundwasserspiegels. Zusätzlich haben sich viele der Reservoirs, vor allem in tropischen Regionen, als große Gesundheitsgefahren herausgestellt (z. B. Malaria, Schistosomiasis, etc.; siehe Martens et al. 1994; Martens 1995; Burchard et al. 1996; WHO 1996; WCD 2000).

Der anthropogen verursachte Biodiversitätsverlust

Die Rate des anthropogen verursachten Artensterbens wird derzeit auf etwa 1 – 5 % pro Dekade geschätzt (McNeely et al. 1995; Reid et al. 1992). Nutzungsänderungen auf großen

Flächen der Erde, wie die Rodung von Wäldern, die Umwandlung von Weiden in Ackerland, der Verlust von Feuchtgebieten usw., sind Gründe für den Verlust von Ökosystemen, das Artensterben und den Schwund des weltweiten Genpools. So ist etwa die Hälfte der globalen Waldbedeckung durch den Menschen entfernt worden, wobei ein Großteil dieser Entwaldung in den letzten 30 Jahren geschah (WRI 1997). Das Verschwinden von alten Kulturpflanzenarten und Nutztierassen stellt eine möglichen Gefährdung der Ernährungsgrundlagen der Menschheit dar (WBGU 1996). Viele Eigenschaften dieser alten Kulturpflanzenarten, wie z. B. Trockenresistenz oder Resistenz gegenüber Schädlingen, stellen wichtige genetische Ressourcen für eine mögliche zweite „Grüne Revolution“ dar. Neben dem Verlust potenziell nutzbarer Arten oder Naturstoffen sind durch Landnutzungsänderungen vor allem die globalen Stoffkreisläufe (siehe auch Kapitel 4) und die internen Regelungsfunktionen von Ökosystemen gefährdet.

Naturkatastrophen

Hierunter werden neben Erdbeben und Vulkanausbrüchen auch klimatische Ereignisse eingeordnet. Mittel- bis längerfristige Wetterereignisse, wie Trockenheit durch zu wenig Niederschlag und / oder zu hohe Temperaturen, sowie singuläre Extremwetterereignisse, wie Stürme oder Starkniederschlagsereignisse, können den atmosphärischen Naturkatastrophen zugerechnet werden. Mit Blick auf die häufigen extremen Wetterereignisse der letzten Dekade wird derzeit diskutiert ob eine signifikante Zunahme an Anzahl und Stärke festgestellt werden kann (WMO 1997). Hinweise deuten darauf hin, dass sich der Einfluss einer anthropogen verursachten Klimaänderung auf Extremwetterlagen manifestiert (Gerstengarbe, pers. Mitteilung). Gerade im Zusammenhang mit Niederschlagsereignissen kann es, bedingt durch anthropogene Landnutzungsänderungen, zu Überschwemmungen oder Lawinen kommen. Die verschiedenen Formen der Naturkatastrophen können zu einem steigenden Migrationdruck von Umweltflüchtlingen führen, von dem erwartet wird, dass er im 21. Jahrh. weite Teile der Völkergemeinschaft betreffen könnte.

Die Bevölkerungsentwicklung

Als eines der größten Probleme für das 21. Jahrh. wird die globale Bevölkerungsentwicklung und -verteilung in Entwicklungs- und Schwellenländern genannt (UNEP 1999; Brown et al. 1999). In diesen Ländern hohen Wachstums werden als Ursachen für das Bevölkerungswachstum (Abbildung 3) verschieden Aspekte der Unterentwicklung angeführt, wie ungenügende soziale Sicherungssysteme, ein geringes Bildungsniveau, sowie die soziale Ausgrenzung großer Teile der Bevölkerung dieser Länder (Nisbet 1994; WBGU 1993ff; Birk 1996; u.v.a.). Verstärkt wird die problematische Bevölkerungsverteilung durch Landflucht sowie intra- und internationale Migrationsbewegungen, die, besonders in den Küstengebieten der Entwicklungs- und Schwellenländer, zu einem schnellen urbanen Wachstum führen (WBGU 1997; Kropp 1999). Die städtische Infrastruktur, Energie, Wasser, Verkehr, soziale Dienste usw., können vielerorts mit diesem Wachstum nicht mithalten. Hierdurch induzierte Umwelt- und Armutprobleme (Ausbreitung von Krankheiten, soziale Unruhen), erlangen mehr und mehr eine globale Bedeutung.

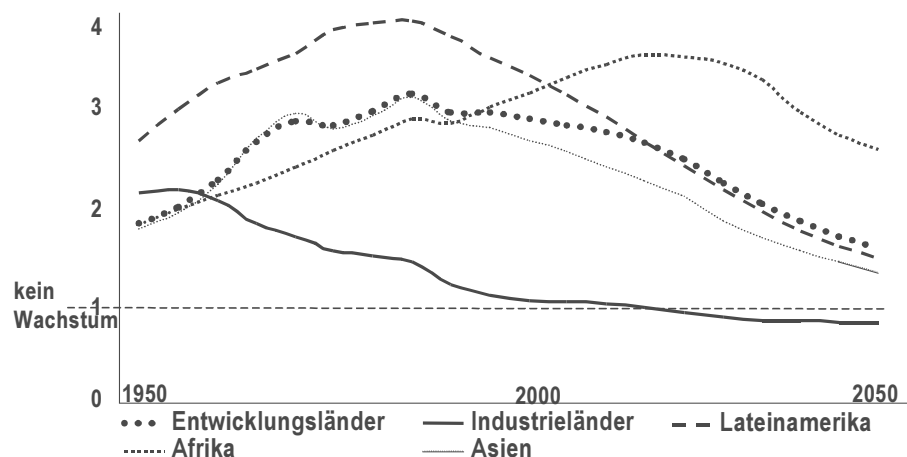


Abbildung 3: Prognostiziertes Bevölkerungswachstum nach Regionen bis 2050 (UN 1996)

Die Übernutzung und Verschmutzung der Weltmeere

Die Ozeane erfüllen wichtige ökologische und klimatische Funktionen und sind eine bedeutende Nahrungsquelle, aber auch Senke für anthropogene Abfälle. Produktive Fischereiwirtschaften können in Kombination von zur Überfischung führenden ökonomischem Druck und sich verändernden Umweltbedingungen, wie ein sich änderndes Klima oder steigende Verschmutzung, zusammenbrechen (Glantz & Feingold 1992). Da bereits die meisten Fanggebiete vollständig genutzt oder sogar übernutzt werden (IPCC 1996), ist davon auszugehen, dass mit der wachsenden Verschmutzung, insbesondere der Küstenregionen und Randmeere die die Hauptaufzuchtgebiete vieler Fischarten beherbergen, sowie unter sich ändernden Klimabedingungen, eine ernsthafte Bedrohungen der Ernährungssicherheit der Menschheit besteht. Die globale Überfischung wird als eine bedeutende Bedrohung der aquatischen Ökosysteme angesehen (FAO 1998; WWF 1998; Morse 1998).

Die Gefährdung der Welternährung und Weltgesundheit

Die umweltbedingte Gefährdung von Welternährung und Weltgesundheit stellen große Probleme dar. Große Teile der Menschheit sind fehl- bzw. unterernährt. Derzeit sind etwa 1.1 Milliarde Menschen unterernährt und paradoxerweise etwa die gleiche Anzahl übergewichtig (WW 2000), was das globale Ungleichgewicht in der Verteilung der Nahrungsmittel und Güter aufzeigt. Nach Schätzungen der Weltbank kostete Hunger den indischen Staat 1996 zwischen 3 bis 12 % seines Bruttosozialprodukts (BSP; ~ 28 Milliarden US \$). Demgegenüber werden die Kosten der Überernährung für das US-amerikanische Gesundheitssystem Ende der 90er Jahre mit etwa 12 % des US - BSP (~ 118 Milliarden US \$) angesetzt. Die auf Grund einer steigenden Bevölkerung notwendige Steigerung der Nahrungsmittelproduktion wird in den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern (Abbildung 3) durch Bodendegradation und Wasserknappheit, die sich sowohl als fehlendes sauberes Trinkwasser oder als fehlendes Wasser für die Bewässerungslandwirtschaft manifestiert, zunehmend erschwert. Die Verschmutzung des Trinkwassers und die mangelhafte Abwasserbehandlung führen zusätzlich in vielen Ländern der Erde zu vermehrtem Auftreten von Infektionskrankheiten und Seuchen (Morse 1995). Angesichts der wachsenden globalen

Mobilität steigt auch die Gefahr einer schnellen Ausbreitung dieser Seuchen. Entscheidend beteiligt an diesen Entwicklungen ist auch eine fehlgeleitete Wirtschafts- und Entwicklungspolitik mit einer Förderung der Produktion von kapital- und ressourcenintensiven „*cash crops*“ gegenüber einer gesicherten Nahrungsmittelversorgung der Bevölkerung. Dieser Prozess verstärkt die Abhängigkeit der Entwicklungsländer von „*high yield crop varieties*“ (Hohertragsorten) und den dafür benötigten Düngern und Pestiziden, was zu einer weiteren Ausdehnung der Vormachtstellung der Länder des Nordens als bestimmende Größe der internationalen Märkte führt. Doch nicht nur in den Entwicklungs- und Schwellenländern besteht ein erhebliches Gesundheitsrisiko durch Umweltverschmutzung und Pestizid- und Herbizideinsatz. Die industrielle Verschmutzung in den Industrie- und Ballungsräumen der Industrienationen des Nordens sowie die stark behandelten Nahrungsmittel, stellen eine erhebliche Gefahr für die Gesundheit in diesen Regionen dar (Belitz et al. 1992). Als Beispiele für industrielle Kontamination der Umwelt können die Luftverschmutzung in der Region um Norilsk und die dadurch hervorgerufene dramatische Verringerung der Lebenserwartung der regionalen Bevölkerung (Pearce 1993), oder aber auch die hohe Grundwasserkontamination im ehemaligen Chemieraum Bitterfeld, die mit einem steigenden Grundwasserspiegel nach Beendigung des Braunkohletagebaus wieder eine hohe Aktualität erreichen, genannt werden.

Die globalen Entwicklungsdisparitäten

Eine der bedeutensten globalen Entwicklungen der letzten Dekaden stellt die Globalisierung der Märkte dar. Dieser vielschichtige Begriff (vgl. Beck 1997) umfasst die Transformation der räumlichen Organisation der internationalen Beziehungen und Transaktionen, hinsichtlich ihrer Ausdehnung, Intensität, Geschwindigkeit und Auswirkungen auf soziale und natürliche Systeme. Dieser Prozess führt zu transnationalen oder auch globalen Güterströmen, Interaktionen und Machtbeziehungen (Held et al. 1999). Ob Globalisierung eher zu einem Überwiegen positiver (Ohmae 1995) oder eher negativer Folgen (Martin & Schumann 1997) führt ist umstritten. Als Faktum kann allerdings angenommen werden, dass die Entwicklungsdisparitäten, also die strukturellen Ungleichgewichte zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (Abbildung 4), in den letzten Jahrzehnten nicht ab-, sondern zugenommen haben (UN 1997; WBGU 1996). Die Umweltauswirkungen der Globalisierung sind umstritten. Ein erhöhtes wirtschaftliches Aktivitätsniveau kann, zumal verstärkt durch Bevölkerungswachstum, zu einer Erhöhung des Flächen-, Ressourcen- und Energieverbrauchs sowie einem Anstieg in umweltbelastenden Emissionen führen. Die Handlungsspielräume nationaler Politik können insbesondere im Falle von Entwicklungsländern eingeengt werden und im internationalen Standortwettbewerb zu einer Verschlechterung des nationalen Umweltzustands führen (WBGU 1996). Ein anderer Argumentationsstrang schreibt der Internationalisierung der Umweltpolitik als Teil der Globalisierung eine Umweltqualitätsverbesserung in den Entwicklungsländern zu. Die Liberalisierung von Investitions- und Handelsströmen kann den Druck auf Regierungen zu einer Effizienzsteigerung des politischen Systems erhöhen. Die kann als Folge zu einer Verminderung von korruptionsbedingten Umweltschädigungen führen. Diese Beispiele verdeutlichen die durchaus duale Natur des Globalisierungstrends. Bisher sind allerdings die Mehrzahl der Entwicklungsländer, insbesondere in Afrika, dennoch sehr arm geblieben. Gerade dort stellen der Verlust sozialer Sicherheit durch Verarmung

oder zunehmenden nationalen Disparitäten, mit den davon oft hervorgerufenen Migrationsprozessen, ein erhebliches Problem dar. Dieses „*Entwicklungsdilemma*“ hat einen bedeutenden Stellenwert im GW und stellt über armutsbedingte Konflikte ein ernstzunehmendes Risiko für die weitere menschliche Entwicklung dar (Bächler 1994).

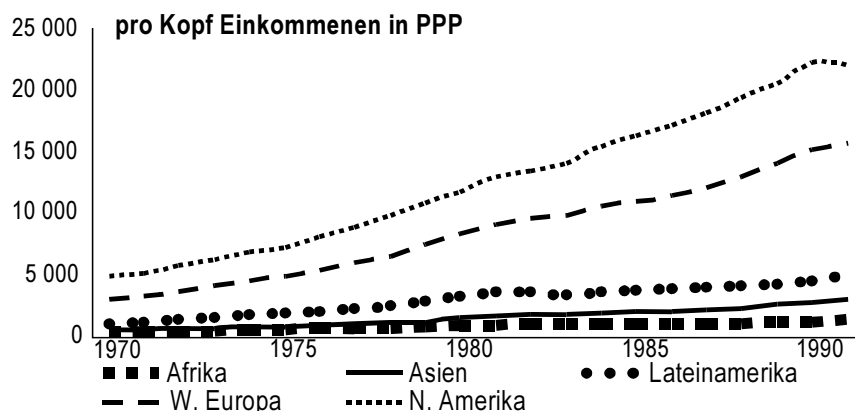


Abbildung 4: Pro Kopf Einkommen nach Regionen in PPP \$ (Purchasing Power Parity) 1970 - 91 (U.N. 1997: 58).

Neben diesen problematischen Entwicklungen dürfen aber auch die positiv zu bewertenden Entwicklungen des GW nicht unerwähnt bleiben. Solche positiven Beispiele sind die Zunahme an internationaler Zusammenarbeit in der Bekämpfung von Entwicklungsproblemen, die internationale Entwicklungshilfe, sowie die Verabschiedung und Umsetzung internationaler Abkommen zum Schutz der Umwelt. Gerade auf dem Gebiet der internationalen Umweltschutzabkommen sind einige erfolgreiche Entwicklungen zustande gekommen. So wird das Montrealer Abkommen zum Schutz der Ozonschicht als eines der bisher erfolgreichsten internationalen Umweltabkommen eingestuft (Oberthür 1997; WBGU 1996).

Diese Beispiele dokumentieren, dass sich der GW aus einer Vielzahl von Einzelphänomenen naturräumlicher und sozioökonomischer Art zusammensetzt, die eng miteinander verwoben sind. Letzteres bedeutet, dass die verschiedenen Phänomene der Mensch-Natur-Koevolution vielfach wechselseitig voneinander abhängig sind, bzw. sich gegenseitig bedingen. Der GW stellt daher in seiner Gesamtheit ein sehr komplexes System dynamischer Entwicklungen der Mensch-Umwelt-Interaktion dar. Er ist damit nur schwer durch die bisherige, disziplinäre, eher auf einzelne Phänomene ausgerichtete Forschung, in seiner vielfältigen Dynamik zu erfassen und zu prognostizieren.

1.3 Die Notwendigkeit für einen neuen Zugang zur Analyse der Prozesse des Globalen Wandels

Die komplexe Phänomenologie des GW stellt nicht nur die „*Weltgesellschaft*“ vor eine Reihe von praktischen Kernproblemen, sondern auch das „*System Wissenschaft*“ vor neue theoretische Herausforderungen (Reusswig & Schellnhuber 1997). Dieses System ist bisher hauptsächlich disziplinär orientiert und auf die Bearbeitung eher sektoraler Problemlagen spezialisiert. Es weist aus historischen, methodischen und organisatorischen Gründen eine gewisse

Trägheit gegenüber neuen Herausforderungen auf. Die „traditionelle“ Herangehensweise besteht im Wesentlichen aus dem selektiven Aufgreifen einzelner Fragen, die mit den Standardmethoden der beteiligten Wissenschaftsdisziplin bearbeitet werden. Auf diese Art entsteht im Allgemeinen ein eher additiver Wissensfortschritt. Im Falle des GW und seiner vielfältigen problematischen Entwicklungen steht unser Wissenschaftssystem vor grundlegend neuen Problemlagen, die auch nach neuen methodischen und organisatorischen Antworten verlangen. Die aktuelle Gefährdung einer global nachhaltigen Entwicklung stellt, so die wissenschaftstheoretisch Grundannahme dieser Arbeit, kein leicht eingrenzbares und disziplinär bearbeitbares Teilproblem dar, sondern fordert einen übergreifenden Denkansatz, der alle Teile des überkommenen Wissens- und Wissenschaftssystems beinhalten muss.

Anders als die durch den Menschen hervorgerufenen lokalen und regionalen Umweltveränderungen früherer Jahrhunderte sind die seit wenigen Jahrzehnten sichtbar gewordenen globalen Umweltveränderungen gänzlich anders charakterisiert. Aus einfachen, lokalen und zeitlich begrenzten Umweltschädigungen sind komplexe, globale und zeitlich verzögerte Veränderungen des Erdsystems geworden, die sich zudem vielfach überlagern und wechselseitig beeinflussen und bedingen. Hieraus erwächst die Notwendigkeit zur integrierten Ursachenforschung, um Folgeschäden zu vermeiden oder doch wenigstens zu minimieren.

Den im Rahmen der Erforschung der Problemlagen des GW im Vordergrund stehenden Naturwissenschaften ist die genaue Beantwortung der Frage nach den Ursachen der globalen Umweltveränderungen bisher nicht gelungen. Bisweilen scheint dort sogar das Verständnis für die Sinnhaftigkeit der Frage nach den Ursachen zu fehlen. So kommt etwa die Erforschung der Atmosphärenchemie im Kontext von Klimaänderungen gänzlich ohne die Sozialwissenschaften aus. Um den zusätzlichen Treibhauseffekt von 5 % mehr CO₂ in der Atmosphäre berechnen zu können, braucht es in der Tat keine Psychologie, Soziologie oder Ökonomie. Jedoch zu einer Abschätzung der gesellschaftlichen Folgen des Klimawandels, in physischen, monetären oder sonstigen Größen, oder aber auch bei der Ursachenfrage und in der Diskussion über geeignete Gegen- oder Minderungsmaßnahmen ist die Einbeziehung der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften unabkömmlich. Diese Erkenntnis der Notwendigkeit einer Integration von natur- und sozialwissenschaftlichem Wissen setzt sich vermehrt in der internationalen „*Scientific Community*“ durch, was durch das Entstehen neuer internationaler Forschungsvorhaben wie *Land Use and Land Cover Change* (LUCC, gemeinsames Projekt von IHDP⁵ und IGBP⁶) erkennbar wird. Es erweist sich allerdings, dass die hierfür benötigte Variante einer Interdisziplinarität zwischen den Sozial- und Naturwissenschaften - sie wird neuerdings in der wissenschaftlichen Methodendebatte auch als *Transdisziplinarität* bezeichnet - nur schwer in der Praxis der Umweltforschung umsetzbar ist. Mehr als eine für einige Probleme nur bedingt ausreichende für andere aber völlig unzureichende, eher additive und nachträgliche Interdisziplinarität wird bisher selten erreicht (Fränkle & Daschkeit 1997). Dies weist auf die Erfordernis einer engen Vernetzung der Forschung bereits auf der Ebene einer gemeinsamen Problembeschreibung und -definition sowie auf die Notwendig-

⁵ IHDP International Human Dimensions Programme

⁶ IGBP International Global Biosphere Programme

keit einer disziplinenübergreifenden Theoriesprache hin. Ohne einen solchen Ansatz besteht wenig Aussicht auf Synergieeffekte für die Ergebnisse, die den Informations- und Innovationsgehalt der Einzeldisziplinen übersteigen können. Genau diese Entwicklung hin zu disziplinenübergreifenden Analysen ist aber erforderlich, um der Komplexität globaler Umweltveränderungen Rechnung zu tragen. Ein Schritt in diese Richtung wird mit dem neuen Zugang über das Syndromkonzept versucht, indem von Anfang an die problemorientierte Transdisziplinarität für die Erforschung des GW gewährleistet wird. Dieser Ansatz bildet die wesentliche methodische Grundlage für diese Arbeit. Diese prinzipielle Herangehensweise wird nicht nur national (WBGU 1996) sondern auch international als ein vielversprechender Ansatz zur Beschreibung der Probleme des GW gesehen. So schlägt die Konferenz der Schweizerischen Wissenschaftlichen Akademien das Syndromkonzept als Methode zur schweizerischen Forschung zum GW vor (CASS 1997) und das amerikanische „*National Research Council*“ lobt das Syndromkonzept als einen verfolgungswerten und erfolgsversprechenden Ansatz in der Nachhaltigkeitsforschung (NRC 1999: 285).

Eine wichtige Voraussetzung für die Prognose von Richtung und Charakter der Prozesse des GW ist nicht nur die Identifikation und Bewertung der einzelnen Teilphänomene, sondern auch das Verständnis des Systems und seiner inneren Zusammenhänge und Wechselwirkungen. Die Analyse einzelner Ursache-Wirkungsketten erscheint in diesem Zusammenhang nur wenig geeignet. Bedingt durch oftmals zyklische Kausalitäten oder auftretende Synergieeffekte, welche eine klare Zuordnung von einzelnen Ursache zu ihren Wirkungen erschweren, ist eine Analyse des Gesamtsystems zum Verständnis der komplexen, dynamischen Zusammenhänge des GW notwendig (Abbildung 5).

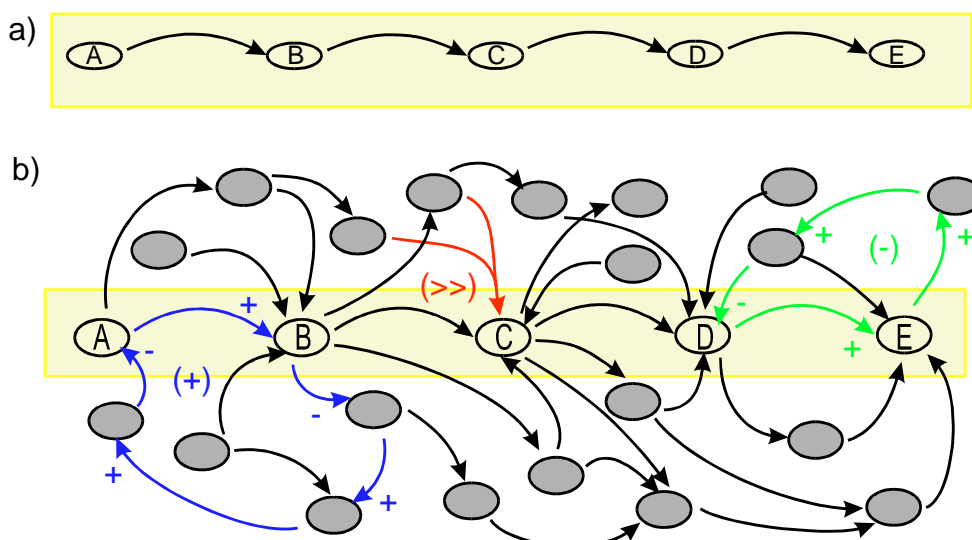


Abbildung 5: a) simplifizierte Vorstellung von *Ursache-Wirkungsketten* der Art: A verursacht B verursacht C, etc.; b) eher der Realität angenäherte Darstellung von komplexen *Ursache-Wirkungsnetzen* mit synergistischen Effekten (>>), sowie positiven (+) und negativen (-) Rückkopplungsmechanismen.

Jede Forschung zum GW ist mit zwei prinzipiellen Problemen konfrontiert. Zum einen erzwingt die Untersuchung des Erdsystems einen *integrativen Ansatz*, da die Interaktionen im

System über die Grenzen von Disziplinen, Sektoren, Umweltmedien und räumlichen Skalen hinweg reichen. Das zweite grundlegende Problem ist die *Komplexität* der Zusammenhänge, die eine übersichtliche Darstellung, Analyse und Modellierung sehr erschwert. Diese Probleme erfordern eine funktional aggregierte und Disziplinen und Skalen verknüpfende Herangehensweise. Es ist vor allem die Schwierigkeit der *Integration* dieser Aspekte, die für das Fehlen ausreichend fundierter Systembetrachtungen verantwortlich ist. Die traditionellen Ansätze mit weitgehend unabhängigen Wissenschaftsdisziplinen die sich jeweils mit ihrem disziplinären Methodenpool isolierten Teilproblemen zuwenden, werden der Gesamtproblematik nicht gerecht. Es besteht hier die Gefahr, dass die Probleme in einer segmentierten, nach Fachgebieten zurechtgeschnittenen Wahrnehmung erfasst und behandelt werden.

Ausnahmen hiervon bilden Ansätze, die sich auf mehr oder weniger eingeeengte Teilaspekte des Erdsystems begrenzen und so die Komplexität auf ein behandelbares Maß reduzieren. Beispiele hierfür werden in Kapitel 2 dieser Arbeit vorgestellt. Gemeinsam ist diesen Modellen der methodische Zugang über die klassische Systemanalyse (Forrester 1972; Meadows 1972), der die *Quantifizierung* aller Wechselbeziehungen im System notwendig macht. Gerade diese Quantifizierung, besonders bei der Einbeziehung der Anthroposphäre, erweist sich jedoch für die Modellierung des Erdsystems als besonders schwierig. Aus diesen Erfahrungen heraus muss eine realistische Anwendbarkeit der klassischen Systemanalyse für die Beschreibung der Dynamik des GW in absehbarer Zeit eher bezweifelt werden.

1.4 Nachhaltige Entwicklung

Seitdem die Bilder des Apollo-Programms um die Welt gingen und die Erde als einen kleinen Ball in der Unendlichkeit des Alls zeigten, hat sich auch die Perzeption in Bezug auf die Interaktion von Ökosphäre und Anthroposphäre grundlegend geändert. Der Blick auf unseren „*Blauen Planeten*“ hat den Fokus von der Untersuchung einzelner Regionen sowie von einzelnen Teilprozessen des Erdsystems auf eine Gesamtbetrachtung des Erdsystems, seiner Systemkomponenten sowie globalen Problemlagen hin erweitert.

Ein weltweites Netz von Forschungseinrichtungen und -programmen unterzieht den Globus einer hochtechnisierten, computer- und satellitengestützten Dauerbeobachtung (z. B. Meteosat-Satelliten die für Wetterbeobachtungen, das auf Satelliten und Computerprogramme gestützte *Early Famine Warning System* für Afrika). Die Mehrzahl dieser Beobachtungen und Messungen kommen zusammen mit den Resultaten von Simulationen zum Ergebnis, dass sich die natürlichen Erdsystem-Kompartimente ändern. Die Ursachen werden primär in den Verantwortungsbereich menschlichen Handelns verwiesen. In der wissenschaftlichen Gemeinschaft besteht inzwischen ein Konsens darüber, dass die Gesamtheit der beobachteten und prognostizierten globalen Umweltveränderungen, nicht nur die Funktion und den Bestand der Ökosphäre berühren und verändern, sondern auch die Lebens- und Zukunftsfähigkeit der Menschheit beeinträchtigen (WCED 1987; UNCED 1992; die Jahresberichte des World Resource Institute [WRI], des World Watch Institute [Brown et al.], des WBGU, und die Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]).

Diese Erkenntnisse führten seit dem Brundtland-Bericht (WCED 1987) und verstärkt seit der UN Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro (UNCED 1992) zur neuen normativen Leit- und Zielvorstellung für die Weltpolitik des 21. Jahrhunderts: „*Sustainable Development*“. Eine Operationalisierung dieses Konzeptes einer „*Nachhaltigen Entwicklung*“⁷ steht jedoch noch aus. Im Gegensatz zu älteren politischen Konzepten für einen verträglichen Umgang mit der Natur (z. B. Ecodevelopment), wurde mit dem Brundtland-Bericht eine erste Synopse von Umweltproblematik einerseits und Entwicklungsnotwendigkeit andererseits erstellt und versucht Lösungsansätze zu formulieren. Ein entscheidendes Element des Konzeptes drückt sich bereits im Namen der Autorenkommission des Berichtes (WCED) und im Titel der „Rio-Konferenz“ (UNCED) aus: Weltkommission für Umwelt *und* Entwicklung. Die Untrennbarkeit beider Elemente, Umwelt und Entwicklung, wird heute kaum noch bezweifelt. Eine Umgestaltung des Einen ist ohne das Andere ist nicht mehr vorstellbar, da der Mensch und die Umwelt ein eng miteinander verwobenes System bilden.

Historisch gesehen geht das Konzept einer nachhaltigen Entwicklung auf einen Grundsatz der deutschen Forstwirtschaft zurück, wie er zuerst von dem sächsischen Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz (1645 - 1714) in der 1713 erschienenen „*Sylvicultura Oeconomica. Die Naturmäßige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht*“ formuliert wurde (DIE ZEIT 1999: 98). Ein Hauptthema für die wirtschaftliche Entwicklung Sachsens in der 2. Hälfte des 17. Jahrhunderts war der akute Holzmangel. Um 1700 war der sächsische Silberbergbau, das ökonomische Rückgrat des Staates, durch das Fehlen von Holz zum Grubenausbau und von Holzkohle zum Betreiben der Schmelzhütten in seiner Existenz bedroht. Die Umgebung der sächsischen Bergbaustädte waren durch den Jahrhunderte alten Raubbau weitgehend kahl geschlagen. Von Carlowitz kritisierte vor diesem Hintergrund das auf kurzfristigen Gewinn orientierte Handeln und forderte eine längerfristige Orientierung zu einem „*pflughen*“ Umgang mit der Ressource Holz, so dass „*eine Gleichheit zwischen An- und Zuwachs und dem Abtrieb des Holtzes erfolget*“ und die Nutzung „*immerwährend*“, „*continuirlich*“ und „*perpetuirlich*“ erfolgen kann. Über diesen auf die Ressource Holz gerichteten Gedanken hinaus, entwickelte von Carlowitz aber auch schon einen umfassenderen Nachhaltigkeitsgedanken, der in seinen Komponenten dem heute viel zitierten „*Dreieck der Nachhaltigkeit*“ nahe kommt. Nach seiner Vorstellung soll die Ökonomie nicht nur der Wohlfahrt des Gemeinwesens dienen, sondern ist vor allem auch dem schonenden Umgang mit der Natur und der Verantwortung für künftige Generationen verpflichtet. Unter dem „*Dreieck der Nachhaltigkeit*“ wird im Allgemeinen die Beschreibung der wechselseitigen Beziehungen zwischen ökologischer (Bewahrung der Umwelt), sozialer (Stärkung des sozialen Zusammenhalts / Gerechtigkeit) und ökonomischer (Befriedigung materieller Bedürfnisse) Dimension verstanden (Dierkes 1985⁸). Dieser Leitsatz der deutschen Forstwissenschaft erlangte im Laufe des 20. Jahrhunderts eine weltweite Geltung und wurden im übertragenen

⁷ Im Folgenden wird „*Sustainable Development*“ mit dem Begriff „*Nachhaltige Entwicklung*“ übersetzt, der in Deutschland die häufigste Verbreitung gefunden hat. Diese Übersetzung gibt den Inhalt des Konzeptes nur unvollkommen wieder. Andere denkbare Übersetzungen wären: „*Zukunftsfähige Entwicklung*“, „*Dauerhafte Entwicklung*“ oder „*Aufrechterhaltbarer Fortschritt*“.

⁸ Dierkes bezeichnet es als „*magisches Dreieck einer nachhaltigen zukunftsverträglichen Entwicklung*“.

Sinne, in den 70er Jahren in der Debatte um die „*Grenzen des Wachstums*“ (Meadows et al. 1972, 1992) und im Brundtland-Report (WCED 1987) wieder aufgenommen.

In der Diskussion des Nachhaltigkeitsbegriffs werden im Wesentlichen drei Grundsätze genannt, die für eine „*Nachhaltige Entwicklung*“ des Mensch-Natur-Systems notwendig sind (siehe z. B. Moffatt 1994, Mitchell et al. 1995, sowie dortige Referenzen):

- 1) Das Prinzip der *intergenerationellen Gerechtigkeit*: Die Fähigkeit zur Befriedigung der Bedürfnisse der nächsten Generation darf nicht durch die Befriedigung der Bedürfnisse der heutigen Generation beeinträchtigt werden.
- 2) Der Grundsatz der *intragenerationellen Gerechtigkeit*: Die Notwendigkeit eines Nachrückens der Entwicklungsländer, mit dem Ziel die Wohlstandsschere wieder zu schließen, was nicht notwendigerweise eine nachholende Entwicklung mit den gleichen Fehlern bedeutet, sondern eine beiderseitige Angleichung erfordert.
- 3) Die Betonung des *intrinsischen Eigenwertes* von *Ökosystemen*, aber auch ein kultureller Wert von *indigenen Völkern*.

Eine der entscheidenden Erkenntnisse der letzten Dekade ist die Untrennbarkeit der Problemlagen im GW. So stellt die Kommission für Umwelt und Entwicklung fest: „*Es gibt keine Umweltkrise, keine Entwicklungskrise und keine Energiekrise - sie sind alle Teil einer einzigen Krise*“ (WCED 1987:4). Diese enge Verknüpfung der einzelnen Elemente der „*globalen Krise*“ birgt allerdings die Gefahr, im Rahmen der Lösung eines Problems ein anderes so zu verschlimmern, dass eine Lösung unmöglich wird. Ein einfaches Beispiel hierfür ist die globale Süßwasserverknappung: Nutzt man die verfügbaren Wasserressourcen für eine Intensivierung der Landwirtschaft zur möglichen Sicherung der Nahrungsmittelversorgung, so schließt dies die Verwendung des Wassers für die Trinkwasserversorgung aus, was zu Gesundheitsproblemen führen kann. Dies deutet auf versteckte Ausschlussmechanismen im Wirkungskomplex des GW hin, welche bei der Herstellung der „*Nachhaltigkeit*“ in einem Subsystem, eine gleichzeitige Verletzung der Nachhaltigkeit in anderen Subsystemen bedingen können (Rotmans 1998). Es gilt also diese „*eine Krise*“ – den „*Globalen Wandel*“ - in ihren wesentlichen Wirkungsmechanismen zu erfassen und zu beschreiben.

Historisch betrachtet ist ein wesentlicher Schritt in Richtung einer Verknüpfung der Umweltproblematik mit der Entwicklungsfrage in der Erklärung von Cocoyok (1974) zu finden (Harborth 1993), in der die Existenz armutsbedingten Bevölkerungswachstums *und* armutsbedingter Umweltbelastung erstmals explizit genannt wurde. Das Ziel einer nachholenden Entwicklung der Länder des Südens wird vor allem seit dem ersten Bericht des „*Club of Rome*“ (Meadows et al. 1972) kontrovers diskutiert. Eine globale Anpassung des Lebensstandards an das Wohlstandsniveau der entwickelten Länder wäre, durch den damit verbundenen Ressourcenverbrauch, mit untragbaren ökologischen Schädigungen der natürlichen Lebensgrundlagen für die gesamte Weltbevölkerung verbunden. Auf Grund dieser Feststellung geriet der „*Naturverbrauch*“ des Nordens selbst in die Kritik. Diese Problematik eines „*oligarchischen Wohlstandsniveaus*“ (Harrod 1958) verlangte nach neuen Konzepten einer „*einträglichen Entwicklung von Mensch und Natur*“, wie sie dann erstmals im Brundt-

land-Bericht skizziert wurden. Seit der Rio-Konferenz stellt das Konzept der „*Nachhaltigen Entwicklung*“ eines der Hauptschlagwörter der Umweltdiskussion dar und ist in der internationalen politischen Debatte zum Thema „*Umwelt und Entwicklung*“ (U & E) nicht mehr wegzudenken. Das „*Committee for Sustainable Development*“ (CSD), sowie zahlreiche Kommissionen und Beiräte auf nationaler Ebene, wie in Deutschland zum Beispiel die Enquete Kommission „*Schutz der Erdatmosphäre*“ des Deutschen Bundestages, der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) oder der WBGU, sind Beispiele für entsprechende Initiativen in dieser Debatte. Bisher finden sich allerdings nur wenige überzeugende Ansätze für eine Operationalisierung des Konzepts, was unter anderem auch auf die disziplinäre Ausrichtung der Bearbeitung der per definitionem transsektoralen und transdisziplinären Problemstellung zurück zu führen ist. Die disziplinäre Ausrichtung erzeugt ein Dilemma, da Fragen wie z. B.:

- Was heißt Entwicklung?
- Welche Grenzwerte für die Belastung unserer Umwelt sind einzuhalten?
- Wie groß ist der zu erhaltenden Grundstock an natürlichen Ressourcen?

beantwortet werden müssen, aber eben nicht durch die jeweilige Disziplin alleine gelöst werden können. Ein pragmatischer Ausweg aus diesem Umstand wurde inzwischen in zahlreichen Länderstudien gesucht. In einer eher heuristischen Vorgehensweise werden Wege zum Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung aufgezeigt, so etwa mit den Studien „*Sustainable Netherlands*“ (ISÖ 1994) und „*Zukunftsfähiges Deutschland*“ des Wuppertal-Instituts (BUND 1996). Im Gegensatz dazu, versucht die Syndromanalyse sich dem Problemfeld von vorneherein von einer interdisziplinären, systemtheoretischen Warte zu nähern und daher diese Dilemmasituation von Beginn an zu vermeiden.

Aus übergeordneten Überlegungen zum Umgang mit komplexen, intransparenten unsicheren Systemen (Dörner 1993, Schellnhuber 1998) lassen sich zwei konzeptuell grundsätzlich unterschiedliche Herangehensweise an den Nachhaltigkeitsbegriff ableiten. Die Mehrzahl der verschiedenen Operationalisierungsversuche für eine „*Nachhaltige Entwicklung*“ versucht eine positive Zieldefinition vorzunehmen. Dieses durch anthropogene Steuerung der Koevolution anzustrebende positive Leitbild verlangt die relativ genaue Festlegung des zu wählenden Entwicklungspfad und ein umfassendes Systemverständnis der Mensch-Natur-Koevolution. Die positive Zieldefinition wird durch die Komplexität und vielfältige Vernetzung der Problemlagen erschwert und birgt die Gefahr der Einengung auf einen anzustrebenden Entwicklungspfad, der sich aber auf Grund des unzureichenden Systemverständnisses durchaus als ein Fehlschlag erweisen kann. Die andere konzeptuelle Möglichkeit besteht darin, nicht-akzeptable Zustände im Erdsystem zu identifizieren die es in der Koevolution zu vermeiden gilt.

Beide Herangehensweisen sind im Wesentlichen normative Wertentscheidungen. Der Weg der Vermeidung nicht akzeptabler Systemzustände, oder auch das „*Konzept eines akzeptablen Entwicklungskorridors*“, verlangt eine Begründung dafür, warum der

gegenwärtig eingeschlagene Entwicklungspfad nicht auf Dauer akzeptabel ist⁹, was zwei Fragestellungen aufwirft, wovon die Eine von Seiten einer gesellschaftlich zu führenden Wertediskussion zu beantworten ist und die Andere ein Wissenschaftssystem erfordert, das die Analyse und Diagnostik dessen was ist betreibt:

- 1) Welche ethischen, politisch-gesellschaftlichen oder auch ökologischen Grundwerte sind durch den gegenwärtig zu beobachtenden GW bedroht?
- 2) Welche Zusammenhänge bestimmen den eingeschlagenen Entwicklungspfad in seiner dynamischen Entwicklung?

Der Vorteil des Ansatzes eines Entwicklungskorridors gegenüber dem Versuch einer positiven Zieldefinition liegt in einem Plus an Handlungsspielräumen, Evolutionsfähigkeit und Offenheit. Vor allem aus diesem Grund erscheint der hier vorgeschlagene Weg eines akzeptablen Entwicklungskorridors als der gangbarere Weg gegenüber dem Versuch ein positives Leitbild zu erreichen. Das langfristige Ziel der Syndromanalyse liegt darin, diesen Korridor akzeptabler Entwicklungen auszuloten und in seinen Umrissen und wesentlichen Richtungen zu spezifizieren. Eine umfassende Analyse der gegenwärtigen bedrohlichen Entwicklungsdynamik des Zivilisation-Natur-Systems ist dafür Grundvoraussetzung. Es gilt, diese Dynamik zu verstehen, ihre wesentlichen Ursache-Wirkungskomplexe innerhalb des Gesamtsystems herauszufiltern und schließlich die Instrumente zu finden mit denen bei geringem Aufwand ein großer „*Heilungseffekt*“ zu erzielen ist. Erstes Teilziel ist die Analyse des GW mit einer Zusammenschau der beteiligten Faktoren und Mechanismen aus aggregierter Sicht, was in der Beschreibung potentiell nicht-nachhaltiger Entwicklungsmuster mündet. Die Syndrome bilden nicht-nachhaltige Entwicklungsdomänen der Koevolution, die auf dem Weg zu einer „*Nachhaltigen Entwicklung*“ vermieden werden sollten. Das Syndromkonzept stellt ein wissenschaftliches Instrument zur Formulierung und Bewertung von Nachhaltigkeitsstrategien zur Verfügung¹⁰.

⁹ Vergleiche auch das hiermit verwandte Konzept des Tolerable Windows Approach, in dem eine Konkretisierung im Hinblick auf die Klimaproblematik versucht wird (Petschel-Held et. al 1999b).

¹⁰ Eine umfassende Diskussion möglicher mittel- und langfristiger Mensch-Natur-Koevolution sowie die Beschreibung möglicher grundlegender Nachhaltigkeitsparadigmen ist in Schellnhuber (1998) gegeben.

2 Modellierungsansätze zur Analyse Globaler Umweltveränderungen

Wie bereits im vorherigen Kapitel verdeutlicht, setzt sich der GW aus vielen verschiedenen Einzelentwicklungen und Phänomenen zusammen. Die systematische Beschreibung der dynamischen Entwicklung des Mensch-Umwelt-Interaktionssystems ist auf Grund der zunehmenden Komplexität und Vielzahl der beteiligten Elemente in der Globalisierung der Problemlagen sowie dem technologischen- und Wissensfortschritt nicht durch eine disziplinäre, eher auf einzelne Phänomene und Sektoren ausgerichtete Forschung, zu analysieren. Die komplexe Dynamik der Interaktion von kurz- und langfristigen Prozessen, über verschiedene räumliche Skalen hinweg, verlangt nach einer disziplinen-übergreifenden und skalen-integrierenden Analysemethode.

Seit den 60er Jahren stellen Systemtheorien einen wichtigen Teil der analytischen Techniken zur Untersuchung holistischer Struktureigenschaften dar. Ausgehend von ihren Quellen in den Ingenieurwissenschaften entwickelte sich die Systemtheorie zu einem Werkzeug zur Analyse dynamischer Entwicklungen und Rückkopplungsmechanismen in der Untersuchung von Organisationsprozessen, sowie urbanen und ökologischen Prozessen (z. B. Forrester 1969, 1971; Collins et al. 1995). Eine der Hauptanwendungen in den Sozialwissenschaften ist der Versuch mit Hilfe holistischer Modelle soziale Strukturen zu rekonstruieren und mithin zu erklären. Die Systemanalyse liefert Wege um organisatorische Strukturen und Prozesse zu zerlegen und zu untersuchen, was oftmals wichtige kontraintuitive dynamische Effekte in der Systemstruktur aufzeigt. Die Analyse der qualitativen Struktur von Kausalbeziehungen in einem System erweist sich oft als viel wichtiger als die Bestimmung der quantitativen Größen ihrer Komponenten (Knapp 1999). Zusammen mit der Entwicklung der technischen Möglichkeiten der Computermodellierung führte der Systemtheorieansatz zu einer rasanten Entwicklung auf dem Gebiet der Simulation der Dynamik komplexer Systeme. Grundsätzlich kann die Dynamik eines Systems als eine Menge von Kausalbeziehungen zwischen Systemelementen oder als Trajektorien in einem Phasenraum dargestellt werden (Lewin 1992).

Ein wichtiges Einsatzfeld der Systemtheorie liegt im Bereich der Analyse der dynamischen Entwicklungen im GW. Der Gedanke einer „*Nachhaltigen Entwicklung*“ ist eng mit der Elastizität und Widerstandskraft der Ökosphäre gegenüber anthropogenen Störungen verbunden (Rotmans 1998a). Der GW kann als die Summe dieser Störungen und der verursachten Reaktionen verstanden werden. Dies verdeutlicht auch die Notwendigkeit systemischer Analyseansätze, die anthropogene und ökologische Elemente sowie die Ursache-Wirkungsketten zwischen ihnen enthalten. Vor diesem Hintergrund wurden in den letzten drei Dekaden Versuche unternommen, die Welt und ihre Veränderung in einer integrierten, holistischen Systemsicht zu beschreiben. Die für diese Aufgabe entwickelten Modelle zur Analyse und Prognose der Veränderungsprozesse werden als „*Integrated Assessment Models*“ (IAM) bezeichnet. Sie stellen ein Werkzeug zur Verfügung, das es ermöglicht die Komplexität gesellschaftlicher und ökologischer Prozesse sowie ihre Interaktionen in Zeit und Raum in Form formaler Modelle abzubilden. Eine Analyse des Erdsystems benötigt neben einer

Strukturierung und Beschreibung der Komponenten des Systems vor allem ein Verständnis für die im System ablaufenden Prozesse, Interaktionen und Rückkopplungsmechanismen (Rotmans 1998a). „*Integrated Assessment*“ (IA) bietet einen geeigneten Rahmen zur Verknüpfung mehrerer Fachdisziplinen für diese Aufgabe und versucht:

- die koordinierte Erforschung möglicher zukünftiger Zeitverläufe (Trajektorien) des Mensch-Natur-Systems,
- neue Einsichten in die Schlüsselfragen zukünftiger Politikgestaltung zu gewinnen, und
- die Prioritätensetzung von notwendiger Forschung zur verbesserten Identifizierung stabiler politischer Handlungsoptionen (Weyant et al. 1996).

Die für ein IA notwendige Integration von Anthroposphäre und Ökosphäre erfordert von Anfang an eine inter- oder transdisziplinäre Herangehensweise. Um die gestellte Aufgabe erfolgreich bewältigen zu können ist eine enge Zusammenarbeit zwischen dem interdisziplinären integrativen Teil und den Forschungen der einzelnen Fachdisziplinen notwendig. Im Allgemeinen kann zwischen zwei Klassen von IA Methoden unterschieden werden, den analytischen und den partizipativen Methoden. Während die analytischen Methoden stark in den Naturwissenschaften verankert sind und Modell-, Szenario- und Risiko-Analysen umfassen, haben die partizipativen, interaktiven Methoden ihre Wurzeln in den Sozialwissenschaften und beinhalten partizipative Verfahren unter Mitwirkung von Betroffenen sowie Expertengremien, Delphibefragungen und Politikbewertungen.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von „*Integrated Assessment*“ Modellen¹¹

Vorteile von IAM	Nachteile von IAM
<ul style="list-style-type: none"> • Auffinden von Wechselwirkungen und Rückkopplungen • flexibles und schnelles Simulationswerkzeug • Rahmen zur Strukturierung von Wissen • Kommunikationswerkzeug komplexer Zusammenhänge 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Integrationsebene; Prozesse auf der Mikroebene werden vernachlässigt • ungenügende Behandlung von Unsicherheiten • Abwesenheit eines stochastischen Faktors → Ausschluss von selteneren Extrembedingungen • limitierte Kalibrierungs- und Validierungsmöglichkeit

Ein Großteil der bisher bestehenden IAM ist auf den globalen Klimawandel fokussiert¹². Ausgehend von verschiedenen räumlichen Skalen werden im Folgenden verschiedene Ansätze zur Analyse und Modellierung von Prozessen des GW auf globaler, regionaler und lokalen Ebene beispielhaft vorgestellt.

¹¹ Zusammenstellung aus Materialien des International Centre for Integrative Studies (ICIS), Universität Maastricht.

¹² Für eine ausführlichere Bewertungen und Umsetzungen von IA wird auf Schellnhuber (1998), Schellnhuber & Yohe (1998), Rotmans (1998, 1998a), Rotmans & Dowlatabadi (1998), Dowlatabadi & Morgan (1993), Morgan & Dowlatabadi (1996), Parson & Fisher-Vanden (1997), Tol & Vellinga (1998) und Weyant et al. (1996) verwiesen.

2.1 Globale Ansätze

Aus praktisch-politischen Überlegungen zur zukünftigen Entwicklung des Zivilisations-Natur-Systems entstanden in den 60er / 70er Jahren erste computergestützte Globalmodelle zur Untersuchung der Probleme die aus dem Komplex von Wachstum, Entwicklung Ressourcenausbeutung und Umweltbelastung erwachsen (Bodemer 1984). Diese Computersimulationsmodelle versuchen möglichst viele für eine Problemstellung relevante Ursache-Wirkungsbeziehungen und die zwischen verschiedenen Problemen bestehenden Interaktionen quantitativ zu beschreiben. Die methodischen Wurzeln liegen im Zugang über die klassische Systemanalyse wie sie von Forrester (1971, 1972) im *World2* Modell verwendet wurde. Eine Weiterentwicklung dieses Modells, *World3* (das erste globale Computersimulationsmodell), wurde für den Bericht von Meadows et al. (1972) an den *Club of Rome* verwendet.

World3

World3 ist ein Computermodell zur Simulation und Planung möglicher Entwicklungen der Welt. Es beschreibt die Interaktionen zwischen den wichtigsten sozialen und physikalischen Komponenten der Erdsystems. Das Modell wurde mit dem Gedanken entwickelt, ein besseres Verständnis über die mögliche Tragfähigkeit der Erde in Bezug auf die zivilisatorische Entwicklung zu erlangen. Es soll Aufschluss über die Bedingungen und Entscheidungen für ein Angleichen an diese Grenzen der Tragfähigkeit liefern, ohne in eine Katastrophe abzugleiten. Die wichtigsten Charakteristika des Modells sind die Darstellung von Wachstumsprozessen und ihren Grenzen, Verzögerungszeiten bei der Annäherung an die Grenzen sowie die aus dem Erreichen und Überschreiten der Grenzen resultieren Degradationsprozesse in den Umweltkompartimenten. Das Modell verfolgt die Entwicklung von Bestandsgrößen wie Bevölkerung, Industriekapital oder Umweltverschmutzung durch Zu- und Abflüsse. Viele der kausalen Beziehungen zwischen den Bestandsgrößen und den sie ändernden Faktoren sind nicht-linear. Die modellierten nicht-linearen Beziehungen und Regelkreise liefern eine komplexe Darstellung der Interaktion von Sozioökonomie und Umwelt. Das Modell besteht aus fünf Sektoren und 225 Hauptvariablen, die jeweils für den globalen Durchschnittswert folgender Größe stehen:

1. **Umweltverschmutzung:** Variablen zur Beschreibung des Entstehens von Umweltverschmutzung und zu Chancen des Umweltschutzes; z. B. Umweltverschmutzungsgrad, Technologieentwicklung für Umweltschutz etc.
2. **sich erschöpfende Ressourcen:** Variablen zur Beschreibung der Nutzung von Ressourcen, wie Rate der Ressourcennutzung, Technologie zur Ressourcenschonung etc.
3. **Bevölkerung:** Variablen zur Beschreibung des Bevölkerungsentwicklung und des demographischen Übergangs, wie Fertilitäts- und Mortalitätsraten, Lebenserwartung etc.
4. **Landwirtschaft:** Variablen zur Beschreibung der Ernährungssituation, wie Nahrungsmittelerzeugung, Bodenfruchtbarkeit, Landentwicklung, Erosion etc.
5. **Wirtschaft:** Variablen zur Beschreibung der Leistungen der Industrie und der industriellen Umweltbelastung, wie Industrieoutput, Dienstleistungsoutput, Arbeitsplätze etc.

Für durch Anfangswerte und bestimmte Modellkonfigurationen charakterisierte Szenarien berechnet *World3* alle Wechselwirkungen zwischen den 225 Hauptvariablen und aktualisiert mit den Resultaten die Basisvariablen. Dieser Vorgang wird iterativ in Halbjahresschritten für den Simulationszeitraum von 1900 bis 2100 durchgeführt. Die Resultate der Szenarien wurden in dem Buch „Die Grenzen des Wachstums“ (Meadows et al. 1972) vorgestellt, das eine heftige und kontroverse Debatte über die scheinbar pessimistische Grundhaltung der Autoren auslöste, die das Buch als eine Art Weltuntergangsszenario erscheinen ließ. Auch wurde den Autoren eine zu stark neomalthusianische Sichtweise der Umwelt- und Ressourcenkrise vorgeworfen (Ehrlich & Holdren 1988). Neuere Szenarien und Entwicklungen sowie Entgegnungen der Autoren zu den verschiedenen Kritikpunkten sind in Meadows et al. (1992) dargestellt.

Das *World3* Modell wird oft auch als Modell der ersten Generation bezeichnet (Bodemer 1984). Es inspirierte die Entwicklung weiterer globaler Modelle zur Beschreibung und Prognose von Ressourcenverbrauch, Bevölkerungsentwicklung und Umweltverschmutzung. Beispiele hierfür sind die Modelle der zweiten Generation, die versuchten auf die Kritik zum Meadows-Modell einzugehen und es zu verbessern. Ein erster Schritt stellte das Mesarovic-Pestel-Modell (1974) dar, in dem eine stärkere Regionalisierung der Modellkomponenten vorgenommen wurde. Aus Kritik zum Industrieländerfokus entwickelten lateinamerikanische Sozialwissenschaftler das Beriloche-Modell (Herrera & Skolnik 1977), das auf die Entwicklungschancen und optimierte, wünschenswerte Entwicklungspfade für Entwicklungsländer fokussiert (Bodemer 1984). Der Blickwinkel wurde hier von den „Grenzen des Wachstums“ auf die, nach Auffassung der Autoren, sozioökonomisch und politisch motivierten „Grenzen des Elends“ hin verschoben. Allerdings modellieren weder diese noch andere Modelle, wie beispielsweise SARUM für die landwirtschaftliche Produktion (SARU Staff 1977) oder MOIRA mit einem Fokus auf Welthunger (Linnemann et al. 1979), politische und soziale Probleme direkt.

Kritikpunkte an diesen Modelle sind die starken disziplinären Bindungen der Entwickler, ihre Ausrichtung an den ideologischen und wirtschaftspolitischen Präferenzen der Arbeitsgruppen, die fehlenden Interaktionen zu den Betroffenen und den politischen Entscheidungsträgern sowie die Qualität des verwendeten Datenmaterials (Bodemer 1984).

Der Welt-System-Theorie-Ansatz

Dieser Ansatz widmet sich hauptsächlich dem historischen Verständnis politischer und sozialer Entwicklungen der Zivilisationsgeschichte. Der Welt-System-Theorie Ansatz stellt einen politikökonomischen Ansatz zur Beschreibung soziologischer Prozesse auf globaler Ebene dar (Bornschiefer 1984). Ziel dieser soziologischen Weltbeschreibung ist die Erzeugung vergleichend angelegter, prediktiver Makrotheorien der Entwicklung mit einem besondere Fokus auf Kapitalismus und der Entstehung von Disparitäten zwischen Peripherie und Zentrum (Antweiler 1999). Zentrales Konstrukt der Welt-System-Theorie ist die selbsterhaltende Reproduktion von Ungleichheit zwischen Zentrum, Semiperipherie und Peripherie die eine starke historische Dynamik über die letzten 500 Jahre darstellt (Chase-Dunn & Hall 1997, 1997a). Ohne diesen weltweiten Blickwinkel sind die Transformationsprozesse einzel-

ner Länder nicht zu verstehen (Antweiler 1999). Dieses iterative Modell von Transformation im Welt-System geht auf das Werk von Immanuel Wallerstein (1974) zurück. Primäres Ziel seines Ansatzes ist die Beschreibung von historisch gewachsenen Entwicklungsdisparitäten und -hierarchien zwischen Gesellschaften im Welt-System: Das Zentrum prosperiert durch Ausbeutung der Peripherie. Seine inhaltlichen Quellen sind (Antweiler 1999):

1. Der **Marxismus**: Ausgehend vom marxistischen Konzept des Kapitals und der Ausbeutung stellt Wallerstein nicht den Klassenkampf, sondern die Entwicklung des kapitalistischen Weltsystems als Markosystem zwischen Staaten in den Vordergrund (Antweiler 1999).
2. Die „**Annales**“-**Schule**: In seiner Welt-System-Sicht beruft er sich auf den französischen Historiker Fernand Braudel und die Schule der „*Annales*“, die die Entstehung und Dynamiken globaler Wirtschafts- und Herrschaftsnetzwerke untersuchen (Knapp 1997).
3. Die **Dependenztheorien**: Diese lateinamerikanische Schule der Abhängigkeitstheorien stellen eine Kritik der Modernisierungstheorien mit der Idee einer nachholenden Entwicklung dar. Ihre Hauptaussage sieht in der „Entwicklung“ in den einen Regionen die Ursache für die „Unterentwicklung“ in den anderen Regionen und stellt damit die Abhängigkeit zwischen entwickeltem Zentrum und unterentwickelter Peripherie in der Welt dar (Antweiler 1999). Die systemische Erklärung von „Unterentwicklung“ kann also nicht durch die lokalen Gegebenheiten, sondern nur unter Einbeziehung der Hierarchie des Welt-Systems erfolgen (Bornschiefer 1984).

Die Welt-System-Theorie stellt vor allem die negativen Seiten von Globalisierungsprozessen in den Vordergrund ihrer Betrachtungen. Sie sieht die globale Strukturbildung durch den Gegensatz von Zentrum und Peripherie und die dort vorherrschende Logik von Akkumulations- bzw. Ausbeutungsprozessen bestimmt. Der Zeithorizont ihrer Erklärungsversuche ist, verglichen mit anderen sozialwissenschaftlichen Theorien, sehr langfristig, wobei relativ starke Pfadabhängigkeiten eines Landes von seiner Ausgangsposition am Beginn der Etablierung des modernen Weltsystems im 15. und 16. Jahrhundert angenommen werden.

Im Horizont der aktuellen sozialwissenschaftlichen Forschung zur Entwicklung des Weltsystems, die im Wesentlichen unter dem Stichwort der Globalisierung geführt wird (vgl. Menzel 1998), nimmt die Welt-System-Theorie auf Grund dieser in vieler Hinsicht neo-marxistischen Eigenschaften eine kritische Rolle ein. Insbesondere die „optimistische“ Lesart von Globalisierungsprozessen, wie sie etwa im in der Ökonomie dominanten Neoliberalismus vorherrscht, wird von ihr angegriffen. Auch gegenüber soziologischen Modernisierungstheorien, die das gleichgerichtete Wirken von technischem Fortschritt, wirtschaftlichem Wachstum, gesellschaftlicher Ausdifferenzierung, politischer Regulation und normativer Integration im Weltmaßstab postulieren, verhält sich der Ansatz von Wallerstein und anderen kritisch. Trotz dieser großteils berechtigten Kritik bleibt die Frage offen, ob die Entwicklung des Welt-Systems tatsächlich in dem von der Theorie angenommenen Maße pfadabhängig, d. h. dadurch historisch auch kaum veränderbar, und vor allem als Nullsummenspiel beschreibbar ist, bei dem die Gewinne einer Seite nur als Verluste einer anderen möglich sind. Neuere

empirische Untersuchungen zur Entwicklung des kapitalistischen Weltsystems im Zeitalter der Globalisierung bestreiten genau diese Annahme (Albert et al. 1999).

In der letzten Dekade gibt es verstärkt Ansätze die Welt-System-Theorie auch zur Analyse globaler Umweltveränderungen und Degradationserscheinungen anzuwenden (Chase-Dunn & Hall 1997, 1997a; Bartley & Bergesen 1997, sowie dortige Referenzen). Chase-Dunn und Hall fokussieren in ihrer Weiterentwicklung von Wallersteins Ansatz auf die positive Rückkopplungsschleife zwischen Hierarchiebildung, d. h. der Zunahme sozialstrukturierter Ungleichheiten in oder zwischen Gesellschaften, und Intensivierung, d. h. Technologieentwicklung und die Übernahme von intensivierten Produktionsweisen, sowie zwischen Akkumulation und Domination. Durch die positive Rückkopplung läuft das System in eine Krise wenn die ökologische Tragfähigkeit einer Region erreicht wird. Da im heutigen Welt-System weder weitere Expansion noch eine Reduzierung des Drucks durch Abwanderung möglich ist, fallen ihre Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklung sehr negativ (Krieg, Selbstzerstörung) aus.

Ein wichtiger Kritikpunkt an den verschiedenen Ansätze zur Umsetzung der Welt-System Theorie ist das Ausgehen von der vagen Grundaussage, dass im Welt-System „Alles mit Allem“ verbunden ist (Knapp 1999). Die gesellschaftliche und ökonomische Entwicklung wird nur durch soziale, politische und ökonomische Prozesse zwischen Zentrum — Semi-Peripherie — Peripherie im Welt-System bestimmt. Diese Prozesse haben zwar eine Auswirkung auf die Natur und Umwelt, werden selbst aber nicht, oder nur wenig, von diesen Auswirkungen beeinflusst. Vor allem die starke Vereinfachung naturräumlicher Prozesse im Welt-System-Ansatz führt zu einer stark vereinfachten, auf die politischen und sozialen Gegebenheiten fokussierten Betrachtung globaler Umweltprobleme. Weitere Kritikpunkte an diesem Ansatz aus soziologischer Sicht sind in Antweiler (1999) und den dortigen Referenzen gegeben.

IMAGE 2

Das IMAGE 2.0¹³ Modell (Alcamo 1994) stellt eines der am weitesten entwickelten IAM für den globalen Klimawandel und seine Auswirkungen dar. Das Modell war das Erste, das verschiedene Aspekte von globalen Landnutzungsproblemen und dem Klimawandel in räumlich höher aufgelöster Form (0.5°x 0.5° Raster) in das Design aufnahm. Es stellt einen prozessorientierten Ansatz zum IA dar. Ziele von IMAGE 2 sind zum Einen die Bewertung der Wichtigkeit von Prozessen, Wechselwirkungen und Rückkopplungsschleifen im Gesellschaft-Biosphäre-Klima-System und zum Anderen die Abschätzung der Unsicherheit und ihrer Quellen in diesem komplexen System. Der politischen Nutzen des Modells liegt in der:

- Bereitstellung einer dynamischen Langzeitperspektive zu den Konsequenzen eines GW,
- Einsichten in die Auswirkungen von GW und
- in der Schaffung einer quantitativen Basis zur Analyse der Effektivität verschiedener Handlungsoptionen im Rahmen des GW.

¹³ IMAGE = Integrated Modell to Assess the Greenhouse Effect

Das Modell in drei gekoppelte Subsysteme gegliedert, in denen wissenschaftliche und politische Aspekte des GW zur Unterstützung der politischen Entscheidungsfindung verknüpft werden:

1. **Das Energie-Industrie-Subsystem** berechnet die Treibhausgasemissionen aus 13 Weltregionen als eine Funktion von Energieverbrauch und industrieller Produktion. Ein Hauptkritikpunkt an diesem Modul ist das exogene Anschließen der wichtigsten Triebkräfte (Bevölkerungswachstum, Wirtschaftswachstum und Technologieentwicklung) über parametrisierte autonome Faktoren.
2. **Das Atmosphäre-Ozean-Subsystem** berechnet die Veränderung der Konzentrationen der treibhauswirksamen Gase in der Atmosphäre, sowie die resultierenden Änderungen in Temperatur und Niederschlag. Das verwendete Klimamodell ist zonal aufgebaut (2-dimensional), d. h. es mittelt über Breitenstreifen. Das verwendete Modell der Spurengas Zusammensetzung in der Atmosphäre ist global gemittelt und unterscheidet nur zwischen troposphärischen und stratosphärischen Konzentrationen.
3. **Das Terrestrische Umwelt Subsystem** simuliert einige wichtige Beziehungen zwischen anthropogenen Landnutzungsänderungen und deren Auswirkungen auf den globalen Klimawandel und die Landbedeckung. In diesem Teil des Modells wird die Transformation der Landbedeckung durch die Einwirkungen der klimatischen, demographischen und ökonomischen Faktoren räumlich hoch aufgelöst ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$ Raster) untersucht. Allerdings haben die Triebkräfte hinter diesen Landnutzungs- und Landbedeckungsänderungen nicht die gleiche hohe räumliche Auslösung, sondern werden auf der Ebene der 13 Weltregionen vorgegeben.

Das Modell wird mit historischen Daten kalibriert und für verschiedene Szenarien der demographischen, technologischen, wirtschaftlichen und energietechnischen Entwicklung bis zum Jahr 2100 simuliert. Während der untersuchte Zeitraum für alle 3 Submodelle gleich ist, unterscheiden sie sich stark in ihren zeitlichen Schrittweiten. Die zeitliche Auflösung reicht von einem Tag bis zu 5 Jahren. Als schwächstes Glied in der im Modell beschriebenen Kausalzusammenhänge erscheint die hoch aggregierte Repräsentation der sozialen, ökonomischen und technologischen Triebkräfte sowie die mangelnde Repräsentation ihrer Unsicherheit. Diese aggregierten Faktoren bestimmen die Dynamik des Modells zu einem großen Teil, was unter anderem auch eine adäquate räumliche Auflösung der Modellergebnisse nicht ermöglicht. Durch die Aggregation der sozioökonomischen Faktoren als homogen über 13 Weltregionen entstehen eine eher unzureichende Repräsentationen von lokalen Heterogenitäten von Regionen.

Eine neuere, verbesserte Version des Modells - IMAGE 2.1 (Alcamo et al. 1999) - enthält Verbesserungen in der Berechnung des zukünftigen regionalen Energieverbrauchs im Bereich des Energie-Industrie-Subsystem sowie Verbesserungen der Simulation von globalen Landbedeckungsänderungen im Bereich des terrestrische Umwelt Subsystems. Hier wird neben anderen Verbesserungen vor allem auch der Landbedarf für die Holz- und Brennholzgewinnung berücksichtigt. Im Bereich des Atmosphäre-Ozean-Subsystems wurden die Sulphat-Aerosole in das Modell integriert, um ihrer Bedeutung als Kühlfaktor im Klimageschehen gerecht zu werden.

TARGETS¹⁴

Das TARGETS¹⁵ Modell stellt eine neuere Generation von IAM dar. Hier wird erstmals der verstärkte Treibhauseffekt und die Klimaproblematik in Zusammenhang mit anderen wichtigen Umwelt- und Entwicklungsproblemen wie Bodendegradation, Entwaldung oder der Süßwasserproblematik modelliert. Das Modell versucht das Konzept einer „Nachhaltigen Entwicklung“ von einer globalen Sichtweise aus, unter Berücksichtigung von Weltgesundheit, Bevölkerungsdynamik, Energieressourcen, den globalen biogeochemischen Stoffkreisläufen sowie Land und Wassernutzungsproblematiken, zu analysieren (Rotmans 1994).

TARGETS ist aus fünf verknüpften Modulen zusammengesetzt, die auf einem „*Pressure, State, Impact and Response*“ (P-S-I-R) Ansatz beruhen, d. h. sie beschreiben den Zustand und die Dynamik eines Systems, den Druck, der auf das System ausgeübt wird, die resultierenden Auswirkungen sowie mögliche politische Handlungsempfehlungen als Antwort (Rotmans 1998). Diese Module stellen Metamodelle dar, d. h., sie sind einfachere, in ihrer Komplexität reduzierte Versionen komplexerer Modelle, die eigenständig zur Modellierung der jeweiligen Problematik eingesetzt werden. Die vertikale Integration der Hauptmodulen erfolgt über Submodule für jede einzelne der P-S-I-R Komponenten (Rotmans 1998a).

Die Hauptmodule von TARGETS sind:

1. **AQUA** - Modul für integrierte Analyse von Wasserproblematiken. Seine inhaltlichen Komponenten umfassen Hydrologie, Wasserqualität, Wasserbedarf und Wasserversorgung. Die Ergebnisse der Simulationen sind Zeitreihen für die Trinkwasserverfügbarkeit, die Grundwasserreserven, die Verteilung der Trinkwasserressourcen und ihre Qualität. Die Effekte eines Klimawandels auf den Meeresspiegelanstieg, die Trinkwasserverfügbarkeit, den Wasserbedarf, die Wasserversorgungskosten, den Anteil der Bevölkerung mit Zugang zu sauberem Wasser, die landwirtschaftliche Bewässerungsfläche sowie den Anteil notwendigen Oberflächenwassers für den Erhalt ökologisch verträglicher Bedingungen sind weitere Resultate.
2. **CYCLES** - Modul zur Beschreibung der langfristigen Dynamiken der globalen C, N, P und S Zyklen, ihrer Interaktion, sowie ihres Einwirken auf den globalen Umweltwandel. Es berücksichtigt die Beziehungen zwischen den Ursachen (anthropogene Störungen der Zyklen), den Mechanismen (Veränderungen der Kreisläufe selbst), und den Auswirkungen (globaler Umweltwandel). Zusätzlich werden noch FCKWs, troposphärisches Ozon und toxische Substanzen in das Modell einbezogen.
3. **ENERGY** - Modul zur Simulation der Nachfrage und des Verbrauchs von kommerziellen Brennstoffen und Elektrizität für verschiedene vorgegebene Stufen ökonomischer Aktivität, der resultierenden Emissionen sowie des Landbedarfs für die Bereitstellung der Brennstoffe. Das Modul besteht aus Submodulen für Energienachfrage, Elektrizitätsgewinnung sowie für verschiedene Brennstoffarten (fest, flüssig, gasförmig).

¹⁴ TARGETS = Tool to Assess Regional and Global Environmental and Health Targets for Sustainability

¹⁵ Die Beschreibung des TARGETS Modells basiert auf Informationen von der TARGETS 1.0 Modell CD-ROM.

4. **TERRA** - Modul zur Beschreibung von Landbedeckung und Landnutzung. Die Nachfrage nach Nahrungsmitteln und Rundholz wird als Funktion von Bevölkerungszahl und Einkommen gesehen. Weitere Determinanten der Landflächen- und Zustandsveränderungen im Modell sind die Wasserverfügbarkeit zur Bewässerung, der Klimawandel und die Bodendegradation. In 3 Submodulen werden die Landnutzungs- und Landbedeckungsdynamik und die Nahrungsmittel- und Futterproduktion in Abhängigkeit von Erosion, Landnutzung und Klimawandel modelliert. Die Folgen werden in Form von Nahrungsmittelengpässen, Verlust von Wäldern und Bodendegradation berechnet, die die Produktivität der Anbauflächen und damit auch das Nahrungsmittelproduktionspotential bestimmen. Mögliche Reaktionen auf die Degradationen sind Neulandgewinnung, Ausweitung von Bewässerungslandwirtschaftsfläche, Intensivierung, Bodenschutzmaßnahmen und Aufforstung.
5. **Population & Health** – Modul zur Simulation der Änderung von Krankheitsanfälligkeit und Sterblichkeit unter verschiedenen sozialen, ökonomischen und Umweltbedingungen. Ausgehend von mehreren sozioökonomischen und ökologischen Determinanten werden Größe und Gesundheit der Bevölkerung bestimmt. Das Modul besteht aus 3 Teilmodulen, einem Fertilitäts-, einem Krankheits- und einem Demographiemodul.

Neben diesen Teilmodellen gibt es als sechstes Element noch einen ökonomischen Szenariengenerator (ECONOMY), der eine einfache Beschreibung der Ökonomie zur Erzeugung von Zeitreihen eines Bruttoweltprodukts (BWP) liefert. Das BWP wird als Summe von Verbrauch, Wert der Industrieproduktion und Dienstleistungen und dem Geldwert der Nahrungsmittelproduktion berechnet und ein Teil des industriellen Outputs den notwendigen Investitionen für Nahrung, Wasser und Energie zugewiesen.

TARGETS startet seine Simulation im Jahr 1900 und läuft bis 2100, wobei die Zeitschritte von einem Monat bis zu einem Jahr variieren können. Im Rahmen der Szenarien werden drei verschiedene Perspektiven für das Wertesystem der Bevölkerung angeboten, die die Eckpunkte eines Wertedreiecks liefern: „*Hierarchist*“, „*Egalitarian*“ und „*Individualist*“. Dabei werden systematische Änderungen in den jeweiligen Modellannahmen der Teilmodelle vorgenommen um die jeweiligen Handlungsweisen modellieren zu können. Die erste Version des Modells läuft mit global aggregierten Variablen. Für folgende Versionen ist eine Unterteilung in 6 Weltregionen geplant, für die dann ein jeweils repräsentatives Land modelliert wird. Der Wert des Modells liegt eher im Verständnis der Prozesse des GW als in seiner Vorhersagekraft (Rotmans 1998a).

2.2 Regionale Ansätze

Für viele der im Rahmen des GW zu untersuchenden Problemlagen ist eine Abschätzung regionaler Folgen und Beiträge zu den globalen Prozessen sehr wichtig. Deshalb wurden in der letzten Dekade verstärkt Anstrengungen unternommen, die regionalen Auswirkungen und Folgen von globalen und regionalen Einflüssen auf Umwelt und Gesellschaft abzuschätzen. Zwei Beispiele für solche Ansätze zur Untersuchung von regionalen

Auswirkungen globaler und regionaler Zivilisation-Natur-Interaktionen werden im Folgenden kurz vorgestellt.

WAVES¹⁶

Das WAVES Kernprojekt am Potsdam- Institut für Klimafolgenforschung beschäftigt sich mit der Integration der Forschungsaktivitäten eines internationalen Forschungsverbunds zu die zu erwartenden Klimaänderungen im semi-ariden Nordosten Brasiliens. Hauptziel ist es, die Wechselwirkungen zwischen Wasserverfügbarkeit und Migration aus ländlichen Gebieten zu verstehen, um so mögliche Wege einer nachhaltigen Entwicklung aufzeigen zu können. Das Gesamtmodell wird derzeit in einem Projektverbund mit deutschen und brasilianischen Partnern entwickelt (Krol et al. 2000). Für die Rückkopplung innerhalb der Einzelmodelle der beteiligten wissenschaftlichen Disziplinen werden die relevanten sektoralen Prozesse in unterschiedlichen Zeit- und Längenskalen zunächst interdisziplinär-kompatibel definiert. Das Gesamtmodell versucht über die einzelnen wissenschaftlichen Disziplinen hinweg zu integrieren und Modelle der Klimatologie, Hydrologie, Agrarökonomie sowie der Soziologie / Psychologie der Migration, die menschliches Entscheidungsverhalten beschreiben, zu koppeln. Im Modellkonzept ist die Landflucht als eine Anpassung der Bevölkerung an die sich verschlechternden Lebensbedingungen definiert. Beschäftigung und Einkommen auf der Basis von Ackerbau und Viehzucht sind wichtige Faktoren für die Lebensqualität, die stark vom Klima und der Wasserverfügbarkeit abhängen.

Im Teilmodell des PIK, dem die integrative Aufgabe zufällt, wird die Beziehung zwischen Wasserverfügbarkeit und Migration aus zwei Richtungen untersucht: Zum einen werden die relevanten internen Prozesse sowie die von außen steuernden Kräfte großräumig untersucht, zum anderen werden in den Teilprojekten die Mechanismen der Einzelprozesse teilweise detailliert nachvollzogen, um die Prozessparameter des integrierten Modells abschätzen zu können. Das so entwickelte integrierte Modell **SIM (Semi-arid Integrated Model)** beschreibt die Dynamik des Kausalgeflechts, Wasserverfügbarkeit – Landwirtschaft – Lebensqualität, für die Bundesländer des brasilianischen Nordostens von einer systemtheoretischen Warte aus (Krol et al. 2000). Hypothese über relevante Elemente der Beschreibung der Dynamik des System bestimmte die Auswahl der Variablen und Prozesse die intern im Model repräsentiert werden und von solchen die als Triebkräfte in die integrierten Szenarien eingehen. Als räumliche Diskretisierungseinheit dienen die 332 Munizipien der Bundesstaaten Ceará und Piauí. Die zeitliche Auflösung reicht von einem Tag bis zu fünf Jahren und richtet sich nach dem zugrundeliegenden Prozess. Der Zeithorizont des Modells liegt in der Größenordnung von 50 Jahren.

Das SIM-Modell besteht aus 4 Hauptmodulen:

1. **CLIMO**: Eine der wichtigsten treibenden Kräfte der im Modell betrachteten Prozess, ist das Klima. Eine Rekonstruktion historischer Klimadaten für die 60-jährige Periode von 1920 bis 1980 und eine Simulation der Jahre 2001 bis 2050 wird mit Hilfe eines Klima-

¹⁶ WAVES = **W**ater **A**vailability, **V**ulnerability of **E**cosystems and **S**ociety in the Northeast of Brazil

modells bereitgestellt. Die Variablen sind Niederschlag, Globalstrahlung, minimale und maximale Temperatur, Windgeschwindigkeit und relative Luftfeuchte. Im Szenario werden statistische Charakteristika der Rekonstruktion mit angenommenen großräumigen Klimatrends kombiniert, die aus transienten Klimaänderungssimulationen eines globalen Klimamodells (ECHAM 4) abgeleitet werden.

2. **HYMO:** Das Modul besteht aus zwei Komponenten für die natürliche Wasserverfügbarkeit unterschiedlicher Wasserspeicher einerseits und für die Wassernachfrage in unterschiedlichen Nutzungssektoren andererseits. Die Kopplung der Teilmodule erfolgt in zwei Schritten über die Zuordnung der Wassernutzungsarten zu den unterschiedlichen Wasserspeichern und einer anschließenden Berechnung der entnommenen Wassermenge in Abhängigkeit von Wasserangebot und Bedarf.
3. **LAMO:** Das Landwirtschaftsmodul stellt die Verbindung zwischen Wasserverfügbarkeit und Lebensqualität her. Die Erträge bestimmen in Abhängigkeit von den Niederschlagsbedingungen und den Böden den ökonomischen Erfolg der Landwirtschaft und damit das Einkommen.
4. **SEMO:** Der sozioökonomische und soziokulturelle Teil versucht über szenarienspezifizierte Annahmen für Einflussvariablen der Lebensqualität, eine Beschreibung der Lebensbedingungen. Abhängig von der Lebensqualität wird eine Tendenz zur Migration abgeleitet, die die dynamischen Prozesse des demographischen Modells und damit die Bevölkerungsentwicklung einer Region beschreibt.

Die Hauptteile bestehen aus Teilmodellen in denen die Entwicklungen bestimmter Variablen beschrieben werden, die durch extern definierte Kräfte oder in anderen Teilmodellen errechnete, interne Variablen beeinflusst werden. Externe treibende Kräfte, wie z. B. Geburten- und Sterberaten oder auch Preisentwicklungen agrarökonomischer Produkte werden nicht im Modell errechnet, sondern gehen als Szenarien in die entsprechenden Teilmodelle ein.

Die McKenzie Einzugsgebietsstudie

In dieser Studie wird ein „*Integrated Regional Assessment*“ für das McKenzie Einzugsgebiet im Norden Kanadas durchgeführt. Diese Studie zeichnet sich vor allem durch ihr „*stakeholder involvement*“ aus, d. h. die Integration der betroffenen Bevölkerung. Das untersuchte Einzugsgebiet ist das zehntgrößte der Erde mit etwa 1.8 Mio. km² und ist nur sehr dünn mit etwa 150 000 Menschen besiedelt. Die Annahme, dass gerade Regionen in höheren Breiten am stärksten von einem Klimawandel betroffen werden, motivierte diese Studie über die Auswirkungen eines Klimawandels auf diese arktische und sub-arktische Region (Cohen 1993, 1994). In der Studie werden Szenarien für Klimawandel und sozioökonomische Trends über einen Zeitraum von 50 Jahren verwendet. Für den Klimawandel wurden 4 unabhängige Szenarien verwendet:

- zwei 2 x CO₂-Gleichgewichtsläufe von Globalen Zirkulationsmodellen (GCM), eines vom „*Canadian Climate Centre*“ (CCC) und eines vom *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* in Princeton (GFDL-R30);

- ein transienter GCM-Lauf vom *Goddard Institute of Space Studies* (GISS); sowie
- ein rasterzellenweise zusammengesetztes Szenario von Daten des CCC, Klimaaufzeichnungen von vergangenen „warmen“ Jahren, paläoklimatischen Daten und positionsanalogen Daten vom Klima anderer Standorte.

Für das Bevölkerungswachstum und die sozioökonomische Entwicklung wurden ebenfalls 4 Szenarien verwendet, um die große Bandbreite möglicher plausibler Entwicklungspfade für die Region darstellen zu können.

Die Analysen wurden von einem Verbund von 40 Forschungsinitiativen an Universitäten, Bundes- und Provinzeinrichtungen auf verschiedenen zeitlichen und räumlicher Skalen durchgeführt. Die genutzten Werkzeuge reichten von Geographische Informationssystemen (GIS) über Modelle hin zu Interpolationsmethoden für das „Downscaling“ der Klimadaten. Jede der an der Studie beteiligten Einrichtungen untersuchte mehrfach einen Standort und Auswirkungssektor unter derzeitigen Bedingungen und unter den jeweils 4 Klima- und sozioökonomischen Szenarien. Die Integration erfolgt über die Sektoren hinweg und untersucht die Auswirkungen auf jedem Sektor mit den beteiligten Änderungen in den anderen Sektoren. Zur Reduzierung der Anzahl der Industrien wird das McKenzie Einzugsgebiet mit Hilfe einer angepassten Version des kanadischen regionalen Input-Output-Modells als eine einzelne Region in der Modellierung behandelt. In 2 weiteren unabhängigen Teilprojekten wurde ein GIS-gestütztes Multiattributschema zur Integration der natürlichen Ressourcenbasis entwickelt. Hier sollen in einer Weiterentwicklung auch Informationen aus den physischen, biologischen und sozialen Bereichen mit traditionellem, indigenen Wissen über die regionalen Ressourcen und ihre Klimaabhängigkeit verbunden werden, um so auch die lokalen Adressaten besser ansprechen und in den Analyseprozess integrieren zu können. Die Studie definiert politikrelevante Fragestellungen und geht sehr weit in der Partizipation der lokalen Bevölkerung in den Prozess. Allerdings wird die Effektivität des „Assessments“ durch die Diversität der beteiligten Institutionen und der teilweise fehlenden Koordination stark eingeschränkt (Cohen 1993, 1994).

2.3 Lokale Ansätze

Die im Folgenden vorgestellten Ansätze versuchen vergleichbare Aussagen über regionale Erscheinungsformen globaler Umweltveränderungen aus lokalen Fallstudien zu generieren. Diese Ansätze stehen in der geographischen Fallstudientradition. Vor allem die Beziehung zwischen sozioökonomischer Entwicklung und Landnutzungsänderungen steht hier im Vordergrund der Untersuchungen.

In der Literatur zu globalen Umweltveränderungen werden eine Reihe von Problembereichen sehr eng mit anthropogenen Landnutzungsänderungen verknüpft, wie z. B. Bodendegradation, Biodiversitätsverluste, Verarmung der lokalen Bevölkerung, etc. (vgl. Barrow 1991, 1995; Doppler 1997; Goudie 1994; Johnson & Lewis 1995; Manshard & Mäckel 1995; Nisbet 1994; Roberts 1994; Turner et al. 1995; WBGU 1993 ff.). Dementsprechend lassen sich auch wesentliche Aspekte möglicher kritischer zukünftiger Entwicklungen der Mensch-Um-

welt-Beziehungen gut durch die Dynamik von Landnutzungsänderungen erforschen. Eine weit verbreitete Form der Beschreibung von landnutzungsänderungsbedingten, kritischen Zuständen bzw. Entwicklungen der Mensch-Umwelt-Beziehungen stellen die in der geographischen Tradition erzeugten regionalen und lokalen Fallstudien und Erhebungen dar. Diese Studien liegen zwar in einer sehr großen Zahl für die verschiedenen Regionen der Welt vor, sind allerdings in ihrer Aussagekraft nur schwer vergleichbar und in ihrer Anzahl auch nur schwer überschaubar. Auf Grund der großen Heterogenität von verwendeten Methoden und Fragestellungen sowie den uneinheitlichen räumlichen und zeitlichen Auflösungsgrad der untersuchten Probleme, führt eine bloße Addition der vorliegenden Resultate allein noch nicht zu einem global kohärenten Bild der vergangenen und der zukünftigen Dynamik. Nur unter Heranziehung zielgerichteter Methoden der vergleichenden Fallstudienauswertung, sowie zusätzlicher Informationsquellen (z. B. globaler Datensätze) und Modellen der Landnutzungs-dynamik, die auch qualitativ und unscharf vorliegendes Wissen verarbeiten können, ist das große, aber bislang weitgehend unausgeschöpfte Potential an regionalen Fallstudien für die möglichst konsistente Analyse globaler landnutzungsbedingter Umweltveränderungen nutzbar (Petschel-Held & Lüdeke 2001).

Ansätze zur Gruppierung der in vielen Fallstudien aufgestellten Wechselwirkungshypothesen finden sich z. B. bei Leonard (1989) für die Entwicklungsländer, nach dessen Untersuchungen hohes Bevölkerungswachstum, landwirtschaftliche Modernisierung auf Gunststandorten sowie ungleiche Landverteilung (eingeschränkter Zugang der ländlichen Bevölkerung zu produktivem Land) in Abhängigkeit von den natur- und sozialräumlichen Gegebenheiten zu spezifischen Landnutzungsänderungsmustern mit Degradationsfolge führen. Kates und Haarmann (1992) systematisieren darüber hinaus auch die sozioökonomischen Auswirkungen landnutzungsänderungsbedingter Degradation der Ressourcenbasis über die Identifikation verschiedener typischer Verarmungs-Degradations-Spiralen. Neben diesen grundsätzlichen methodischen Überlegungen gibt es noch eine weitere, relativ neue Forschungsrichtung aus dem Umfeld der Geographie, die sich im Zuge der Erforschung globaler Umweltveränderungen zu einer wichtigen Integrations- bzw. Metadisziplin herausgebildet hat. Hier werden *systematische Vergleiche des Zustands* und der *Dynamik kritischer Mensch-Natur-Interaktionen* in gänzlich verschiedenen Regionen durchgeführt. Zum Teil ist dies gekoppelt an internationale Forschungsprogramme wie das LUCC-Projekt von IHDP und IGBP.

Neben diesen Forschungsprogrammen stellt vor allem die Arbeit der Gruppe um Kasperson et al. („*Regions at Risk*“ 1995) einen Meilenstein in der problemorientierten vergleichenden geographischen Fallstudienauswertung dar und ist für die integrierte Analyse von regionalen und globalen Umweltveränderungen von großer Bedeutung. Ausgewählt und untersucht wurden in dieser Studie neun Regionen deren *regionale Entwicklungspfade* durch qualitative Zeitverläufe (*Trajektorien*) von aggregierten Variablen charakterisiert werden. Diese qualitative Zeitverläufe beschreiben nur die qualitativen Beziehungen zwischen den Variablen im Sinne von gegenseitiger Verstärkung oder Abschwächung. Diese Herangehensweise führt zur Vergleichbarkeit der beobachteten Prozesse in verschiedenen Regionen. Die in dieser Studie untersuchten Regionen sind:

1. **Amazonien** - eine Region an der Entwaldungsfront mit Umwandlung von tropischem Regenwald zu marginaler landwirtschaftlicher Nutzfläche.
2. **Das östliche Sundaland** (Indonesien, Malaysia) - eine Region tropischen Regenwalds die von internationalen Holzeinschlagsfirmen bedroht wird.
3. **Die Ukambani Region Kenias** - eine semi-aride Region im östlichen Kenia die von einer Änderung der traditionellen Lebensweisen sowie Landflucht der männlichen Bevölkerung betroffen ist.
4. **Eine Gebirgsregion in Nepal** – die von schnellem Bevölkerungswachstum unter Wandel der Produktions- und Nutzungsweisen der fragilen Umwelt betroffen ist.
5. **Das Ordos-Plateau in China** - eine aride Region in der inneren Mongolei, die Ziel eines zentral geplanten Landentwicklungsprojekts wurde.
6. **Die Aralseeregion** - eine aride Region die durch den zentral geplanten Eingriff in den Wasserhaushalt für ein Megabewässerungsprojekt zerstört wurde.
7. **Das Llano Estacado** - eine semi-aride Region in den südlichen USA, wo in großen Maßstab Bewässerungslandwirtschaft auf Kosten fossiler Grundwasserressourcen und unter starker Erosion betrieben wird.
8. **Der Kessel von Mexiko Stadt** - eine der größten Konzentrationen von Menschen und Industrie weltweit, der in einem abgeschlossenen Umfeld durch schnell ansteigende Verschmutzung von Wasser und Luft gelegen ist und in seiner Versorgung von den umliegenden Regionen abhängig ist.
9. **Die Nordsee** - ein gemeinsamer Ressourcenpool, der umgeben von den am längsten industrialisierten und reichsten Nationen der Welt zu einer Senke der Abfälle der Konsumgesellschaft wurde.

Beim derzeitigen Stand der Forschung muss dieser Ansatz als stimmiger Versuch zur Schließung der weithin konstatierten Lücke zwischen lokalen und regionalen Fallstudien und Weltmodellen bzw. globalen Charakterisierungen menschlicher Umweltveränderungen gesehen werden. Insbesondere die Suche nach regionalen Trajektorien, also die qualitative Charakterisierung von kritischen Zeitverläufen von Variablen, ist ein wichtiger Ansatzpunkt für die integrierte Analyse regionaler und globaler Umweltveränderungen. Als Kritik an dem Ansatz ist das verwendete hohe Aggregationsniveau der Variablen „*Umweltzustand*“ zu nennen. Eine Disaggregation nach gesonderten Trends in der Hydro-, Bio- oder Pedosphäre, ist im Allgemeinen notwendig, um regionalen naturräumlichen Besonderheiten Rechnung zu tragen und die jeweils wichtigen landnutzungsbedingten Umweltschädigungen zu identifizieren. Das Aggregationsniveau „*menschliche Wohlfahrt*“ wiederum müsste angesichts der bekanntermaßen hohen nationalen und regionalen sozioökonomischen Disparitäten differenziert werden. Eine Unterscheidung nach sozialen Gruppen, wie sie etwa bei Rocheleau et al. (1995) angedeutet ist, ist anzustreben.

2.4 Defizite der bisherigen Herangehensweisen

Wie aus der Beschreibung der bisherigen Ansätze zur Analyse globaler und regionaler Umweltveränderungen deutlich wurde, ist noch keine optimale Lösung gefunden. Bei den globalen Modellierungsansätzen findet durch die globale Aggregation der Variablen meist keine räumliche Differenzierung statt. Die Verbindung der einzelnen Modellelemente erfolgt über wenige Austauschparameter und die verwendeten Teilmodelle erscheinen eher als „*black boxes*“. Auch die üblicherweise verwendete Parametrisierung einiger weniger Schlüsselgrößen der Ökonomie als Repräsentanz von ökonomischen und sozialen Handeln, erscheint fragwürdig und wird der Realität nur unzureichend gerecht. Auch die Welt-System-Theorie-Ansätze greifen in ihrer monokausalen Beschreibung über Entwicklungsdisparitäten zu kurz.

Die bisherigen auf Kausalhypothesen beruhenden, quantitativen Modellierungsansätze von regionalen Landnutzungsänderungsdynamiken, wie sie in den globalen IAM (z. B. Alcamo et al. 1998 oder Zuidema et al. 1994 für IMAGE) gegeben sind, fallen oft, was die Berücksichtigung und Verknüpfung von Einflussfaktoren angeht, hinter den Wissenstand um die Wirkungsmechanismen aus den qualitativen Analysen zurück (siehe auch Smil 1993). Bei rein statistischen Ansätzen andererseits (z. B. Veldkamp & Fresco 1996; Mertens & Lambin 1997) bleibt prinzipiell die Frage nach der räumlichen und zeitlichen Übertragbarkeit der Prognose offen. Ausgehend von einer ausführlichen Analyse der bestehenden Beschreibungen und Erklärungen des Landnutzungsänderungskomplexes im Zusammenhang mit dem GW, konstatieren Turner et al. (1995), dass die Modellierung der Dynamik von Landnutzungsänderung und Landbedeckungsänderung durch die große Variation der natürlichen und sozialen Gegebenheiten behindert wird. Die auf relativ einfachen Annahmen beruhenden, global aggregierte Abschätzungen treffen in den wenigsten Teilen der Welt zu, während die lokalen und regionalen IA zu begrenzt sind, um auf andere Maßstäbe extrapoliert werden zu können. Als alternative Forschungsstrategie sollen, ausgehend von einer Initiative des LUCC-Projekts, standardisierte Fallstudienanalysen erfolgen. Neben einem standardisierten Analyseverfahren für bereits bestehenden Fallstudien zu Landnutzungsänderungen und ihren Folgen sollen auch neue, standardisiert durchzuführende Fallstudien erhoben und analysiert werden. Zur formalen Behandlung der Dynamik schlagen Turner et al. (1995) die Verwendung von bisher in anderen Zusammenhängen genutzten qualitativen (Kosko 1986) oder topologischen (Odum 1983) Verfahren zur Analyse der typischen Ursache-Wirkungs-Beziehungen vor. Eine alternative Vorgehensweise über die standardisierte Analyse bereits bestehenden nicht-standardisiert erhobener Fallstudien wird von Petschel-Held und Lüdeke (2001) vorgestellt. In einer systematischen Weiterführung des Syndromkonzepts und des Kasperson'schen Ansatzes (Kasperson et al. 1995) werden hier regionale Fallstudien unter Verwendung Qualitativer Differentialgleichungen (Kuipers 1994; Petschel-Held et al. 1999, 1999a) verglichen und zu qualitativen Modellen riskanter funktionaler Muster (HFP - „*hazardous functional pattern*“) integriert.

Diese methodischen Defizite der bisher bestehenden Herangehensweisen zur Beschreibung und Analyse globaler Umweltveränderungen und des Zivilisation-Natur-Systems motivieren die Beschreibung über typische Ursache-Wirkungsmuster. Dieser Ansatz muss in seiner

funktionalen Auflösung eine mittlere Ebene der Erklärung der Prozesse des GW ansteuern, die die vorhandenen Kausalmechanismen besser repräsentiert als die stark vereinfachten Kausalketten der bisherigen Weltmodelle, aber nicht versucht die Welt aus der atomaren Sicht unzähliger Fallstudien zu beschreiben. Die kleinste, im Bezug auf die wesentlichen Ursache-Wirkungszusammenhänge homogene, räumliche Einheit ist hierbei anzustreben. Die funktionale und die räumliche Auflösung müssen dabei in Übereinstimmung stehen. Es sollte so weit von den individuellen Fallstudien abstrahiert werden, dass die grundlegenden Prozesse erkennbar, vergleichbar beschrieben und analysiert werden können. Diese Aufgabe verlangt auch eine räumliche Abstraktion. Weder kann die Welt als eine „Box“ beschrieben werden, noch kann sie im Maßstab 1:1 reproduziert werden. Der benötigte Beschreibungsansatz muss flexibel von der globalen bis auf die regionale Ebene anwendbar sein. Die benötigte Auflösung muss ein Modellieren auf einer Ebene zulassen, so dass Ergebnisse von Prognosen vor dem Eintritt der Ereignisse fertiggestellt werden können und politische Handlungsempfehlungen zu Prävention aber auch zur Lösung bestehender Probleme abgegeben werden können. Diese Aufgabe wird derzeit erfolgsversprechend mit dem Syndromkonzept zu lösen versucht.

3 Das Syndromkonzept

Die Grundaufgabe der Geographie ist die Erklärung der Grundlagen der Erde und die vielfältigen sozialen und wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen. Sie untersucht die Umwelt des Menschen und die komplexen räumlichen Beziehungen zwischen Mensch und Umwelt. In diesem Rahmen untersucht sie die Kräfte und Wechselwirkungen, welche die natürliche Gestaltung der Erdoberfläche, die verschiedenen Lebensformen des Menschen und die Dynamik geobiochemischer, ökologischer, sozialer, politischer und ökonomischer Systeme bestimmen. Damit verbindet die Geographie den naturwissenschaftlichen mit dem sozialwissenschaftlichen Blick und kann so übergreifende Zusammenhänge in einer komplexen Welt erfassen.

Diese Beschreibung der Geographie als eine interdisziplinäre Wissenschaft ist allerdings durch die Teilung der Geographie in Allgemeine Geographie, mit Physischer Geographie und Anthropogeographie, und in die Regionale Geographie nur noch schwer aufrecht zu erhalten. Der Fokus der Geographie während der letzten Dekaden lag eher auf rein regionalen und sektoralen Studien. Hier wurde entweder versucht räumlich relativ kleine Regionen in all ihren Details zu erfassen, oder nur einen sektoralen Ausschnitt einer Region zu erfassen und diesen mit Anderen zu vergleichen.

Die heutigen Anforderungen an die Geographie sind unter dem Blickwinkel des GW und einer nachhaltigen Entwicklung (Kap. 1) umfassender als es die derzeit häufig praktizierte Trennung in die Felder Anthropogeographie und Physische Geographie, mit jeweils eigenständiger Methodik und Problemausrichtung, zulässt. Diese Einengung führt oft zu unvollständigen Beschreibungen wichtiger Prozesse in den zu untersuchenden Systemen von Zivilisation-Natur-Interaktionen:

Modern social theory proposes that the analysis of human society should consider the agencies of local people. By analogue, the explication of landscape change requires the study of particular places. Our study ... considers both these elements as part of a postmodern regional geography, wherein nature and society are co-dependents. The relation between them reflect continual cultural appraisals of both the natural environment and economic capacities (Zurick & Karan 1999: 329).

Diese Forderung nach einer „Postmodernern Geographie“ verlangt nach einer integrierten, Regionen übergreifenden Betrachtung der zu untersuchenden Problemlagen. Damit beruft sie sich auf den eingangs dieses Abschnitts bereits erwähnten Grundgedanken der Geographie als einer Verbindung der naturwissenschaftlichen mit dem sozialwissenschaftlichen Kompetenz, die es erst ermöglicht übergreifende Zusammenhänge und Entwicklungen in einer komplexen Welt erfassen.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Syndromkonzept folgt diesen Forderungen und stellt damit einen neuen Ansatz in der geographischen Analyse Zivilisation-Natur-Interaktionen dar. Mit diesem Fokus auf die Interaktionen von menschlicher Zivilisation und Naturraum knüpft das Syndromkonzept durchaus auch an die Tradition eines systematischen Ansatzes der Geo-

graphie für vergleichende regionale Untersuchung besonderer Gebiete und ihrer charakteristischen Eigenheiten an, wie ihn z. B. Alexander von Humboldt, Carl Ritter, Ferdinand von Richthofen und Alfred Hettner schon im 19. Jahrh. vertraten. Allerdings ist das Syndromkonzept den heutigen Methoden und Erkenntnissen angepasst. Es geht über den in dieser Zeit vorherrschenden Gedanken, dass menschlichen Verhalten maßgeblich durch die naturräumlichen Gegebenheiten bestimmt ist hinaus und sieht die menschliche Zivilisation als einen wesentlichen bestimmenden Faktor auch der Naturraumgestaltung an, was die heutigen Gegebenheiten und Erkenntnisse im Rahmen des GW widerspiegelt (Kap. 1).

Das Syndromkonzept setzt seinen Schwerpunkt in der funktionalen Betrachtung der problematischer Entwicklungen über einzelne sektorale und disziplinäre Grenzen hinweg. Dies erlaubt die aggregierte vergleichende Betrachtung von Systemen der Zivilisation-Natur-Interaktion in verschiedenen Regionen. Erschwerten bisher oft die regionalen Besonderheiten kultureller, sozialer oder naturräumlicher Art, eine regional vergleichende Untersuchung, so gestattet die aggregierte, funktionale Herangehensweise fundierte Aussagen über diese Schranken hinweg zu erstellen. Durch die Einbeziehung qualitativer Elemente, ist es möglich wichtige nicht quantifizierbare Informationen aus in die Analyse mit einfließen zu lassen. Auch wenn die Resultate dieser Analysen oft von einem eher qualitativem Charakter sind, geben sie doch wichtige Erkenntnisse weiter und sind oft „wahrer“ oder „ehrlicher“ als die „Berechnung“ abstrakter Zahlenwerte, die im Allgemeinen weder kritisch hinterfragt noch in der Bandbreite ihrer Fehlerabschätzung gesehen werden. Da ein großes Problem globaler Analysen in der Vergleichbarkeit der statistisch erhobenen Daten oder in der Auswertung von mit Hilfe von Fernerkundungstechniken erzeugten Daten liegt, dürfen die vorhandenen qualitativen Informationen über Änderungen und Zeitverläufe wichtiger Parameter, die oft auch aus den narrativen Aussagen der ortsansässigen indigenen Bevölkerung stammen, nicht als außer acht gelassen werden. Ohne dieses Wissen bleiben die Analysen unvollständig und sind stark von unserem - das rein Quantitative als Wahrheit ansehende - Weltbild überprägt.

Die verwendeten Kausalzusammenhänge im Rahmen des Syndromkonzepts sind auf Grund ihrer komplexeren Netzstruktur besser für die Analyse der Zivilisation-Natur-Interaktionen geeignet, als die in den bisherigen „*Integrated Assessment*“ Weltmodellen oft angenommen einfacheren Kausalketten (Kap. 2). Die Syndrome bieten eine den Skalen der Probleme angepasstere räumliche Auflösung als sie in den anderen Modellierungsansätzen zum GW gegeben ist. Diese anderen Analyse- und Modellierungsansätze lassen sich weitgehend in die zwei Klassen „kulturloses Weltmodell“ und „unsystematische Fallstudie“ einteilen (Kap. 2). Das Syndromkonzept bietet einen integrativen Ansatz, der versucht die Vorteile beider Herangehensweisen zu kombinieren, ohne die Nachteile zu übernehmen. Der Abstraktionsgrad der Syndrommuster befindet sich dabei auf einer Ebene, die es ermöglicht ähnliche, im Kern übereinstimmende, problematische Ursache-Wirkungsmuster zu aggregieren und verallgemeinernde Aussagen zu erstellen. Ein weiterer Vorteil des Syndromkonzepts liegt in seiner Eingängigkeit und Bildhaftigkeit die es zu einem geeigneten Instrument macht, die Prozesse des GW illustrativ auch an Nicht-Experten (z. B. die interessierte Öffentlichkeit oder auch politische Entscheidungsträger) zu vermitteln.

Diese Eigenschaften machen das Syndromkonzept auch zu einem interessanten Analysewerkzeug für die Geographie. Gerade die Disziplinen und Sphären übergreifende Natur des Ansatzes macht ihn für die Geographie, die in ihrem Ursprung ja selbst eine interdisziplinäre Wissenschaft darstellt, äußerst attraktiv. Ziele des Syndromkonzept sind:

- ein systemarerer, funktional orientierter Überblick der Prozesse des GW auf verschiedenen räumlichen und zeitliche Skalen.
- das Aufzeigen nicht-nachhaltiger Verläufe von Entwicklungsmuster um somit die Leitplanken für eine „Nachhaltige Entwicklung“ bestimmen zu können.
- zur Operationalisierung des Nachhaltigkeitskonzepts beizutragen.
- die Identifikation der Zerlegung des GW in funktionale Muster welche die beste Entkoppelung zwischen den beteiligten Einzelmustern liefert.

Vor diesem Hintergrund wird in der Analyse der Prozesse des GW häufig auf intuitives Expertenwissen sowie auf Aussage aus regional oder funktional orientierten Fallstudien für die Beschreibung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zurückgegriffen. Geht man nun davon aus, dass diese Informationen innerhalb ihres jeweiligen Kontextes als „richtig“ zu bezeichnen sind, so geht es bei der angestrebten Untersuchung um eine konsistente Strukturierung und verallgemeinernde Formalisierung des Einzelwissens, die sich letztlich an der Rekonstruktion der historisch nachvollziehbaren Entwicklung des GW und seiner Problemlagen messen lassen muss. Im Rahmen der „*Wissenstheorie*“ werden Ansätze wie von Kasperson et al. (1995), LUCC, oder auch das Syndromkonzept als „*Case-Based Reasoning*“ bezeichnet. Ausgehend von einer überschaubaren und behandelbaren Zahl von Fallstudien werden Hypothesen über die wichtigsten Kausalzusammenhänge innerhalb eines potentiell nicht-nachhaltigen Entwicklungsmusters getroffen. In einer formalen Analyse werden daraus Aussagen über die räumliche Verteilung des Musters und die zeitliche Entwicklung einzelner beteiligter Elemente oder Elementgruppen getroffen. Diese Ergebnisse können dann wiederum mit weiteren Fallstudien hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung und zeitlichen Entwicklung verglichen werden. Die zeitliche Dynamik kann empirisch entweder aus quantitativen Daten oder aus Fallstudien, z. B. in Form qualitativer Trajektorien, wie in der wegweisenden Studie von Kasperson et al. (1995), gewonnen werden. In diesem Sinne steht das Syndromkonzept in der Tradition diese Ansatzes und bietet ein gut geeignetes Werkzeug zur Verallgemeinerung und Verknüpfung disziplinären Fallstudien- und Einzelwissens. Aber auch hier kann das Syndromkonzept nur so gut sein, wie seine Grundlagen in den Einzeldisziplinen. Vor diesem Hintergrund lässt sich die Grundthese des Syndromkonzepts formulieren:

*Der **Globale Wandel** lässt sich in seiner **Dynamik** auf eine **überschaubare Zahl** von **Kausalmustern** in den **Mensch-Umwelt Beziehungen** zurückführen. Die nicht-nachhaltigen Verläufe dieser dynamischen Muster werden im Folgenden als **Syndrome des Globalen Wandels** bezeichnet.*

Beispielsweise sind die anthropogenen und naturräumlichen Ursachen und Folgen von Bodenerosion in der Sahel-Region Afrikas (Abschnitt 5.2) grundlegend anders als die, des

physikalisch sehr ähnlichen Prozesses die neben extremen Wetterereignissen zu dem bekannten „*Dust-Bowl Ereignis*“ in den Vereinigten Staaten zu Anfang des 20. Jahrhunderts führten. Im ersten Fall ist es die weitgehend marginalisierte ländliche Bevölkerung, die zur Aufrechterhaltung ihres Lebensunterhaltes auf die Nutzung der unfruchtbaren, trockenen Böden angewiesen ist und diese daraufhin zwangsläufig sehr leicht übernutzt. Im Falle der großen Sandstürme in den *Great Plains* der USA dagegen lag eine Hauptursache in der Intensivierung und Mechanisierung der Landwirtschaft während der 20er und 30er Jahre (Abschnitt 5.3). Ein weiteres Beispiel sind die unterschiedlichen Triebkräfte für die Entwaldung in Kanada im Vergleich zu denen die in weiten Teilen Amazoniens anzutreffen sind. Während im ersten Fall die Bedeutung der Holzindustrie für die gesamte Volkswirtschaft im Vordergrund steht (Abschnitt 5.1), wird die Entwaldung in Amazonien, die zu einem großen Teil durch Wanderfeldbau verursacht wird (Herkendell & Pretzsch 1995), im Wesentlichen durch die Erschließungsprogramme für Siedlungs- und Straßenbau seitens der Regierung angetrieben. Dies bedeutet allerdings nicht, dass im Falle Amazoniens die erste Nutzungsvariante zu vernachlässigen ist. Andererseits gibt es Regionen mit sehr ähnlichen Wirkungszusammenhängen in den Mensch-Umwelt-Wechselwirkungen.

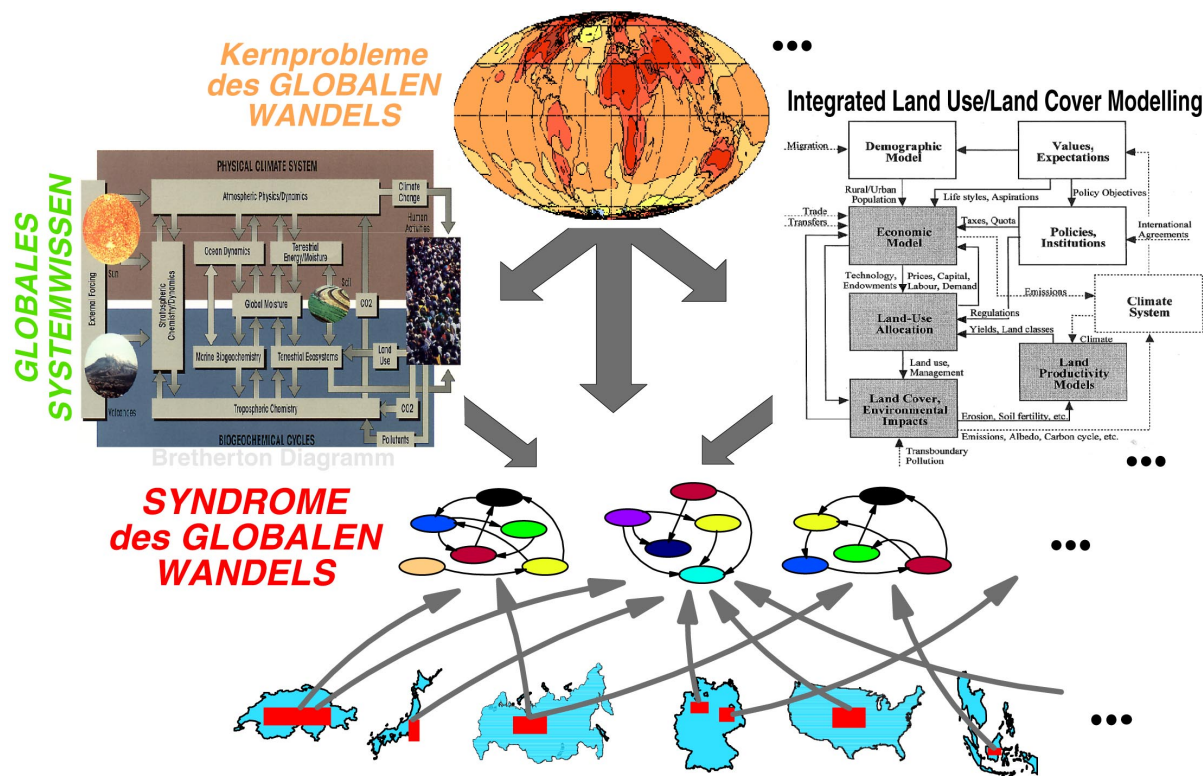
Der Mechanismus der Bodenübernutzung in der Sahel-Region lässt sich noch in vielen anderen Regionen der Welt feststellen, so z. B. in Rajastan, Afghanistan, Teilen von Südamerika oder dem Maghreb, um nur einige wenige zu nennen. Ähnliche Verwandtschaften in den grundlegenden Mechanismen lassen sich auch bei den anderen angesprochenen Wirkungszusammenhängen feststellen.

Die potentiell nicht-nachhaltigen, bisher weder komplett erfassten, noch in ihren vielfältigen Auswirkungen vollständig verstandenen dynamischen Muster der Mensch-Natur-Koevolution bilden den Hauptzugang zum Verständnis des GW und seiner Auswirkungen. In diesem Sinne ähneln diese Muster „*Krankheitsbildern*“ mit einem nur in Teilen verstandenen Verlauf. Verschiedene wichtige Entwicklungen und Trends im Rahmen des GW (für Beispiele siehe Kap. 1) können – ähnlich Symptomen als Teil verschiedener Krankheitsbilder – in verschiedenen nicht-nachhaltigen Entwicklungsmustern auftreten. In den folgenden Abschnitten werden die Grundelemente der Beschreibung der Prozesse des GW im Syndromkonzept vorgestellt.

3.1 Grundlegende Elemente des Syndromkonzepts

Das generelle Vorgehen für die Identifikation und Formulierung von Syndromen folgt einer integrativen Herangehensweise iterativ alternierend aus zwei verschiedenen Annäherungsrichtungen. In einem „*Top-Down*“-Ansatz wird eine erste Hypothese für die Art der problematischen Entwicklungsmuster und ihrer Elemente aus dem generalisierten Wissen um die allgemeinen Mechanismen des Erdsystems, sowie über die wichtigsten Kernprobleme im Rahmen des GW gewonnen (Abbildung 6). Aus diesem globalen Systemverständnis heraus werden erste, auf Expertenwissen beruhende, Muster erstellt, die dann mit einem „*Bottom-Up*“-Ansatz der Analyse detaillierter lokaler und regionaler Fallstudien verknüpft, überprüft und verbessert werden. Zur Integration von disziplinärem

Expertenwissen qualitativer und quantitativer Art werden vor allem Techniken aus dem Bereich der Fuzzy-Logik (Zimmermann 1993, Böhme 1993; Cassel-Gintz et al. 1997) und der Qualitativen Differentialgleichungen (Kuipers 1994; Petschel-Held et al. 1999) eingesetzt. Die grundlegenden Elemente der so gebildeten Ursache-Wirkungsmuster - der Syndrome - sind in Tabelle 2 kurz definiert und werden im Folgenden näher erläutert.



DETAILLIERTE LOKALE UND REGIONALE FALLSTUDIEN & PROBLEMLAGEN
 Abbildung 6: Herangehensweise zur Identifikation und der Syndrome des GW. Das Wissen über GW-Kernprobleme und über die grundlegenden globalen Systemzusammenhänge der Ökosphäre und Anthroposphäre liefern zusammen mit Expertenwissen aus detaillierten, lokalen und regionalen Fallstudien, Muster der Mensch-Natur-Interaktion.

Tabelle 2: Definitionen der Grundbegriffe des Syndromkonzepts

Symptome	<ul style="list-style-type: none"> • sind die Grundelemente der systemanalytischen Beschreibung der Dynamik des GW im Rahmen des Syndromkonzept. • geben eine transdisziplinäre Zusammenschau der wichtigsten Entwicklungen im Rahmen des GW als qualitative Elemente. • bezeichnen komplexe natürliche oder anthropogene, dynamische Phänomene ohne die internen Vorgänge im Detail aufzulösen. • werden zunächst unbewertet umgangssprachlich definiert. • sind durch Indikatoren messbar. • beinhalten die temporalen Charakteristika der spezifischen Trends; $X = (X, \dot{X}, \ddot{X}, \dots)$
Wechselwirkungen	<ul style="list-style-type: none"> • sind die Verknüpfungselemente der systemanalytischen Beschreibung der Dynamik des GW im Rahmen des Syndromkonzept. • spezifizieren die Form der Kausalbeziehung zwischen Symptomen unter bestimmten gegebenen Bedingungen. • können zwischen einem einzelnen Symptompaar bestehen, oder synergistisch zwischen mehreren an einer Kausalbeziehung beteiligten Symptome wirken.

SYNDROME	<ul style="list-style-type: none"> • sind nicht-nachhaltige Entwicklungsmuster in der Zivilisation-Natur-Koevolution, die nur über die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementen erklärt werden können. • sind anthropogen verursachte Schädigungsmuster. • sind Interaktionsmuster komplexer Phänomene. • werden mittels interdisziplinärer und intersektoraler Ursache-Wirkungskomplexe semi-formalisiert. • sind charakteristische Konstellationen von Symptomen und ihren Wechselwirkungen. • sind über die einzelnen Sphären des Erdsystems hinweg formuliert.
-----------------	---

3.1.1 Symptome des GW

Die bisherigen Ansätzen zur Beschreibung des GW nutzten relativ einfach zu indizierende Basisvariablen, wie z. B. CO₂-Konzentration der Atmosphäre, Bevölkerungszahlen oder Bruttosozialprodukte. Im Gegensatz dazu werden im Syndromkonzept die *wichtigsten Entwicklungen des GW* als qualitative Elemente verwendet. Da diese Symptome so formuliert wurden, dass sich in ihrem Bedeutungsinhalt möglichst wenig Überschneidungen finden, ist es möglich, sie als grundlegende Elemente einer systemanalytischen Beschreibung der Dynamik des GW zu verwenden. Sie bilden die Grundlage für die Beschreibung der Entwicklung der Zivilisation-Natur-Koevolution im Syndromkonzept. Sie bezeichnen komplexe Prozesse, ohne jedoch die internen Vorgänge detailliert aufzulösen. Es wird im Syndromkonzept davon ausgegangen, dass die symptominternen Mikromechanismen für die Analyse und das Verständnis der wesentlichen Strukturen des GW nur eine untergeordnete Rolle spielen. Im Allgemeinen werden die Symptome durch Indikatoren bestimmt, die sich direkt oder indirekt aus einem Mess- oder Beschreibungsprozess ergeben (Petschel-Held et al. 1995). Diese Indikatoren können sowohl physikalische, chemische oder biologische Beobachtungsgrößen als auch Größen sein, die sich im Rahmen sozialwissenschaftlicher Umfragen ergeben. Wesentlich ist, dass diese Informationen nicht vollständig vorliegen müssen, sondern nur Hinweise auf den qualitativen Charakter bereitgestellt werden müssen. Auf diese Weise lassen sich auch unscharfe Messgrößen verwenden, wie etwa die Expertenbefragung zur weltweiten Bodendegradation¹⁷ (Oldeman et al. 1990).

Auf der Basis von Expertenwissen wurde bisher eine Liste von ca. 80 – 90 Symptomen aufgestellt, die für den GW hochrelevante Trends enthalten (Tabelle 3; WBGU 1996). Die Symptome als Grundelemente der Beschreibung des GW sind zunächst umgangssprachlich definiert wie z. B. *Globaler Klimawandel*, *Urbanisierung* oder *Wachsendes Umweltbewusstsein* und geben Auskunft über die Hauptmerkmale der globalen Entwicklung. Eher problematische Vorgänge wie *Klimawandel*, *Schwund von Artenvielfalt* oder *Bodenerosion* stehen neben ambivalenten Trends wie *Globalisierung der Märkte* oder *Fortschritt in der Bio- und Gentechnologie*, die je nach Blickwinkel und konkreter Ausprägung positiv oder negativ zu bewertende Effekte haben können. Hinzu kommen auch Entwicklungen, von denen man sich eine Abschwächung der globalen Probleme erhofft, wie z. B. *Verstärkung des nationalen*

¹⁷ GLASOD = Global Assessment of Human Induced Soil Degradation

Umweltschutzes, Emanzipation der Frau, Wachsendes Umweltbewusstsein oder Zunahme internationaler Abkommen. Auf diese Weise finden sich die meisten Hauptthemen der öffentlichen und internationalen Debatte zum GW im Syndromkonzept wieder.

Tabelle 3: Globale Symptom-Sammlung

BIOSPHERE Konversion natürlicher Ökosysteme Fragmentierung natürlicher Ökosysteme Zunahme anthropogener Artenverschleppung Resistenzbildung Zunehmende Übernutzung biologischer Ressourcen Gen- und Artenverluste Verlust biosphärischer Senken Verstärkung von biosphärischen Quellen Schädigung von Ökosystemstruktur und -funktion	PEDOSPHERE Zunehmende Deposition und Akkumulation von Abfällen Verdichtung Versauerung / Kontamination Fertilitätsverlust (Humus, Nährstoffe) Erosion, morphologische Änderungen Versiegelung Versalzung, Alkalisierung Überdüngung
BEVÖLKERUNG Bevölkerungswachstum Gesundheitsschäden durch Umweltbelastung Urbanisierung Landflucht Zersiedelung Internationale Migration	ATMOSPHERE Verstärkter Treibhauseffekt Troposphären Verschmutzung Reduktion stratosphärischen Ozons Zunehmende regionale Luftverschmutzung Globaler und regionaler Klimawandel Zunahme von Spurengasen
HYDROSPHERE Meeresspiegelanstieg Veränderung des Grundwasserspiegels Änderung ozeanischer Strömungen Veränderung der Eiskappen und Gletscher Süßwasserverknappung Veränderung der Wasserqualität (Pathogene, Nährstoffe, Toxine) Veränderung der lokalen Wasserbilanz Veränderte Frachten von partikulären & gelösten Stoffen	GESELLSCHAFTLICHE ORGANISATION Verstärkung des nationalen Umweltschutzes Bedeutungszunahme der NRO Demokratisierung Soziale und ökonomische Ausgrenzung Zunahme ethnischer und nationaler Konflikte Institutionalisierung von Sozialleistungen Zunahme der internat. Abkommen & Institutionen Individualisierung Zunahme von sozialen & ökonom. Disparitäten Rückgang traditioneller gesellschaftlicher Strukturen Zunahme der strukturellen Arbeitslosigkeit Politikversagen
WISSENSCHAFT UND TECHNIK Automatisierung, Mechanisierung Medizinischer Fortschritt Fortschritt in der Informationstechnologie Verbesserung des technischen Umweltschutzes Entwicklung regenerativer Energien und Rohstoffe Entwicklung neuer Werkstoffe, stoffliche Substitution Wissens- und Technologietransfer Fortschritt in der Bio- und Gentechnologie Intensivierung von Ausbildung und Qualifikation Wachsendes Technologierisiko	PSYCHOSOZIALE SPHERE Sensibilisierung für globale Probleme Ausbreitung westlicher Konsum- und Lebensstile Anspruchssteigerung Emanzipation der Frau Wachsendes Umweltbewusstsein Erhöhung der Mobilitätsbereitschaft Zunehmendes Partizipationsinteresse Zunahme fundamentalistischer Strömungen
WIRTSCHAFT Zunehmender Tourismus Tertiärisierung Globalisierung der Märkte Internationale Verschuldung Ausbreitung der Geldwirtschaft Zunehmender Protektionismus Ausbau der Verkehrswege Wachsendes Verkehrsaufkommen Rückgang der traditionellen Landwirtschaft Intensivierung der Landwirtschaft	Zunahme umweltverträglicher Wirtschaftsweisen Zentralisierung Wirtschaftspolitischer Strategien Aufbau technischer Großprojekte Industrialisierung Steigerung der Ressourcenproduktivität Steigerung der Arbeitsproduktivität Steigerung der Kapitalintensität Zunahme der Welthandelsströme Steigerung der Nahrungsmittelproduktion Ausweitung landwirtschaftlich genutzter Flächen Zunehmender Verbrauch von Energie & Rohstoffen

Einige der Hauptthemen oder *Kernprobleme des GW* sind direkt mit entsprechenden Symptomen identisch, andere lassen sich im Sinne von „*Megatrends*“ als Bündel von verwandten Trends identifizieren. So setzt sich z. B. das Kernproblem Bodendegradation aus mehreren Symptomen der Pedosphäre (*Erosion, Fertilitätsverlust, Versalzung, Versiegelung* etc.) zusammen, während der *Regionale und Globale Klimawandel* einen besonders dominanten Einzeltrend in der Symptomansammlung darstellt. Obwohl die genutzten Symptomnamen im Allgemeinen Veränderungen beschreiben, sind die Namen eher als Überschriften, denn als direkte Trends zu verstehen. Ein Symptom lässt sich formal als ein Tupel verstehen, das aus den relevanten Charakteristika zur Beschreibung des Zeitverhaltens zusammengesetzt ist, ohne allerdings eine eindeutige Richtung aufweisen zu müssen. So ist also, z. B., das Symptom *Internationale Verschuldung* als *gegenwärtiger Schuldenstand, Verschuldung, Beschleunigte Verschuldung*, zu lesen.

Die Symptome des GW stellen bereits einen ersten wesentlichen Abstraktionsschritt in der Analyse der Prozesse des GW dar. Ausgehend von einer überschaubaren Zahl von Fallstudien und Experteneinschätzungen müssen zunächst diejenigen Symptome bestimmt werden, die zur verallgemeinernden Abbildung der verschiedenen, in den Einzelstudien betrachteten Sachverhalte dienen können. So ist etwa in einem bestimmten Wirkungszusammenhang der Übergang vom Grabstock zum Ochsenpflug in Region A ebenso als eine Form der *Intensivierung der Landwirtschaft* zu bewerten, wie die Erhöhung des Ziegenbestandes in Region B oder die Verkürzung der Brachezeit in Region C. Analog, kann die Errichtung eines Megastaudamms in Region D und der Aufbau eines überdimensionalen Wasserentnahmesystems für die Bewässerungslandwirtschaft in einer weiteren Region E unter dem Symptom *Aufbau technischer Großprojekte* zusammengefasst werden.

3.1.2 Wechselwirkungen zwischen Symptomen

Wie aus der Beschreibung der Natur des GW (Kap. 1) und der verschiedenen Analyse- und Modellierungsansätze (Kap. 2) ersichtlich, ist die reine Auflistung der Symptome des GW, selbst bei Beschränkung auf eine einzelne Region oder ein einzelnes Kernproblem, für eine Analyse des Systems und seiner Prozesse nicht ausreichend. Für Deutschland würde zwar eine Vielzahl solcher Symptome, wie z. B. *Urbanisierung, Zersiedelung, Verstärkung des nationalen Umweltschutzes, Tertiärisierung* oder *Ausbau der Verkehrswege* relevant sein, es wird damit allerdings noch nichts über die Ursachen und Wirkungen also die *Kausalzusammenhänge*, gesagt. Zum Anderen sind aber auch die am Kernproblem des globalen und regionalen Klimawandels teilhabenden Entwicklungen, wie z. B. *Wachsendes Verkehrsaufkommen, Meeresspiegelanstieg, Konversion von Ökosystemen*, oder *Verstärkter Treibhauseffekt*, bekannt, doch wird auch hiermit keine Aussage über die bestehenden Kausalmechanismen getroffen. Nur die Kenntnis der Zusammenhänge der einzelnen Systemteile, erlaubt letztlich ein effektives Agieren und Reagieren auf die Problemlagen im Zuge des GW. Ausgehend vom Prozess der Syndromidentifizierung (Abbildung 6) sind verallgemeinernde Aussagen im Bezug auf die *Wechselwirkungen* zwischen den einzelnen Symptomen möglich. Eine solche Charakterisierung ist etwa durch die Aussage

„Je intensiver die Landwirtschaft, desto höher die Bodendegradation.“ (A 1)

gegeben. Diese Aussage ist nur innerhalb eines eingeschränkten Kontextes gültig, der durch bestimmte sozioökonomische und naturräumliche Gegebenheiten determiniert ist.

Verschiedene Formen der Wechselwirkungen zwischen Symptomen und deren Symbolisierung, wie sie in den syndromspezifischen Beziehungsgeflechten verwendet werden, sind in Tabelle 4 dargestellt. Generell steht „→“ für eine verstärkende Wirkung und „—●“ steht für eine abschwächende Wirkung zwischen den in Ellipsen dargestellten Symptomen (Petschel-Held et al. 1999). Die Wirkung zwischen 2 Symptomen kann entweder verstärkend, abschwächend oder auch unbestimmt sein (Tabelle 4). Zwischen 3 oder mehreren Symptomen kann es zu sich bedingenden Wechselwirkungen kommen die neben einfacher additiver Verstärkung oder Abschwächung auch synergistische Wirkung haben können. Im Fall von gegensätzlicher Monotonie in einer sich bedingenden Wechselwirkung zwischen 3 Symptomen müssen die einzelnen Funktionen näher bestimmt werden um zu einer Aussage über das Gesamtverhalten kommen zu können.

Tabelle 4: Wechselwirkungen zwischen Symptomen und deren Symbolisierung

Wechselwirkung	Differential Gleichung	Monotonie	Symbol
B ist eine monoton steigende Funktion von A	$B = f(A)$	$\frac{\partial f}{\partial A} > 0$	
B ist eine monoton fallende Funktion von A	$B = f(A)$	$\frac{\partial f}{\partial A} < 0$	
B ist eine unbekannte Funktion von A	$B = f(A)$	unbekannt	
B ist Summe aus einer monoton steigenden Funktion von A und einer monoton steigenden Funktion von C	$B = f(A) + g(C)$	$\frac{\partial f}{\partial A} > 0, \frac{\partial g}{\partial C} > 0$	
B ist Summe aus einer monoton steigenden Funktion von A und einer monoton fallende Funktion von C	$B = f(A) + g(C)$	$\frac{\partial f}{\partial A} > 0, \frac{\partial g}{\partial C} < 0$	
B ist eine nicht-linear monoton steigende Funktion von A und C	$B = f(A, C)$	$\frac{\partial f}{\partial A} > 0, \frac{\partial g}{\partial C} > 0$	
B ist eine nicht-lineare Funktion von A und , mit monoton steigender Abhängigkeit von A und monoton fallender Abhängigkeit von C	$B = f(A, C)$	$\frac{\partial f}{\partial A} > 0, \frac{\partial g}{\partial C} < 0$	
A ist monoton steigende Funktion von C und B ist monoton steigende Funktion von C	$A = f(C),$ $B = g(C)$	$\frac{\partial f}{\partial C} > 0, \frac{\partial g}{\partial C} > 0$	

3.1.3 Syndrome als funktionale Muster des Globalen Wandels

Innerhalb des Syndromkonzepts wird die These aufgestellt, dass es Cluster von Wechselbeziehungen der in Aussage 1 beschriebenen Art gibt, die unter einem jeweils ähnlichen Kontext gültig sind. So sind bestimmte Varianten der Bedingungen unter denen die folgende Wechselbeziehung:

„Je ärmer die Bevölkerung, desto stärker wird von niedrigem Niveau aus landwirtschaftlich intensiviert.“ (A 2)

als gültig betrachtet wird, identisch mit den Voraussetzungen für Aussage 1 und können zusammenfassend als „*landwirtschaftliche Marginalität mit hauptsächlich Subsistenzbewirtschaftung*“ (QUESTIONS 1996, 1998) charakterisiert werden. Somit ist es möglich, beide Beziehungen im Rahmen eines solchen Kausalmodells als gegeben anzunehmen.

Der Verallgemeinerungscharakter von Aussagen wie Aussage 1 oder Aussage 2 wird nicht nur in der bereits bei der Symptomauswahl erfolgten Abstraktion deutlich. Vielmehr liegt die Essenz darin, dass hier nur von *Monotoniebeziehungen* in der Art „je mehr X, desto mehr Y“ gesprochen wird, nicht aber von spezifischen Funktionsverläufen. Unter diesen Umständen können etwa zwei Aussagen wie „*die Bodenabtragsrate ist eine quadratische Funktion des Ziegenbestandes*“ und „*der jährliche Bodenverlust in cm hängt logarithmisch von der Zahl der Ochsenflüge ab*“ verallgemeinernd zusammengefasst werden.

Die Syndrome stellen damit charakteristische Konstellationen von Symptomen und ihren Interaktionen dar, die sich in vielen Regionen dieser Welt identifizieren lassen. Ihre globale Relevanz erhalten die Syndrome, wenn sie den Charakter des Systems Erde modifizieren und damit direkt oder indirekt die Lebensgrundlagen für einen Großteil der Menschheit, der heutigen oder auch der zukünftigen Generation, spürbar beeinflussen, sie in vielen Regionen der Welt aktiv sind oder aktiv werden können, sowie wenn für die Bewältigung der resultierenden Probleme eine globale Anstrengung erforderlich ist (QUESTIONS 1998). Die Syndrome beschreiben Prozesse mit möglicher nicht-nachhaltiger Entwicklungsdynamik die nur über die Wechselwirkungen zwischen den Einzelelementen erklärt werden können, d. h. die Dynamik der Entwicklungen lässt sich im Wesentlichen durch die aggregierte Beschreibung von Wechselbeziehungen zwischen Symptomen beschreiben. Dies bedeutet jedoch nicht das vollständig Ausblenden der disziplinären Analysen dieser Mikromechanismen. Nur die Kenntnis dieser Mechanismen erlaubt die Formulierung entscheidender *einzelner* Zusammenhänge. Für die notwendige systemanalytische Beschreibung ist jedoch das *gesamte Netzwerk* von Ursachen und Wirkungen bedeutsam. Jedes einzelne dieser „*globalen Krankheitsbilder*“ stellt ein eigenständiges Grundmuster der Kausalitäten der zivilisatorisch bedingten Umweltdegradation dar. Das bedeutet, dass das jeweilige Syndrom im Prinzip unabhängig von den anderen auftreten und sich weiter entfalten kann. Dieses gilt besonders in den Fällen, in denen sich Syndrome durch Selbstverstärkungs- oder Selbsterhaltungsmechanismen, sogenannten „*Teufelkreisen*“¹⁸,

¹⁸ Teufelskreise sind positive, sich selbstverstärkende, Rückkopplungsmechanismen.

auszeichnen, wie z. B. im SAHEL-SYNDROM oder dem MASSENTOURISMUS-SYNDROM. Wenn, wie im ersten Fall, die Lebenssituation der agrarischen Bevölkerung generell durch Intensivierung mit folgender Umweltdegradation schlechter wird, verstärkt sich der Druck zu weiterer Intensivierung der Naturressourcen um ein Überleben zu gewährleisten. Oder wenn, wie im zweiten Fall, die Folgen des bereits ausgebrochenen Syndroms eine Region für touristische Ansprüche unattraktiv machen, wird nach neuen Regionen oder Attraktionen gesucht und das typische Schädigungsmuster breitet sich weiter aus (Petermann 1998). Die grundsätzliche Eigenständigkeit der Syndrome schließt jedoch keineswegs eine passive Überlagerung oder aktive Wechselwirkung solcher Degradationsmuster untereinander aus (siehe Abschnitt 3.2.2).

Ziel der Syndromdiagnose ist es, die Syndrome in ihren Mechanismen zu analysieren und mit Hilfe qualitativer und quantitativer Daten sowie deren Auswertung zu verorten (siehe Abschnitt 3.2). Diese Karten zeigen dann, wo und in welcher Stärke das betrachtete Syndrom vorliegt. Wird jedem einzelnen Syndrom eine spezifische Farbe mit mehreren Intensitätsstufen zugewiesen, dann sollte die Überlagerung der entsprechenden Karten ein aussagekräftiges Bild vom Umwelt- und Entwicklungszustand des Planeten Erde zeichnen.

Auf Grund der Schwierigkeit in der rein empirischen Erstellung der Muster (Probleme der Datenlage; Heterogenität der Daten; generelle Verfügbarkeit von Daten vergleichbarer Metrik, inhaltlicher Aussage und übereinstimmenden Bezugszeitraum) geht der im Syndromkonzept gewählte Zugang geht zunächst von einer durch Expertenwissen bzw. -intuition aufgestellten, vorläufigen Liste von Syndromen als Hypothesen für nicht-nachhaltige Entwicklungsmuster aus. Diese Hypothesen werden im weiteren Prozess dem wachsenden Verständnis für die Problemlagen und der sich zunehmend verbessernden Datenlage angepasst. Dieser Verbesserungsprozess zeigt die Flexibilität des Syndromkonzepts im Umgang mit dem wachsenden Verständnis für die Interaktionen im Zivilisation-Natur-System, eine Fähigkeit, die vielen anderen Ansätzen zur Beschreibung des GW fehlt (Kap. 2).

In einer ersten Einordnung kann zunächst zwischen drei großen Gruppen von Syndromen unterschieden werden:

1. Syndrome als Folge einer unangepassten Nutzung von Naturressourcen als Produktionsfaktoren (Syndromgruppe „**Nutzung**“).
2. Mensch-Umwelt-Probleme, die sich im Zusammenhang mit nicht nachhaltigen Entwicklungsprozessen ergeben (Syndromgruppe „**Entwicklung**“).
3. Umweltdegradation durch nicht angepasste zivilisatorische Entsorgungsanforderungen (Syndromgruppe „**Senken**“).

In Tabelle 5 ist eine Liste der 16 bisher formulierten Syndrome mit jeweils einer Kurzcharakterisierung ihres Mechanismus gegeben (WBGU 1996).

Tabelle 5: Liste der Syndrome des Globalen Wandels

Syndromgruppe „Nutzung“

1. Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte: Das SAHEL-SYNDROM
2. Raubbau an natürlichen Ökosystemen: Das RAUBBAU- SYNDROM
3. Umweltdegradation durch Preisgabe traditioneller Landnutzungsformen: Das LAND-FLUCHT-SYNDROM
4. Nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern: Das DUST-BOWL-SYNDROM
5. Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen: Das KATANGA-SYNDROM
6. Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke: Das MAS-SENTOURISMUS-SYNDROM
7. Umweltzerstörung durch militärische Nutzung: Das VERBRANNT-ERDE-SYNDROM

Syndromgruppe „Entwicklung“

8. Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten: Das ARALSEE-SYNDROM
9. Umweltdegradation durch Verbreitung standortfremder landwirtschaftlicher Produktionsverfahren: Das GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM
10. Vernachlässigung ökologischer Standards im Zuge hochdynamischen Wirtschaftswachstums: Das KLEINE-TIGER-SYNDROM
11. Umweltdegradation durch unregelte Urbanisierung: FAVELA-SYNDROM
12. Landschaftsschädigung durch geplante Expansion von Stadt- und Infrastrukturen: Das URBAN-SPRAWL-SYNDROM
13. Singuläre anthropogene Umweltkatastrophen mit längerfristigen Auswirkungen: Das HAVARIE-SYNDROM

Syndromgruppe „Senken“

14. Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen: Das HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM
15. Umweltverbrauch durch geregelte und unregelte Deponierung zivilisatorischer Abfälle: Das MÜLLKIPPEN-SYNDROM
16. Lokale Kontamination von Umweltschutzgütern an vorwiegend industriellen Produktionsstandorten: Das ALTLASTEN-SYNDROM

Die Namen sind von typischen Regionen in denen die Syndrome aufgetreten sind, von typischen Ereignissen oder einem typischen Schlagwort für die Mechanismen, abgeleitet.¹⁹ Diese Syndromliste stellt keine finale Einordnung der problematischen Entwicklungsmuster dar. Sie soll als eine erste, in Teilen bereits gut überprüfte Hypothese verstanden werden. Durch genauere Untersuchung einzelner Muster kann es, falls eine ausreichende Hetero-

¹⁹ Diese Bezeichnungen wurden vom WBGU (1994, 1996) in der Anfangsphase der Forschungsarbeit gewählt. Vorteil dieser Bezeichnungen ist die schnelle perzeptive Verknüpfung des Syndrommechanismus mit bekannten Problemlagen. Ein Nachteil dieser Namen liegt in der möglichen Vorstellung, ein Syndrom konzentrierte sich auf die Beschreibung von Problemlagen in Regionen oder einzelner historischer Ereignisse und nicht auf die allgemeine Form der in diesen Regionen aktiven, bzw. an diesen Ereignissen, beteiligten Wirkungsmechanismen.

genität der Wirkungsmechanismen festgestellt wird, zu einer Aufteilung in „neue“ Syndrome kommen. Allerdings muss beachtet werden, dass ein Ziel des Ansatzes in einer überschaubaren Typisierung der wichtigsten Muster des GW liegt. Eine Abbildung der Dynamik des Systems Erde im Maßstab 1:1²⁰ kann nicht das Ziel wissenschaftlichen Arbeitens sein. Es ist auch möglich, dass bei näherer Untersuchung der einzelnen Mechanismen ausreichende Ähnlichkeiten sichtbar werden, die den Zusammenschluss zweier oder mehr Syndrome unter einen Hauptmechanismus notwendig machen. Jedes der als nicht-nachhaltig anzusehenden Koevolutionsmuster ist von unterschiedlichen Triebkräften und Ursache-Wirkungsgeflechten geprägt, die einen signifikanten Beitrag zu einem, oder meist auch mehreren, der Kernprobleme des GW leisten (Abbildung 7). Auf Grund dieser unterschiedlichen Mechanismen und Motivationen müssen auch die zur Vermeidung oder Abschwächung eines Kernproblems zu ergreifenden Abhilfemaßnahmen an die einzelnen verursachenden Muster angepasst werden.

	Boden-degradation	Klimawandel	Biodiversitäts-verluste	Globale Entwaldung	Süßwasser-verknappung	Übernutzung & Verschmutzung der Weltmeere	Globale Entwick-lungsdisparitäten
SAHEL-SYNDROM	●	●	●	●	●		●
RAUBBAU- SYNDROM	●	●	●	●	●	●	●
LANDFLUCHT-SYNDROM	●						
DUST-BOWL-SYNDROM	●	●	●	●	●		●
KATANGA-SYNDROM	●		●	●	●		●
MASSENTOURISMUS-SYNDROM	●	●	●	●	●	●	●
VERBRANNT-ERDE-SYNDROM	●	●	●			●	
ARALSEE-SYNDROM	●	●	●	●	● [±]		●
GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM	●	●	●		●		●
KLEINE-TIGER-SYNDROM	●	●	●	●	●		●
FAVELA-SYNDROM	●				●		●
SUBURBIA-SYNDROM	●	●	●		●		
HAVARIE-SYNDROM	●		●		●	●	
HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM	●	●	●	●	●	●	
MÜLLKIPPEN-SYNDROM	●	●	●		●	●	
ALTLASTEN-SYNDROM	●		●		●		

Abbildung 7: Zuordnungsmatrix für Beiträge von Syndromen zu einigen der wichtigsten Kernprobleme des GW (modifiziert nach WBGU 1996); ± bezieht sich auf den im einen Fall süßwasserverknappenden Aspekt des ARAL-SEE-SYNDROMS bei der Wasserab- leitung, im anderen Fall auf den süßwasserbereitstellenden Aspekt von Staudämmen.

Die Entwicklung des Syndrombegriffs wurde vor allem durch die Erkenntnis motiviert, dass in verschiedenen Regionen der Welt ähnliche Mechanismen im System Mensch-Natur fest- stellbar sind. Der den Mustern inhärente „unscharfe Blick“ bedingt, dass nicht in allen Regio-

²⁰ Diese Problematik wird in sehr anschaulicher Weise in einem Essay von Umberto Eco „Die Karte des Reiches im Maßstab 1:1“ aus seiner Reihe von „Streichholzbriefchen“ dargestellt (Eco 1993).

nen in denen ein Syndrom aktiv ist, ein bestimmtes Symptom genau dieselbe Bedeutung haben muss. Auf Grund der verschiedenen geographischen, wirtschaftlichen, sozialen, kulturellen oder ethnischen Unterschiede werden sich kaum zwei Regionen finden lassen, in denen die lokale Repräsentation des Beziehungsgeflechtes eines Syndroms vollständig identisch sind. Je nach regional spezifischer Ausprägung können Symptome hinzutreten, fehlen oder unterschiedlich ausgeprägt auftreten ohne jedoch das charakteristische Muster und die typische Dynamik des Syndroms zu verändern. In jedem Syndrom finden sich jedoch Symptome und Wechselwirkungen, die für die charakteristische Ausprägung des Musters notwendig sind, die also in jeder regionalen Ausprägung auftreten. Diese konstitutiven Elemente eines Syndroms bilden ein vereinfachtes, aber für den Syndrommechanismus notwendiges Beziehungsgeflecht, welches als *Syndromkern* bezeichnet wird.

Betrachten wir als Beispiel das SAHEL-SYNDROM (siehe Abschnitt 5.2), welches den Prozess einer *landwirtschaftlichen Übernutzung marginaler Standorte durch Kleinbauern unter Armutsdruck* beschreibt. Das wesentliche Muster in diesem Syndrom ist durch die folgende zyklische Kausalität gegeben:

Armut führt zu einer *Intensivierung der Landwirtschaft*, die, unter Umständen nach einer Phase der Ertragssteigerung zu einer Übernutzung des Bodens (z. B. durch die notwendig werdende Verkürzung der Brachezeit) führt. Die durch die Übernutzung bedingte *Bodendegradation* wiederum bedingt wesentliche Ertragseinbußen, die wiederum die *Armut* verstärken.

Es erscheint naheliegend, diesen *Teufelskreis* in der Mensch-Natur-Interaktion mit einer möglichen Berücksichtigung der Antriebskräfte, wie z. B. *Bevölkerungswachstum* oder *verstärkte Wirtschaftsregulierung*, als den Syndromkern des SAHEL-SYNDROMS zu betrachten. Damit wäre das Syndrom in den Regionen als aktiv zu betrachten, in denen dieser selbstverstärkende Prozess in der hier beschriebenen oder einer sehr ähnlichen Art und Weise abläuft. Ein weiteres Kriterium für die Auswahl eines Syndromkerns, sind Konstellationen von Symptomen, die eine diffusionsartige Ausbreitung eines Syndroms bewirken. In diesem Fall löst ein regional bereits aktives Syndrom das Auftretensbruch desselben Syndroms in anderen Regionen aus. Diese „*Ansteckung*“ kann unabhängig von der räumlichen Nähe dieser Regionen verlaufen und bezieht sich somit auf eine „*funktionale Nachbarschaft*“.

Das RAUBBAU-SYNDROM (siehe Abschnitt 5.1) ist ein Beispiel für ein solches Verhalten. Das zentrale Symptom *Konversion natürlicher Ökosysteme* bedingt durch seine Irreversibilität in Verbindung mit den korrespondierenden ökonomischen Strukturen einen Diffusionsprozess wie er z. B. in Amazonien zu beobachten ist (Nepstad et al. 1999). Weitere Kriterien für die Bestimmung des Syndromkerns sind neben den bereits diskutierten, eher dynamischen Eigenschaften, Risiken singulärer Katastrophen, Potentiale für Syndromkopplungen sowie die unmittelbare Betroffenheit großer Bevölkerungsteile.

Ein Syndrom ist demnach dann in einer Region aktiv wenn die Dynamik des Syndromkerns mit all seinen Elementen (Symptome sowie Wechselwirkungen) anzutreffen ist. Die Methodik für eine entsprechende Bewertung der Kausalmuster ist Gegenstand von Abschnitt 3.2., in

dem Konzept zur Abschätzung der Anfälligkeit einer Region gegenüber einem Syndrom und der Stärke des Auftretens eines Syndroms vorgestellt werden.

3.2 Die Syndromanalyse

Die Aufgabe der Syndromanalyse lässt sich grundsätzlich in drei große Abschnitte teilen. Im ersten Abschnitt werden mit Hilfe von Expertenwissen und Fallstudienanalyse Hypothesen über die Kausalmuster der Syndrome formuliert. Nach einer zunächst verbalen Beschreibung erfolgt die semi-formale Umsetzung in ein syndromspezifisches Beziehungsgeflecht mit den wichtigsten Symptomen und Wechselwirkungen des Syndroms.

Den zweiten Bereich der Syndromanalyse stellt die Diagnose dar, in der, basierend auf einer GIS-gestützte Datenanalyse die geographische Beschreibung und Lokalisierung des Syndrommechanismus erfolgt. Hier wird vor allem die Bestimmung der Anfälligkeit einer Region für ein Syndrom untersucht, mögliche syndromauslösende Faktoren erforscht sowie die Bestimmung der Intensität von Syndromen vorgenommen.

Im dritten Bereich, der Syndromprognose, wird mit Hilfe einer *qualitativen Modellierung* die Dynamik des GW auf der Basis von Syndromen beschrieben. Hiermit wird eine Methodik für ein Validierungsverfahren der Syndrommechanismen bereitgestellt, indem die zeitlichen Verläufe relevanter Syndromaspekte, wie sie z. B. aus Fallstudien gewonnen werden können, mit Hilfe des Modells „*nachhergesagt*“ werden (*Hindcasting*). Durch die modellgestützte Bewertung von präventiven und kurativen Handlungsempfehlungen für die politischen Entscheidungsträger kann die potentielle Nutzbarkeit des Ansatzes für eine systematische Politikanalyse illustriert werden.

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf dem Gebiet der Syndromdiagnose²¹ mit der geographischen Verortung und Analyse der nicht-nachhaltigen Entwicklungsmuster des GW.

3.2.1 Konzepte zur Syndromdiagnose

3.2.1.1 Das Dispositionskonzept: die geographisch explizite Anfälligkeit

Warum wird eine Region von einem bestimmten Syndrom befallen und von einem anderen nicht? Warum gibt es in der Sahel-Region die „*Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte*“ und weniger eine „*Nicht-nachhaltige industrielle Nutzung von Böden und Gewässern*“? Weshalb ist die „*Vernachlässigung ökologischer Standards im Zuge hochdynamischen Wirtschaftswachstums*“ in Südostasien anzutreffen aber nicht in Westeuropa oder Ostafrika?

Die Beantwortung dieser und ähnlicher Fragen ist nicht nur für die Analyse der aktuellen Dynamik des GW von hohem Wert. Sie gewinnt besondere Bedeutung, wenn man die zukünf-

²¹ Ausführliche Beschreibungen der Syndromprognose unter Verwendung von Qualitativen Differentialgleichungen sind in QUESTIONS (1998), Petschel-Held et al. (1999, 1999a), Petschel-Held & Lüdeke (2001), sowie in der in Vorbereitung befindlichen Dissertation von Moldenhauer (pers. Mitteilung) gegeben.

tige Gefährdung von Regionen gegenüber einem Syndrom bestimmen will, um eine frühzeitige Warnung und die Einleitung von Vorkehrungsmaßnahmen zu ermöglichen.

Die oben gestellten Fragen lassen sich auf einer abstrakten Stufe zusammenfassen: Unter welchen Bedingungen sind die im Syndromkern inhärenten Wechselbeziehungen als Potential vorhanden? Übertragen auf das syndromspezifische Beziehungsgeflecht bedeutet dies die Identifikation des gemeinsamen Kontexts unter dem die Kausalmechanismen Gültigkeit besitzen.

Ein Auslöser, wie z. B. die extremen Trockenheiten der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts in den Regionen südlich der Sahara, kann unter den damals gegebenen Rahmenbedingungen - die ländliche Bevölkerung war für ihren Lebensunterhalt auf die Nutzung von Standorten mit schlechten Produktionsbedingungen angewiesen - zu einer katastrophalen Entwicklung führen. Die gegebenen Strukturen in der Sahel-Zone führten in diesem Falle dazu, dass die Dürrejahre zur Beschleunigung bzw. Initialisierung des weiter oben bereits kurz beschriebenen Teufelskreises des SAHEL-SYNDROMS führten. Die Beschreibung der relativ langsam veränderlichen, naturräumlichen und anthropogenen Strukturen, die eine Region anfällig gegenüber einem bestimmten Syndrom machen, führt uns zum Konzept des **Dispositionsrums**. Hierdurch wird jedem Ort auf der Erde ein Zugehörigkeitswert, im Sinne der Fuzzy-Logik²², zwischen 0 und 1 für die „Anfälligkeit“ oder **Disposition** gegenüber einem bestimmten Syndrom zugewiesen. Als Grundlage für die Berechnung des Dispositionsraums dient ein Satz von Basisindikatoren, der für jedes Syndrom spezifisch ist und für den möglichst an jedem Ort der Erde Daten vorhanden sein sollten.

Am Anfang steht also die Identifikation von Indikatoren für die verschiedenen Strukturelemente des Syndroms. Der bisherigen Erfahrung nach erreicht man bei dieser Suche recht schnell die Grenzen der derzeit gegebenen Datenverfügbarkeit. Es ergeben sich hier bereits spezifische Anforderungen an zukünftige Datenerhebungsprogramme (z. B.: *Earth Watch* der NASA, CIESIN, usw.).

Im zweiten Schritt erfolgt die Verknüpfung der in der betrachteten Region bestimmten Indikatoren, die das Auftreten der Wechselbeziehungen des Syndromkerns mehr oder weniger wahrscheinlich machen. Als Ergebnis erhält man eine Karte derjenigen Regionen, die gegenüber dem betrachteten Syndrom als besonders anfällig anzusehen sind. Der Grad der Disposition kann dabei graphisch durch eine entsprechende Farbreihendarstellung ausgedrückt werden. Die Auflösung der resultierenden Weltkarte bestimmt sich aus den Auflösungen der Einzelindikatoren. So liegen zahlreiche naturbezogene Indikatoren als Rasterdaten vor, derzeit meist mit einer 0.5°x 0.5° oder 5' x 5' Auflösung, wobei die Auflösung der verfügbaren Daten ständig verbessert wird (z. B. Klimatologie [Leemans & Cramer 1991], Vegetationskarten [Olson et al. 1985] oder Pflanzenproduktionsmodell [Warnant et al. 1995]). Hingegen liegen die meisten sozioökonomischen Indikatoren nur in Länderauflösung vor (Brutto-sozialprodukt [BSP], Armutsgrenze, Bildungsausgaben pro Kopf, HDI²³, etc.). Gerade die

²² Für eine kurze Einführung in die Konzepte der Fuzzy-Logik wird auf Anhang I verwiesen.

²³ HDI = Human Development Index; aggregiertes Maß zu Bestimmung des Entwicklungsstands eines Landes

hauptsächlich länderweite Datenverfügbarkeit bei sozioökonomischen Indikatoren führt, insbesondere bei den großen Flächenstaaten (z. B. China, Russland, Indien, Brasilien, etc.) mit teilweise hohen intranationalen Disparitäten, zu erheblichen Problemen bei der Umsetzung des Dispositionskonzeptes. Auch hier zeigt sich weiterer Datenbedarf.

Die auf diese Weise gewonnenen Dispositionskarten bieten aggregierte Informationen von einem hohem Wert, da sie Aufschluss über die Gefährdung der verschiedenen Regionen gegenüber Prozessen des GW geben. Auf Grund dieser Daten können bereits Strategien und konkrete Gegenmaßnahmen entwickelt werden: Entweder man versucht, die Disposition zu mindern (z. B. durch die Schaffung alternativer Einkommensmöglichkeiten für die marginalisierte Landbevölkerung im SAHEL-SYNDROM) oder man versucht, das Auftreten der syndromauslösenden *Expositionsfaktoren* zu verhindern.

3.2.1.2 Das Expositionskonzept: auslösende Faktoren

Das Konzept der *Expositionsfaktoren* fokussiert die Ereignisse die zum Ausbruch eines Syndroms führen können. Bisher wurde diese Analyse allerdings noch für kein Syndrom konsequent systematisch durchgeführt. Daher sind die folgenden Ausführungen eher konzeptioneller Art und die wenigen Beispiele sind noch zu konkretisieren und verweisen auf weiteren Forschungsbedarf in der Syndromanalyse (für weitere Beispiele siehe Schellnhuber et al. 1997 oder QUESTIONS 1998).

Ähnlich zu den Fragen die zum Dispositionskonzept führten, werden auch hier Fragen angesprochen, die durch die Analyse der Auslösefaktoren der Syndrommechanismen beantwortet werden können. Diese Fragen können wie folgend lauten: Wieso werden seit einigen Jahren die Wälder Sibiriens von koreanischen oder norwegischen Konzessionären eingeschlagen (RAUBBAU-SYNDROM)? Weshalb wuchert um Berlin seit einigen Jahren ein wachsender „Speckgürtel“ (URBAN-SPRAWL-SYNDROM)? Die Antworten auf diese Fragen weisen bereits auf den wesentlichen Unterschied zwischen dem Dispositionskonzept und dem Expositionskonzept hin:

- Unter *Dispositionsfaktoren* werden die sich nur langsam ändernden Rahmenbedingungen verstanden. Bei naturräumlicher Disposition sind damit oftmals geologische Zeiträume angesprochen, bei sozioökonomischer Disposition spielen sich die Änderungen im Zeitraum von Jahrzehnten ab.
- Bei *Expositionsfaktoren* handelt es sich um relativ kurzfristige Entwicklungen oder um plötzlich auftretende Ereignisse, die ihre Ursache auch außerhalb des hier zu Grunde liegenden Begriffsbildes des GW haben können. Im oben angesprochenen Beispiels des Berliner „Speckgürtels“ sind dies z. B. der Fall der Berliner Mauer, bzw. die politische Wandlung und wirtschaftliche Öffnung des Ostblocks. Dieses Ereignis kann der Auslöser für ein Einsetzen des SUBURBIA-SYNDROMS im Raum Berlin sein, aber auch der Auslöser für einen wirtschaftlichen Entwicklungsmechanismus nach Art des KLEINE-TIGER-SYNDROMS. Dies verdeutlicht, dass derselbe politische Prozess unterschiedliche Syndrome anstoßen kann.

Es ist allerdings nicht immer möglich Disposition von Exposition klar zu trennen. Expositionsfaktoren sind häufig nicht völlig unabhängig von den Strukturen, die bereits zur Bewertung der Disposition herangezogen wurden. Ist beispielsweise eine Region gegenüber dem RAUBBAU-SYNDROM durch das Vorhandensein von wirtschaftlich ausbeutbaren tropischen Wäldern für die Hartholzgewinnung disponiert, so sind dort andere Expositionsfaktoren entscheidend als in Regionen mit borealen Wäldern, die zumeist nur für die Zellulose-Herstellung geeignet sind. Grundsätzlich muss sich also die Bestimmung der Expositionsfaktoren an dem oben bereits beschriebenen Dispositionsraum orientieren. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Klassen von Expositionsfaktoren identifizieren:

1. *Endogene Faktoren*: Hiermit sind Faktoren gemeint, die im Syndrombegriffsbild des GW bereits eine Rolle spielen. So können Syndrome selbst als Auslöser für andere Syndrome fungieren (Abschnitt 3.2.2). Beispielsweise kann die im SAHEL-SYNDROM auftretende Migration zu einer Verstärkung der Urbanisierungsprozesse in Entwicklungsländern führen und so zu einem Expositionsfaktor für das FAVELA-SYNDROM werden. Ein ähnlicher Fall stellt die „Syndromsukzession“ dar, bei der ein Syndrom einem anderem in derselben Region nachfolgt. Ein Beispiel für diesen Fall ist der Übergang vom KLEINE-TIGER-SYNDROM zum HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM nach dem Abschwächen des starken Wirtschaftswachstums.
2. *Exogene Faktoren*: Das Auslösen eines Syndroms durch Einflüsse, die außerhalb der mit den Syndromen beschriebenen Prozesse stehen. Hier sind unter anderem zu nennen:
 1. *natürliche Katastrophen* singulärer Ausprägung wie Vulkanausbrüche, Erdbeben etc.
 2. *extreme Ereignisse* im Rahmen natürlicher Variabilitäten wie Dürreperioden, Häufung von Sturmereignissen, etc. Ein Beispiel sind die Dürreperioden der 60er und 70er Jahre welche in Afrika zur Marginalisierung großer Bevölkerungsgruppen beigetragen haben, was ein entscheidender Faktor für das Anlaufen der im SAHEL-SYNDROM beschriebenen Armut-Degradations-Spirale war. Andernorts und zu anderen Zeiten wirkten Dürreperioden als ein Expositionsfaktor für das GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM.
 - *politische Singuläre Ereignisse*, wie z. B. die Wende in Mittel- und Osteuropa, welche die Abholzung der sibirischen Wälder mitangestoßen hat (RAUBBAU-SYNDROM). Ereignisse dieser Art können einen Wirtschaftswachstumsschub nach sich ziehen und somit zu Auslösern für das KLEINE-TIGER-SYNDROM werden.
 - *kurzfristige wirtschaftliche Ereignisse*, wie etwa Signale und Veränderungen auf den Finanzmärkten (Preisbewegungen, Wechselkursschwankungen, etc.) die z. B. die Exploitation schwer zugänglicher Ressourcen ökonomisch lohnenswert machen.

Die hier aufgelistete Klassifikation von Expositionsfaktoren ist bisher noch sehr vorläufig und soll zunächst nur einen ersten Eindruck vermitteln. Es ist jedoch bereits klar ersichtlich, dass sowohl kurzfristige Ereignisse (Vulkanausbrüche, Preisverfall), aber durchaus auch mittel- bis längerfristige Vorgänge (Migrationen, Wirtschaftswachstum, usw.) eine Rolle im Auslösen von Syndrommechanismen spielen. Die Expositionsfaktoren führen dazu, dass in bestimm-

ten Bereichen kritische Variablen über einen Schwellwert bewegt werden, ab dem die syndrominterne Dynamik angestoßen wird. Erreicht, z. B., die durch die Intensivierung der landwirtschaftlichen Tätigkeiten hervorgerufene Bodendegradation im SAHEL-SYNDROM einen Grad ab dem die Ernteerträge rückläufig werden, so erwächst die Notwendigkeit zur weiteren Ausweitung und Intensivierung, was den syndrominternen Teufelskreis anwirft. Dieser Vorgang entspricht der Überschreitung der Tragfähigkeit der Region.

Der Grundgedanke des kombinierten Dispositions- und Expositions-Konzeptes ist, dass das Syndrom nur dort ausbrechen kann, wo zu einer ausreichenden Disposition eine entsprechende Exposition tritt. Je nach der internen zeitlichen Dynamik kann es sich unter diesen Umständen dann relativ schnell entwickeln, wie z. B. beim RAUBBAU-SYNDROM oder sich eher langsam entwickeln wie z. B. beim URBAN-SPRAWL-SYNDROM.

Für eine Validierung der Diagnose eines aktiven Syndroms ist also Grundvoraussetzung, dass das gegenwärtige Vorhandensein eines Syndroms nur dort identifiziert werden sollte, wo in der Vergangenheit sowohl Disposition als auch Exposition zusammentrafen. Dies wirft nun die Frage der geographisch expliziten Diagnose gegenwärtig ablaufender Syndrome auf, die im Mittelpunkt des *Intensitätskonzepts* steht.

3.2.1.3 Das Intensitätskonzept: Stärke des Auftretens eines Syndroms

Die Diagnose eines Syndroms sollte, soweit es die Datenlage zulässt, auf eine objektivierbare Datenbasis gestützt sein. Da die verfügbaren quantitativen Daten in den meisten Fällen allerdings nicht ausreichend für eine Syndromdiagnose sind, müssen weitere verfügbaren Informationen aus qualitativen Datenquellen herangezogen werden. Dies kann mittels Expertenbefragung erfolgen oder aus Fallstudien gewonnen werden. Solche qualitativen Informationen spielen im Syndromansatz eine besondere Rolle, da sie zum einen den Bezug auf qualitativ spezifizierte Wechselbeziehungen zwischen den Symptomen erlauben und zum anderen die unzureichende quantitative Datenbasis vervollständigen.

Ausgangspunkt für die Messung der Stärke des Auftretens eines Syndroms - der *Intensität* - ist der bereits angesprochene Syndromkern. Falls sich in einer Region die am Syndromkern beteiligten Symptome und ihre formulierten Interaktionen bestimmen und belegen lassen, so ist anzunehmen, dass die Entwicklung in der betrachteten Region dem syndromspezifischen Entwicklungsmuster folgt. Dies besagt allerdings nicht, dass die regionalen oder kulturellen Besonderheiten bestimmter Regionen nicht in Betracht gezogen oder unterbewertet werden. Im Sinne des dem Ansatz zu Grunde liegenden Verallgemeinerungsgedankens wird zunächst nur die Ähnlichkeit mit der Entwicklung in anderen Regionen festgestellt, was in der Gesamtheit der vom Syndrom betroffenen Regionen eine globale Relevanz bedeutet. Die *Intensität* eines Syndroms beschreibt somit die Stärke des Auftretens der Symptome und ihrer Interaktionen im Syndromkern. Sie gibt an, wie stark die für den GW als wesentlich zu bezeichnenden Entwicklungen in der Region in ihrem systemaren Wechselspiel zu beobachten sind (QUESTIONS 1998; Petschel-Held et al. 1999).

3.2.2 Syndromkopplungen

Ein weiterer Vorteil des Syndromkonzepts besteht darin, verschiedene Formen des Zusammenhangs zwischen Schädigungstypen auszumachen und genauer spezifizieren zu können als dies üblicherweise in Modellierungsansätzen der Fall ist (siehe Kap. 2). So kann, z. B., eine Maßnahme zur Bekämpfung eines Problemmechanismus oder der Dämpfung seiner Auswirkungen einen anderen Problemmechanismus in Gang setzen oder ein anderes bestehendes Problem verschlechtern. Am Beispiel des SAHEL-SYNDROMS verdeutlicht bedeutet dies, dass der Einsatz von Hohertragsorten, Pestiziden, Düngemitteln und verstärkter Bewässerungslandwirtschaft zwar die Erträge steigern kann, aber mittel- bis langfristig zu einer Verstärkung der sozialen Disparitäten / Verarmung führt und zu Umweltschäden durch toxische Belastung und Versalzung der Böden in Folge der Bewässerung führt. Diese als Gegenmaßnahmen zum SAHEL-SYNDROM eingeleiteten Prozesse und ihre Folgen sind dem GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM zuzuordnen (QUESTIONS 1998; WBGU 1997). Ein Ziel des Syndromansatzes ist die Reduktion der Informationsfülle auf ein überschaubares Maß, bei gleichzeitigem Erhalt der wesentlichen Zusammenhänge. Dazu zählen auch die Kopplungen von Syndromen untereinander. Grundsätzlich können folgende Formen der Syndromkopplung unterschieden werden:

1. *Koinzidenz / Räumliche Überlagerung*: Die schwächste, aber auch die häufigste Form der Syndromkopplung besteht in dem gleichzeitigen Auftreten der Syndrome in einer Region. Ein Beispiel dafür ist das zeitgleiche, aber kausal nicht miteinander verknüpfte Auftreten des URBAN-SPRAWL-SYNDROMS und des ALTLASTEN-SYNDROMS in einer Region. Diese schwachen Kopplungen können in besonders anfälligen Regionen, welche sich durch nur geringe natürliche Ressourcen, wenig Kapital, unzureichendes technisches „*Know How*“, instabile politische Verhältnisse etc. auszeichnen, eine große Bedeutung erlangen. In solchen Ländern genügt unter Umständen bereits das gemeinsame Auftreten von nur zwei Syndromen, um die „Widerstandsfähigkeit“ des Landes völlig zu überfordern. Dies kann dann auch zum mehr oder weniger spontanen Ausbrechen weiterer Syndrome führen.
2. *Kopplung durch gemeinsame Symptome*: Eine stärkere Form der Syndromkopplung, in der zwei Syndrome ein zentrales oder auch mehrere Symptome als gemeinsame Elemente enthalten. Ein Beispiel dafür kann im GRÜNE-REVOLUTION- und SAHEL-SYNDROM auftreten, wo eine räumliche und zeitliche Parallelität des Auftretens der beiden Syndrome nicht zufällig erscheint, sondern viel mehr über das Symptom *Soziale und ökonomische Ausgrenzung* erfolgt, welches in beiden Syndromkernen enthalten ist. Da die Syndrome des GW keine echte Teilmengen-Auswahl aus den Symptomen darstellen, verknüpfen die in mehreren Syndromen auftretenden Symptome auch die beteiligten Syndrome untereinander.
3. *Exposition*: Ein bereits aktives Syndrom kann ein anderen auslösen, wobei die beteiligten Regionen nicht koinzident oder räumlich benachbart sein müssen. So kann z. B. das RAUBBAU-SYNDROM als Expositionsfaktor für das SAHEL-SYNDROM oder das DUST-BOWL-SYNDROM fungieren (siehe Abschnitt 5.1).

4. *Verstärkung*: Nicht nur Symptome können verstärkend oder abschwächend aufeinander wirken, sondern auch ganze Syndrome. Als „*Symptomcluster*“ stoßen sie dann nicht, wie in Fall (2), über einzelne Symptome, sondern über die kombinierte Wirkungsmacht ihres charakteristischen Musters selbst andere Syndrome an. So können die durch das RAUBBAU-SYNDROM verursachten Umweltdegradationen dazu führen dass die Disposition einer Region für das SAHEL-SYNDROM verstärkt wird und der Syndrommechanismus des SAHEL-SYNDROMS beschleunigt abläuft.
5. *Abschwächung*: Syndrome können sich auch gegenseitig abschwächen und auf diese Weise miteinander verknüpft sein. So können die durch das HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM hervorgerufenen Umweltschäden zu einem Attraktivitätsverlust einer Region und damit zu einer Abschwächung des MASSENTOURISMUS-SYNDROMS führen.
6. *Sukzession*: Syndrome als kritische Muster der Mensch-Natur-Interaktion haben natürlich auch einen Anteil an der Geschichte dieser Interaktion. Bei einer Analyse der Geschichte menschlicher Naturnutzung und -degradation kann nicht nur das Auftreten einzelner Syndrome in der Vergangenheit erkannt werden, sondern auch typische Ablauf- oder Sukzessionsmuster von Syndromen. Aus Materialien der Umweltgeschichtsschreibung kann nicht nur das Auftreten des HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROMS schon bei den sächsischen Eisenhütten des frühen 19. Jahrh., sondern auch typische Ablauf- oder Sukzessionsmuster von Syndromen abgeleitet werden. Es erscheint, dass die Abfolge von zivilisatorischen Entwicklungsstadien mit bestimmten Schädigungstypen ihrer natürlichen Basis verknüpft sind. Dies kann zumindest explorativ auch für eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Erdsystems genutzt werden. So lässt sich etwa eine *Syndromsukzession* bilden, die mit dem SAHEL-SYNDROM anfängt, nach einem Bifurkationspunkt zum GRÜNE-REVOLUTION- oder zum KLEINE-TIGER-SYNDROM führt und schließlich vom DUST-BOWL-, URBAN-SPRAWL-, HOHER-SCHORNSTEIN- und MÜLLKIPPEN-SYNDROM vorläufig abgeschlossen wird (QUESTIONS 1998).
7. *Nichtintendierte Initiierung*: Die den Syndromen inhärenten Fehlentwicklungsmuster sind in zahlreichen Fällen in der Form von Kernproblemen des Globalen und Regionalen Wandels bekannt und auch bereits Gegenstand politischer oder wirtschaftlicher Abhilfemaßnahmen. Es lässt sich jedoch beobachten, dass unter Umständen eben genau diese Gegenmaßnahmen zwar erfolgreich im Hinblick auf das „Zielsyndrom“ sind, jedoch andere Syndrome auslösen oder verstärken können. So ist in manchen Regionen das GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM erst durch Gegenmaßnahmen zum SAHEL-SYNDROM oder dem LANDFLUCHT-SYNDROM entstanden (WBGU 1998; QUESTIONS 1998). Ein weiteres Beispiel ist die Erhöhung der Schornsteine in Mitteleuropa. Hier sollte die intendierte „Verdünnung“ der Schadstoffe durch den Ferntransport (HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM), als eine Gegenmaßnahme zur lokalen Deposition von Schadstoffen aus Produktionsprozessen (ALTLASTEN-SYNDROM) wirken.

Es zeigt sich damit deutlich, dass der Syndromansatz neben der Systematisierung des GW nach Hauptmustern der Umweltdegradation, auch die Möglichkeit liefert, die Interaktionen, die zwischen diesen Mustern bestehen, systematisch formalisiert anzugehen.

Teil II:

Syndrombasierte Analyse der globalen Entwaldungsproblematik

4 „Entwaldung“ - ein Kernproblem des Globalen Wandels

Viele Studien im Kontext des GW haben in der letzten Zeit auf die wachsende Bedeutung der durch menschliche Landnutzung verursachten Änderung der Landbedeckung für globale Transformationsprozesse hingewiesen (z. B. Turner et al. 1993; CIESIN 1992; FAO 1997, 1999; WBGU 1994 ff; etc.). Im Rahmen des Ende 1999 erschienenen *Global Environmental Outlook, GEO 2000*, der Umweltorganisation der Vereinten Nationen (UNEP 1999), werden diese Prozesse, speziell die globale Entwaldung und die damit eng verknüpfte Desertifikation, als eines der wichtigsten Probleme des 21. Jahrhunderts genannt. Ein weiteres Beispiel für die Bedeutung dieser Prozesse ist die Gründung des *Land Use and Land Cover Change Programms*²⁴ (LUCC). Zum Verständnis der gegenwärtigen und zukünftigen Rolle von Landnutzungsänderungen ist ein reines Messen der Änderung jedoch nicht ausreichend. Ein hinreichendes Verständnis der Triebkräfte und Mechanismen ist für die Erklärung der ablaufenden Prozesse, sowie für Vorhersagen von Verläufen und Auswirkungen, dringend erforderlich (Lambin & Ehrlich 1997).

Eine der bedeutensten Landnutzungsänderungsprozesse stellt die globale Entwaldung dar. Bis heute sind weltweit fast 50 % der Waldfläche verlorengegangen. Ein großer Teil dieser Verluste ist erst in den letzten 3 Dekaden aufgetreten. Nur noch etwa 40 % der heutigen Waldfläche ist ungestörter Primärwald. Durch menschliche Aktivitäten sind auch weiterhin viele Wälder gefährdet. Diese Gefährdung wird durch die große Aufmerksamkeit, die dieses Thema derzeit in der wissenschaftlichen Diskussion erhält, verdeutlicht. Seit der Rio-Konferenz 1992 sind die globalen Waldverluste zu einem der Schlüsselthemen der Forschung zum GW geworden²⁵. In der Forschungslandschaft besteht Konsens darüber, dass die für die globalen biogeochemischen Stoffkreisläufe und die Biodiversität immens wichtigen Waldökosysteme durch menschliches Handeln in ihrem Bestehen und in ihrer Funktionalität stark bedroht sind. Die vielfältig gearteten anthropogenen Bedrohungen können in ihren komplexen Ursache-Wirkungsbeziehungen durch das Syndromkonzept beschrieben werden.

4.1 Die Wälder der Erde

Die Bedeutung der Wälder zeichnet sich in den verschiedensten Arten und Weisen als wichtig für das menschliche Leben und Überleben aus. Vor allem die globale Klimafunktion der Waldökosysteme und ihre Rolle in der Erhaltung der globalen Biodiversität nehmen in der aktuellen Debatte zur globalen Entwaldungsproblematik eine besondere Rolle ein (WBGU 2000; EK 1994). Die im Folgenden beschriebene generelle Situation der globalen Waldökosysteme dient der Verdeutlichung der beobachteten Prozesse, ihrer Interaktionen sowie ihrer notwendigen syndromaren Abgrenzung und Zuordnung.

²⁴ gemeinsames IGBP und IHDP Kernprojekt

²⁵ Siehe auch die periodischen Veröffentlichungen von WRI, FAO, WBGU, World Watch Institute, World Conservation Monitoring Centre, WWF, oder auch die Berichte der Enquête-Kommission (EK 1990, 1994).

Die globale Waldbedeckung wird in immer stärkerem Maße vom Menschen bestimmt. Bei Einführung des Ackerbaus vor etwa 10 000 Jahren waren nach Schätzungen etwa 6.2 Mrd. ha der Erde bewaldet (Burschel 1995; WRI 1997). Die heutige Waldfläche wird mit etwa 3.45 Mrd. ha angegeben, was einem Rückgang der Waldflächen von 40 % auf 27 % der eisfreien Landoberfläche entspricht. Etwa die Hälfte der derzeitigen Waldbedeckung entfällt auf die tropischen Wälder (1.76 Mrd. ha), die andere Hälfte auf die borealen (0.93 Mrd. ha) und die Wälder der gemäßigten Zone (0.75 Mrd. ha; alle Zahlen aus FAO 1999). Die Wälder der gemäßigten Zone beinhalten die Hartlaubgehölze, die immergrünen Wälder der gemäßigten Zone und die nemoralen Laubwälder. Die globale Verteilung der heutigen und der historischen Waldressourcen ist in Abbildung 8 dargestellt.

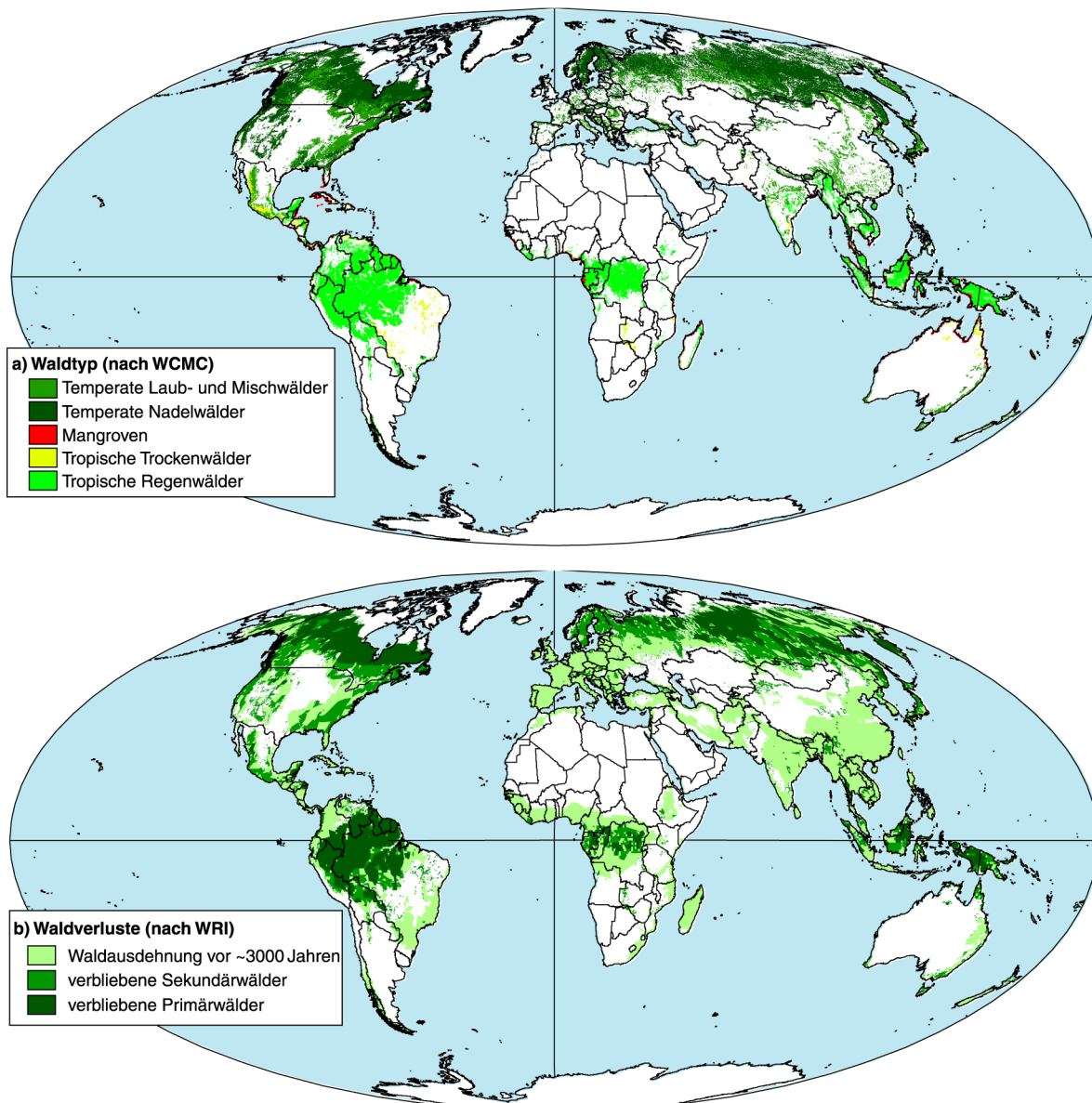


Abbildung 8: Generalisierte Karte der Verteilung der a) Waldtypen (nach Iremonger et al 1997) und b) Waldverluste (WRI 1997; alle Karten in Mollweide Projektion).

Die globalen Waldreserven verteilen sich heute zum größten Teil (60 %) auf folgende 7 Länder: Russland (22.1 %), Brasilien (15.9 %), Kanada (7.1 %), USA (6.2 %), China (3.9 %),

Indonesien (3.2 %) und die Dem. Rep. Kongo (ehem. Zaire; 3.1 %). Diese Schätzungen der Waldfläche (FAO 1999) beinhalten neben den unberührten Primärwäldern auch durch den Menschen modifizierte Wälder („halb-natürliche“ Wälder) und anthropogene Forste (Plantagen), die durch künstliche Aufforstung oder Wiederbewaldung erzeugt wurden.

Nach Angaben der FAO (1997) kann in West- und Nordeuropa nur weniger als 1 % der Waldfläche als ungestörter Primärwald (siehe auch Abbildung 8b) angesehen werden. Diese Flächen befinden sich hauptsächlich in Skandinavien sowie in kleinen Regionen in Griechenland, der Schweiz und Österreich. In Osteuropa sind größere Flächen Primärwalds in Weißrussland, sowie kleinere in Polen und Kroatien zu finden. In Gesamteuropa kann nur etwa 5 % der Waldfläche als relativ ungestört angesehen werden.

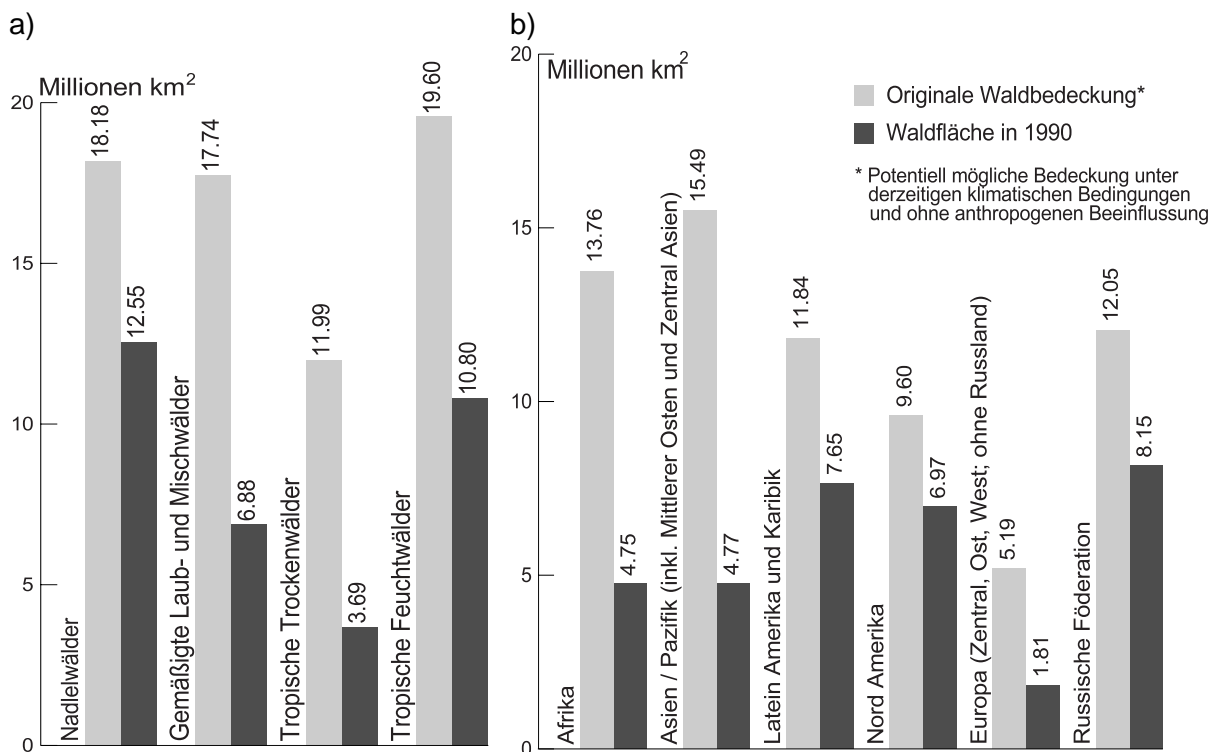


Abbildung 9: Historische Waldverluste a) nach Waldtypen; b) nach Regionen (WWF 1998).

Ausgehend von der Maximalwaldbedeckung sind die größten Verluste in den Wäldern der gemäßigten Zone und der tropischen Feucht- und Trockenwälder, zu finden. Der WWF (1998) gibt die historischen Waldverluste mit etwa 60 % im Bereich der gemäßigten Laub- und Mischwälder, etwa 30 % bei Nadelwäldern, etwa 45 % in den tropischen Feuchtwäldern sowie fast 70 % in den tropischen Trockenwäldern an (Abbildung 9a).

4.1.1 Waldflächenänderung in neuerer Zeit

In den letzten 30 Jahren ist die globale Waldbedeckung um 13 % zurückgegangen (WWF 1998). Wie aus Abbildung 10 zu ersehen ist, ereignete sich der Großteil dieses Rückgangs in den tropischen Regionen der Welt. Der schnellste Rückgang an Waldbedeckung ereignete sich in Latein Amerika, gefolgt von Asien und Afrika. Im Zeitraum zwischen 1980 und 1995 ist die globale Waldbedeckung um etwa 180 Mio. ha zurückgegangen (FAO 1999). Vor allem in den Entwicklungsländern wurden etwa 200 Mio. ha Wald, hauptsächlich für land-

wirtschaftliche Nutzung, vernichtet. Dies stellt eine Entwicklung dar, die auch viele Industrienationen in ihrer früheren Entwicklungsphase durchlaufen haben, was an den heutigen, verglichen mit der historischen Waldbedeckung, nur sehr spärlichen Überresten der europäischen Wälder deutlich wird (Abbildung 9b). In den Industrienationen ist zwischen 1980 und 1995 ein flächenmäßiges Waldwachstum durch Aufforstungen und Flächenstilllegungen in der Landwirtschaft zu verzeichnen (FAO 1997). Neueste Forschungsergebnisse (Nepstad et al. 1999) deuten jedoch darauf hin, dass die derzeitig verfügbaren Daten über Waldflächenveränderungen, resultierend aus Statistiken und Fernerkundungsmethoden, stark fehlerbehaftet sein können. Noch bestehende Wälder können nur sehr schwer von degradierten Waldflächen oder von in landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelten Flächen unterschieden werden.

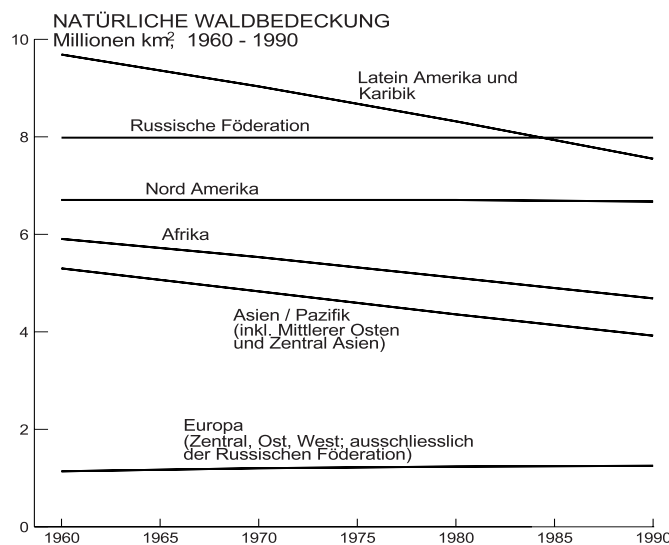


Abbildung 10: Rückgang der natürlichen Waldbedeckung von 1960 - 1990 (WWF 1998).

Ein Teil der globalen Waldverluste wurde durch die Steigerung des Verbrauch an Holzprodukten von ~900 Mio. m³ in 1970 auf fast 3 400 Mio. m³ in 1994 (FAO 1999) verursacht. Etwas mehr als die Hälfte davon wurde als Brennholz verbraucht, der Rest ging in verschiedenste industrielle Nutzungen. Das Wachstum des Brennholzanteils war in diesem Zeitraum mit 60 % schneller als das des industriellen Rundholzanteils mit 15 %. Der Maximalwert der industriellen Rundholzproduktion von 1 720 Mio. m³ wurde im Jahr 1990 erreicht. Der Rückgang ist vor allem auf die 50 % ige Senkung des Holzeinschlags in der Russischen Föderation, bezogen auf die Produktion von 1990, zurückzuführen. Aus den FAO-Statistiken (FAO 1999) sind die fast identischen Wachstumsraten des Brennholzverbrauchs und des Bevölkerungswachstums in den Entwicklungsländern hervorzuheben. Zwischen 1970 und 1994 fiel die Hälfte des Weltbrennholzverbrauchs in Asien an. Der Anteil von Afrika stieg in diesem Zeitraum, verursacht durch das hohe Bevölkerungswachstum, von 1/5 auf > 1/4 des Weltbrennholzverbrauchs an. Insgesamt stieg der Anteil der Entwicklungsländer am globalen Brennholzverbrauch von 84 % im Jahr 1970 auf 90 % im Jahr 1994 an.

Der Verbrauch und die Produktion von Brennholz, industriellem Rund- und Schnittholz stiegen allerdings, sowohl in den entwickelten Ländern als auch in Entwicklungsländern, langsamer an als das Bruttosozialprodukt (BSP). Für die Holzplatten- und Zellstoffproduktion

in den Entwicklungsländern wird jedoch ein sehr viel schnelleres Anwachsen als das des BSP und der Bevölkerung beobachtet (FAO 1997). Während, mit Ausnahme von Zellstoff und Papier, ein genereller Rückgang des Holzkonsums in Europa sowie in Nord- und Zentralamerika feststellbar ist, kommt es vor allem in Asien und zum Teil auch in Afrika zu einem starken Zuwachs Holzkonsums (FAO 1999).

4.2 Bedeutung der Wälder

Die Wälder haben eine wichtig Bedeutung für das menschliche Leben und Überleben. Eine Sammlung von Funktionen und Diensten von Waldökosystemen ist in Tabelle 6 gegeben. Vor allem die globale Klimafunktion der Waldökosystemen und ihre Rolle in der Erhaltung der globalen Biodiversität nehmen in der aktuellen Debatte zur globalen Entwaldungsproblematik eine besondere Rolle ein (EK 1990, 1994; WBGU 2000). Exemplarisch werden im Folgenden zwei der wichtigsten Funktionen von Waldökosystemen für das Erdsystem näher betrachtet: Die Rolle von Wäldern im globalen Klimageschehen (im Wesentlichen über den Kohlenstoffkreislauf) sowie als Orte hoher Biodiversität.

Tabelle 6: Die Bedeutung des Ökosystems Wald für der Menschen²⁶.

FUNKTION FÜR DEN MENSCHEN	DIENSTE DES WALDES
Lebensraum für indigene Völker	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung von Lebensraum für indigene Völker
Versorgungssystem	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung der landwirtschaftlichen Produktivität und Nachhaltigkeit • Bereitstellung von Holzprodukten: Bauholz; Möbel; Papier; Brennholz; Holzkohle • Bereitstellung von Nichtholzprodukten: Nahrungsmittel; Wildfleisch; Arzneimittel; Farbstoffe; Gummi; Öle; Harze
Klimaregulation	<ul style="list-style-type: none"> • Kohlenstoffspeicher • Temperatenausgleich über Albedoänderung • Luftfilter • Regelung der regionalen Niederschlagsverteilung • Mikroklima
Schutzsystem	<ul style="list-style-type: none"> • Boden- und Erosionsschutz • Bekämpfung von Desertifikation und Ressourcen-degradation in ariden und semi-ariden Gebieten • Lawinenschutz • Wasserspeicher und Süßwasserquelle • Regulierung von Abfluss in Einzugsgebieten • Schutz von Küstenregionen und Küstenfischerei

²⁶ Der Inhalt dieser Tabelle stellt einen Zusammenstellung der wichtigsten Funktionen und Leistungen von Wälder aus FAO (1997, 1999), WBGU (1994) und EK (1994) dar. Die aufgeführten Punkte sind nicht überschneidungsfrei; vor allem die Erhaltung von Biodiversität trägt direkt und indirekt zur Erhaltung der anderen Dienste, wie z. B. der Bereitstellung von Arzneimitteln, bei.

ERHALTUNG DER BIODIVERSITÄT	<ul style="list-style-type: none"> • Lebens- und Entwicklungsraum für Arten • Erhalt der genetischen Vielfalt
ERHOLUNGSFUNKTION	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung von Schatten, Wohlbehagen, Erholung • Bereitstellung von „Natur“ als Gegensatz zur technologisch geprägten Alltagssituation

4.2.1 Globale Klimafunktion der Wälder

Durch die Photosynthese entziehen Pflanzen beim Aufbau von Biomasse der Atmosphäre CO₂, welches nach dem Absterben durch mikrobielle Umwandlung wieder in den Atmosphärenkreislauf zurück gelangt. Dabei kann ein Teil des Kohlenstoffs (C) über längere Zeiträume im Boden gelagert werden. Auf Grund des relativ langen Zeitraumes zwischen Biomasseaufbau und Absterben von Bäumen, spielen Wälder eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf der Erde. Die langfristige C-Entnahme wird zusätzlich durch die langsamen Zersetzungs Vorgänge in den Waldböden der mittleren und nördlichen Breiten verstärkt.

Nach Schätzungen belaufen sich die Kohlenstoffvorräte in der gesamten Biosphäre auf etwa 1 800 Gt C, mit etwa 1 200 Gt C in den Böden. Der Anteil der Atmosphäre beträgt gegenwärtig etwa 750 Gt C, wobei die jährliche Aufnahme der terrestrischen Biosphäre mit 60 Gt C in etwa der jährlichen Freisetzung aus der terrestrischen Biosphäre durch Verrottung organischer Substanz entspricht (EK 1994). Dies verdeutlicht den engen Zusammenhang zwischen Entwaldung und der Veränderung des Kohlenstoffkreislaufs. Allein die jährliche Tropenwaldvernichtung trägt nach Schätzungen mit etwa 1.6 ± 1 Gt C netto in die Atmosphäre bei (EK 1994). Ein Teil dieses Kohlenstoffs wird allerdings wieder durch den Zuwachs der Wälder in den gemäßigten Zonen gebunden. Die FAO (1997) schreibt 23 % der CO₂ Emissionen der tropischen Entwaldung und der Walddegradation zu. Allgemein können die tropischen Wälder auf Grund von Entwaldung und Degradation als eine C-Quelle angesehen werden, während die Wälder der gemäßigten Zone und die borealen Wälder auf Grund ihres geringen Anstiegs in Fläche und Biomasse als C-Senke fungieren. Dieser Senkeneffekt wird noch durch das zusätzliche Wachstum, und damit einer erhöhten C-Bindung, der Wälder der gemäßigten Zone durch die CO₂ Düngung und Stickstoffdeposition verstärkt (FAO 1997). Allerdings weisen neuere Untersuchungen darauf hin, dass eine vermehrte Stickstoffzufuhr in Zukunft nicht mehr zu einer weiteren Förderung des Baumwachstums führen wird (Nadelhoffer et al. 1999), sondern im Boden verbleibt und auch in das Grundwasser gelangen kann. Die Aufnahmekapazität der Wälder als C-Senke scheint damit an eine Grenze gekommen zu sein. Nach einer Schätzung des *Intergovernmental Panels on Climate Change* (IPCC 1996) könnten etwa 12 - 15 % der bis zum Jahr 2050 projizierten CO₂ Emissionen aus fossilem Brennstoffverbrauch durch die Verlangsamung der Entwaldung bei gleichzeitiger Förderung von Waldregeneration und Ausweitung von Anpflanzungen (Plantagen, Agroforestry) ausgeglichen werden. Der Ersetzung von fossilen Brennstoffen durch nachwachsende Ressourcen (Holz) wird derzeit das größte langfristige Potential zur Vermeidung von Treibhausgasfreisetzung zugeschrieben. Die tropischen Wälder stellen nach den Berechnungen das größte Potential zur C-Bindung dar. Sie könnten hauptsächlich durch Regeneration und reduzierte Entwaldung bis zu 80 % der zusätzlichen

C-Senke in den Wäldern der Erde zur Verfügung stellen. Das tropische Amerika hat, laut FAO (1997), gefolgt von Asien und dem tropischen Afrika das größte Potential zur Steigerung der C-Bindung. Treten die prognostizierten Klimaänderungen ein, wird sich das allerdings negativ auf die C-Aufnahme auswirken, da die Verbreitungsgebiete der meisten Baumarten zu langsam wandern um weiterhin an klimatisch optimalen Standorten zu sein. Dies wird sich negativ auf die Produktivität der Baumarten auswirken und damit auch die C-Aufnahme stark beeinträchtigen (Mellilo et al. 1993).

Neben ihrer globalen Klimarelevanz zeichnen sich Wälder auch durch eine große regionale Klimarelevanz aus. Dieser lokale Einfluss der Waldökosysteme auf das Klimageschehen liegt vor allem in ihrer Rolle für den Wasserkreislauf. Über die Steigerung der Verdunstungsrate tragen Wälder zur Wolkenbildung und zur Entstehung von Niederschlägen bei. Dadurch wirken Wälder auch als ein Regulator des Temperatur- und Feuchteregimes und Vermindern das Auftreten von regionalen klimatischen Extremereignissen.

4.2.2 Biodiversitätsfunktion der Wälder

Wälder spielen eine wichtige Rolle für die Erhaltung der globalen Biodiversität. Es gibt keine einheitliche Definition von biologischer Diversität oder Biodiversität. Es lassen sich jedoch grob zwei verschiedene Kategorien der Begriffsdefinition identifizieren. In der ersten Kategorie wird der Aspekt der Artenvielfalt betont. Hier wird vor allem die Anzahl unterschiedlicher Arten an einem Ort als Ausdruck der Biodiversität verstanden. Dieses Verständnis leitet sich aus der Geschichte der Biologie ab, in der die Entdeckung und Beschreibung neuer Arten lange Zeit Hauptziel der Disziplin war. Heute ist dieses Begriffsbild der Biodiversität vor allem über die öffentliche Debatte zum Artensterben geprägt. Die zweite Kategorie beschäftigt sich mit dem Begriff aus Sicht seiner ökosystemaren Bedeutung. Hier wird vor allem die Bedeutung der Biodiversität für die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen betont. Im Allgemeinen kann Biodiversität als die Variabilität zwischen lebenden Organismen und den Komplexen von denen sie Teil sind, einschließlich der Diversität innerhalb und zwischen Arten und von Ökosystemen, definiert werden. Einige internationale Organisationen wie z. B. UNEP, IUCN (*International Union for the Conservation of Nature*), beziehen auch die kulturelle Diversität mit in das Begriffsbild der Biodiversität ein (Heywood & Watson 1995). Hier wird vor allem auf die Bedeutung und Rolle der indigenen Völker hingewiesen.

Die globale Bedeutung der Biosphäre und ihrer Elemente tritt in den letzten Jahren verstärkt in das öffentliche Interesse. Vor allem die Versuche einer Monetarisierung von Naturgütern und Ökosystemen, ihrer Leistungen und Werte (Funtowics & Ravetz 1994; Gowdy 1997; Costanza et al. 1997; Atfield 1998; Seidl & Gowdy 1999; etc.), haben eine kontroverse Debatte über das grundlegende Verständnis von Natur und Systemleistungen der Biosphäre ausgelöst. Diese Reflektion über Lebensstile und vor allem auch über die, im Allgemeinen immer noch gängige, ökonomische Praxis, Natur rein als ein „open access“-Gut anzusehen, dessen intrinsischer Wert mit „Null“ angesetzt wird, zeigen eine langsame Veränderung des Wertesystems auf. Grundsätzlich scheint ein angenommener Wert der Biosphäre von

~ 33 Billionen (10^{12}) US \$²⁷ (Costanza et al. 1997), trotz aller Unwägbarkeiten und Subjektivität der Bewertung besser, als der bisher in der Ökonomie verwendete Wert von „Null“.

Nach Schätzungen stellen Wälder den Lebensraum für etwa 2/3 aller Arten auf der Erde bereit (WRI 1997; FAO 1999; WCMC 1994). Die tropischen Regenwälder, die nur etwa 7 % der Landoberfläche bedecken, beherbergen wahrscheinlich die Hälfte aller bekannten Pflanzen- und Tierarten. Andere Waldtypen, wie Trockenwälder oder die Wälder der gemäßigten Zone, geben Lebensraum für Pflanzen und Tiere von aktuell oder potentiell hohem ökonomischen und ökologischem Wert, die wichtige Beiträge zur Funktion dieser Ökosysteme liefern. Der beispiellose Umfang sowie die hohe Rate der anthropogenen Waldveränderungen in diesem Jahrhundert bedrohen diese waldbasierte Biodiversität. Die Degradation oder Zerstörung von Waldökosystemen hat bereits zum Aussterben von Arten und zur Reduzierung der genetischen Variation innerhalb von Arten, letztere hervorgerufen durch Populationsverkleinerungen, geführt. Zwar ist das genaue Ausmaß dieser Verluste und der exakte Umfang der Schädigung der Biodiversität unbekannt, dennoch gibt es Anhaltspunkte dafür, dass durch anthropogenen Einfluss, zumindest im Bereich der Wirbeltiere und Pflanzen, eine deutliche Beschleunigung des Artensterbens stattgefunden hat.

In den letzten Jahren wurde vor allem auch den Nischholzprodukten aus den Tropischen Wäldern verstärkte Aufmerksamkeit gezollt (FAO 1999). Gerade die mögliche ökonomische Nutzung der „Genbank“ Regenwald für die Pharmaindustrie wird verstärkt in den Vordergrund gestellt. Ein Beispiel hierfür ist die Zusammenarbeit von Costa Rica mit multinationalen Pharmakonzernen zum Erhalt und der Erschließung der genetischen Ressourcen der tropischen Feuchtwälder.

4.3 Bisherige Forschungsansätze zur Analyse der Entwaldung

Die bisherigen Ansätze zur Analyse- und Modellierung der globalen Entwaldungsproblematik lassen sich grob in zwei unterschiedliche Kategorien einordnen: Untersuchungen mit der globalen Situation als Hauptfokus oder regionale und lokale Untersuchungen.

Die globalen Ansätze sind von deskriptiver Natur und fassen Fakten und Ursachen der Entwaldung für den Globus, Kontinentalregionen oder Ökozonen zusammen. Sie basieren hauptsächlich auf Länderstatistiken und Experteneinschätzungen. In diese Kategorie fallen auch die jährlichen Berichte der *World Commission on Forests and Sustainable Development* (Krishnaswamy & Hanson 1999), des *United Nations Environmental Programme* (UNEP 1999), der *Food and Agricultural Organisation* der UN (FAO 1997, 1999), der Weltbank (World Bank 1999) oder von Nichtregierungsorganisationen (NRO) aus dem Umweltbereich, wie *Greenpeace* 1998), dem *World Resources Institute* (WRI 1996, 2000), dem *World Watch Institute* (Brown et al. 1999) oder dem *World Wide Fund for Nature* (WWF 1998). Neben dem Fehlen einer detaillierten räumlichen Auflösung werden in diesen Studien

²⁷ Costanza et al. schätzen den Wert der gesamten Biosphäre auf 16 – 54 Billionen (10^{12}) US\$ pro Jahr mit einem Mittelwert von 33×10^{12} US\$. Auf Grund der Unsicherheiten und unbekanntem Größen stellt dieser Wert eine Minimalabschätzung dar. Zum Vergleich wird das globale BSP mit $\sim 18 \times 10^{12}$ US\$ pro Jahr angegeben.

auch keine Verbindungen zwischen den verschiedenen Akteuren und spezifischen Formen der Entwaldung hergestellt. Die bisher einzige Ausnahme liefert die globale Expertenbefragung der *Forests Frontier Initiative* (Bryant et al. 1997) des WRI. Hier werden zum ersten Mal räumlich explizite Einschätzungen der Gefährdungslage von Primärwäldern getroffen. Der Hauptnachteil dieser Untersuchung liegt, neben der Beschränkung auf Primärwälder, in der fehlenden Unterscheidung zwischen verschiedenen Kausalbeziehungen die zu einer Gefährdung der Wälder führen. Die derzeitige Aktivität dieser Gruppe um Bryant ist die *Global Forest Watch Initiative* (GFW 2000), in der länderweite Waldzustandskarten auf Basis von Fernerkundungsdaten erstellt werden.

Die zweite große Gruppe von Entwaldungsstudien wird durch die Vielzahl der verschiedenen lokalen und regionalen Fallstudien gebildet (z. B.: Miller 1991; Diem 1993; Heilig 1994; Verissimo et al. 1992, 1995; Wunder 1997; Walker & Homma 1996; Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997; Rudel & Roper 1997; Parayil & Tong 1998; Stone 1998; Nepstad et al. 1999; etc.). Diese Fallstudien lassen sich weiter in einen Bevölkerungsansatz, in dem die Gründe der Entwaldung hauptsächlich in einem durch Armut und Bevölkerungswachstum getriebenen Agrarlandbedarf gesehen werden, und einem Marktansatz, in dem Faktoren wie Preise, Erschließungskosten und Besitzrechte die dominierende Rolle spielen, unterteilen. Die Mehrzahl der Fallstudien unterscheidet jedoch nicht zwischen verschiedenen handelnden Akteuren oder Quellen der Entwaldung. Im Allgemeinen werden die beschriebenen Gründe der Entwaldung jeweils in einem situationsbezogenen Kontext bewertet. So kann in einer Studie das „Fehlen von wohldefinierten Besitzrechten“ als Hauptgrund für die Entwaldung gesehen werden, während eine andere Studie die „Staatliche Entwicklungspolitik“ als Hauptverursacher ausmacht. Auf den ersten Blick erscheint es schwierig diese beiden hypothetischen Studien miteinander zu vergleichen. Schaut man aber genauer hin, so ist zu erkennen, dass beide Aussagen unter der Symptomüberschrift *Politikversagen* zusammengefasst werden können. Die Mehrzahl dieser Studien ist auf die „proximate causes“ für Entwaldung ausgerichtet. Eine Erforschung der unterliegenden Prozesse, die zur Entwaldung und Waldschädigung führen, wird nur sehr selten erfolgreich versucht. Die fehlenden kausalen und temporalen Verknüpfungen der verschiedenen spezifischen Entwaldungsmuster untereinander und zu anderen Entwicklungen des GW zeigen die unzureichende Natur vieler dieser Studien auf.

Eine Auswertung der relevanten Literatur zur globalen Entwaldungs- und Waldschädigungsproblematik zeigt, dass die Entwicklung durch einige wenige typische Muster bestimmt wird. Diese Einschätzung wird auch von der FAO (1997) geteilt. Diese Muster bestehen aus sozioökonomischen und naturräumlichen Phänomenen, die ein komplexes dynamisches System von Zivilisation-Natur-Interaktionen bilden. Um diese globalen Ursache-Wirkungsmuster der Entwaldung zu untersuchen, erscheinen die bisherigen, vorwiegend disziplinär ausgerichteten Forschungen in diesem Gebiet als wenig geeignet. Ein erster Versuch einer integrierten Abschätzung des Entwaldungsproblems unter Anwendung der Syndromanalyse wird hier vorgestellt.

5 Syndromanalyse der globalen Entwaldungsproblematik

Die in der Literatur zur Entwaldungsproblematik beschriebenen Muster lassen sich auch in das Schema des Syndromkonzepts einordnen. Nur ein Teil der Entwaldung kann dabei direkt der globalen Stammholzexploitation zugerechnet werden. Auch weitere anthropogene Ursache-Wirkungsmuster tragen maßgeblich zu diesem Kernproblem des GW bei.

Im Folgenden Kapitel wird auf Grundlage des Syndromkonzepts eine Analyse der globalen Entwaldungsproblematik durchgeführt. Für die verschiedenen, maßgeblich an der Entwaldung beteiligten nicht-nachhaltigen Entwicklungsmuster werden Syndromanalysen mit Schwerpunkt in der geographischen Diagnose der Muster durchgeführt. Diese Analysen erstrecken sich jeweils auf die Beschreibung des Syndrommechanismus, die Umsetzung in ein syndromspezifisches Beziehungsgeflecht sowie eine geographisch explizite Dispositions- und Intensitätsbestimmung. Zusammenfassend wird aus der Integration der Dispositions- und Intensitätsbestimmungen der Hauptmuster der Entwaldung eine Abschätzung der Gesamtgefährdung der globalen Waldökosysteme vorgenommen.

5.1 Raubbau an natürlichen Ökosystemen - Das RAUBBAU-SYNDROM

5.1.1 Allgemeine Charakterisierung des Syndroms

Das RAUBBAU-SYNDROM beschreibt die rasche, bis zur Zerstörung bzw. Ausrottung reichende *Übernutzung nachwachsender Ressourcen* sowie die *Degradation bzw. Vernichtung von Ökosystemen* auf Grund kurzfristiger Nutzungsinteressen. Irreversible *Verluste an Biodiversität* sind die primäre Folge. Verluste für den Menschen treten teils unmittelbar, teils zeitlich versetzt und diffus auf (WBGU 2000). Von diesem Syndrom sind vor allem die globalen Waldökosysteme mit den verbleibenden Primärwäldern in tropischen und borealen Regionen betroffen. Die Überweidung von Steppen und Rangelands, die Ausrottung einzelner Tier- und Pflanzenarten oder die Überfischung der Weltmeere sind weitere Beispiele einer nicht-nachhaltigen Naturnutzung, die sich nach dem typischen Muster des RAUBBAU-SYNDROMS vollzieht (WBGU 1996, 2000; Cassel-Gintz 1997; Cassel-Gintz et al. 1999; Cassel-Gintz & Petschel-Held 2000).

5.1.1.1 Erscheinungsformen des RAUBBAU-SYNDROMS

Die historischen und regionalen Beispiele aus verschiedenen Umweltmedien verweisen auf die ganze Breite der Palette der anthropogenen Naturzerstörung, die eine Gemeinsamkeit aufweist: Die Mensch-Natur-Interaktion folgt im Kern immer dem typischen Muster des RAUBBAU-SYNDROMS.

Das RAUBBAU-SYNDROM tritt in der menschlichen Entwicklungsgeschichte bereits sehr früh auf. Schon in der Antike wurde beobachtet, dass in Folge einer schnellen, die Regenerationsfähigkeit übersteigenden Nutzung einer nachwachsenden Ressource vielfältige negative

Folgen für Natur und menschliche Entwicklung auftreten können. Ein frühes Beispiel ist die Entwaldung des Mittelmeerraums für den Schiffs- und Städtebau in der Antike. Bereits Platon berichtet in seinem Dialog *Kritias* (~350 v. Chr.) über die Entwaldung der attischen Hänge für Siedlungszwecke und Schiffbau, wodurch die Bodenschicht der Wassererosion schutzlos preisgegeben wurde und von einer einst blühenden und „fetten“ Landschaft nur noch das „kahle Gerippe“ übrig blieb. Ein weiteres historisches Beispiel wurde bereits in der Einleitung dieser Arbeit erwähnt, der Raubbau an den Wäldern Sachsens zum Grubenausbau sowie für die Holzkohlegewinnung zum Betreiben der Schmelzhütten. Die Umgebung der sächsischen Bergbaustädte waren im 17. Jahrhundert durch den Jahrhunderte alten Raubbau weitgehend kahl geschlagen, was von Carlowitz zur Entwicklung des Nachhaltigkeitsgedanken in der deutschen Forstwirtschaft führte. In der Mitte des 19. Jahrhunderts machten Autoren wie Carl Fraas oder Georg Perkins Marsh speziell auf den Raubbau an Waldressourcen und seine negativen Folgen im Bereich der Bodendegradation aufmerksam (Schramm 1984, Brüggemeier 1998).

Die fast vollständige Ausrottung der nordamerikanischen Büffel wegen ihrer Felle im letzten Jahrhundert ist ein Beispiel für eine andere mediale Ausprägung des RAUBBAU-SYNDROMS. Hier wurde der Bestand einer Tierart auf Grund kurzfristiger ökonomischer Interessen in kürzester Zeit bis auf ein Minimum reduziert. Ähnlich führte der bis heute anhaltende industrielle Walfang in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu einer kritischen Dezimierung der Bestände der meisten Walarten. Noch heute gelten - allen internationalen Schutzabkommen zum Trotz - Wale vielerorts als kurzfristig lukrativ verwertbare, ökonomische Ressource, so dass ihr Fortbestand keineswegs als gesichert gelten kann. Auch der Handel mit einzelnen Tier- und Pflanzenarten hat in einzelnen Fällen zu erheblichen Eingriffen in das jeweilige Ökosystem geführt, weshalb heute ca. 5 000 Tier- sowie 25 000 Pflanzenarten durch das *Washingtoner Artenschutzabkommen* (CITES) geschützt werden. Der zum Teil internationale Handel bedient hier oft eng mit Kultur, Lebensweise oder Tradition verbundene, spezifische Bedürfnisse. So erfolgt besonders im südostasiatischen Raum eine starke Dezimierung von Tierarten, wie Tiger oder Nashorn, zur Gewinnung traditioneller Heilmittel. In jüngerer Zeit führt auch die Verwendung von Heilpflanzen für in Europa gebräuchliche Pharmazeutika zu einer ernsthaften Bedrohung einzelner Arten (WRI 1997a). Der Wunsch nach Luxusgütern ist ein nach wie vor wirksames Motiv für den Handel mit Elfenbein, Reptilienhäuten oder Pelzen seltener Raubtiere. Gemeinsam ist allen Fällen die für das RAUBBAU-SYNDROM typische Priorität kurzfristiger Nutzung ohne Beachtung der, für das Ziel der langfristigen konsumtiven Nutzung notwendigen Regenerationszeiten, die in vielen Fällen zur irreversiblen Ausrottung von Arten führte und immer noch führt.

Das Auftreten des RAUBBAU-SYNDROMS in gleich mehreren verschiedenen medialen Ausprägungen lässt sich derzeit in Malaysia detektieren. Im Bereich der Waldökosysteme befindet es sich gegenwärtig in seiner Endphase: Nachdem besonders die Waldbestände der ökonomisch wertvollen *Dipterocarpaceae* - Familie in Sarawak und Sabah durch Holzentnahme großflächig zerstört wurden, gehen malaiische Holzfirmen in jüngerer Zeit dazu über, Einschlagskonzessionen in anderen südostasiatischen Ländern sowie in Guyana, Brasilien und Suriname zu erwerben. Dies zeigt die *räumliche Verlagerung* des in seinen langfristigen

sozialen, ökologischen und ökonomischen Folgen ruinösen, aber aus der einzelwirtschaftlichen Perspektive der international operierenden Holzindustrie kurzfristig höchst lohnenden Mechanismus. Die zeitliche Persistenz wichtiger syndromendogener Trends und dadurch geprägter Strukturen ist hier sehr gut sichtbar: Holzeinschlagsfirmen und das angegliederte verarbeitende Gewerbe haben über Jahre und Jahrzehnte, unterstützt durch großzügige und ökologisch blinde Konzessionsvergabe, ein beträchtliches technisches und ökonomisches Kapital, in Form des Maschinenparks und der Sägemühlen, sowie ein großes Reservoir an abhängigen Beschäftigten der Branche aufgebaut. Die sich daraus ergebenden ökonomischen Zwänge verursachen eine Standortverschiebung im Fall der Erschöpfung der Ressourcengrundlage vor Ort. Unter dem Konkurrenzdruck einer globalisierten Holzeinschlagsindustrie verschärft sich dieser Trend bis hin zu einer transkontinentalen Ausbreitung des Syndroms.

Eine andere mediale Ausprägung des RAUBBAU-SYNDROMS stellt die Fischereiindustrie in Malaysia dar. Traditionell war sie vor allem auf die wenig produktiven flachen Küstenzonen begrenzt. In den 70er Jahren fand eine Modernisierung und Mechanisierung der malaiischen Fischereiindustrie und Fangflotte statt. Dies erlaubte die zusätzliche *Offshore-Nutzung* der Fischgründe und führte zu drastischen Steigerungen der Fangmenge, was Malaysia zu einer der weltweit führenden Fischereinationen machte. Die Produktion erreichte in den 80er Jahren ihren Höhepunkt (ECB 1997). Vor allem im Bereich der ökologisch hoch-sensiblen Korallenriffe, z. B. vor Sabah (WRI 1998), findet eine starke Übernutzung küstennaher Fischbestände durch zerstörende Überfischung in Form von Dynamit- und Cyanidfischerei statt. Die Nutzung *mariner und limnischer Ökosysteme* nimmt global oft die Form eines Raubbaus an. Die Überfischung stellt eine ernsthafte globale Bedrohung der aquatischen Ökosysteme dar (FAO 1998; WWF 1998; Morse 1998).

Negative soziale und ökonomische Folgen für eine Region, in der das RAUBBAU-SYNDROM in der Vergangenheit existent war, werden am Beispiel der Philippinen sichtbar. In den 60er und 70er Jahren gehörte das Land auf Grund einer äußerst exzessiven, nicht-nachhaltigen Forstpolitik zu den vier größten Holzexportnationen der Welt. Innerhalb kürzester Zeit gingen dadurch 90 % der philippinischen Wälder verloren. Das Land wurde gezwungenermaßen zum Holzimporteur und etwa 18 Mio. Menschen, die vorher hauptsächlich in und von den Wäldern lebten, verarmten (Abramovitz & Mattoon 1999). Dies verdeutlicht die über die Degradation der Natur hinausgehenden, negativen Folgen des RAUBBAU-SYNDROMS und illustriert die enge, systemare Verknüpfung von Natur- und Anthroposphäre.

Diese Beispiele verdeutlichen den *Skalenwandel* der Problematik des RAUBBAU-SYNDROMS. Waren die Folgen früher eher auf kleinere Naturräume beschränkt und hatten primär regional begrenzten Charakter, so sind heute oft große Regionen oder sogar, wie im Falle der Überfischung und der Entwaldung, von globalem Charakter. Selbst wenn die, entsprechend größeren, Verluste für zukünftige Generationen nicht berücksichtigt werden und damit der Gedanke einer intergenerationellen Gerechtigkeit außer Acht gelassen wird, ist heute bereits ein wesentlich größerer Anteil der Menschheit mit den Folgen des Raubbaus an Naturressourcen konfrontiert als in den historischen Beispielen des Syndroms.

5.1.2 Der Mechanismus des RAUBBAU-SYNDROMS

Die Beschreibung des aktuell wirksamen Syndrommechanismus und des konstituierenden Syndromkerns stehen am Anfang der Analyse eines Syndroms, was auch eine genauere Auflösung der antreibenden sozioökonomischen Kräfte sowie der natur- und sozialräumlichen Rückwirkungen beinhaltet. In einem nächsten Schritt werden dann einige typische Syndromverläufe unterschieden sowie die Interaktion mit anderen Syndromen diskutiert.

5.1.2.1 Der Syndromkern

Auf Grund des frühen historischen Auftretens des Syndroms verfügen wir im Falle des RAUBBAU-SYNDROMS auch über vielfältige Beschreibungen, die eine Mustererkennung vereinfachen. Diese Beschreibung der Mechanismen des Syndroms trifft zwar nicht alle aktuell wesentlichen Symptome und Verknüpfungen, sie beschreibt aber die syndrominterne Dynamik, die, als eine Art internes „Schwungrad“, an vielen Orten und zu vielen Zeiten beobachtbar war. Die beschriebenen Grundmechanismen sind allgemeiner Art und können auf die verschiedenen medialen Ausprägungen, z. B. Holzentnahme in Waldökosystemen oder Überfischung in limnischen und marinen Ökosystemen, angewandt werden. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt jedoch auf dem sektoralen Problem der globalen Waldökosysteme.

Im Kern besteht die Problematik des RAUBBAU-SYNDROMS in der zeitlichen Diskrepanz von menschlicher Nutzung und natürlichem (Nach-)Wachsen der Ressource. Die charakteristischen Prozesse auf naturräumlicher Ebene sind einerseits durch die Wirkung der *Übernutzung biologischer Ressourcen* auf die *Schädigung* bzw. *Konversion des Ökosystems* gekennzeichnet. Andererseits gibt es direkte und indirekte Schäden in weiteren Umweltbereichen: *Bodenverdichtung* oder *Veränderung der lokalen Wasserbilanz* sind Beispiele dafür. Auf Grund der Konnektivität der Biosphäre verstärken solche Schäden wiederum Konversions- und Degradationstendenzen. Eine graphische Repräsentation des syndromkonstituierenden Kerns ist in Abbildung 11 dargestellt.

Die Ressourcenentnahme erfolgt in einem Ausmaß, welches die Reproduktionsfähigkeit des Systems übersteigt, was im Extremfall mit der Ausrottung von Arten oder Ökosystemen einhergehen und teilweise die naturräumliche Grundlage für das Wiedererstehen der betroffenen Ökosysteme vernichtet. Damit ist die Funktionalität der Biosphäre insgesamt und der globalen Regel- und Stoffkreisläufe bedroht. Verstärkend für die Schädigung kommt es zur weiteren Ausbreitung des Syndroms gerade auf Grund seines jeweils konzentrierten lokalen und regionalen Auftretens und Erschöpfens. Dieser Prozess kann als Diffusionsprozess in Form des Abbrennens einer Wunderkerze angesehen werden: Wenn die ökonomisch attraktive Ressource in Region A gemäß den Zielvorstellungen der Akteure verbraucht ist, dann diffundiert bei Fortdauer der allgemeinen Rahmenbedingungen das Syndrom mit hoher Wahrscheinlichkeit in die Nachbarregion B, die bislang weniger rentabel bzw. erreichbar war, es nun aber auf Grund des Syndromablaufs in der Region A geworden ist. Beispiele für diesen Ablauf lassen sich etwa hinsichtlich der charakteristischen, landschaftsökologischen Strukturen des selektiven Einschlags von Tropenhölzern in Brasilien finden (Verissimo et al. 1995). Für hinreichend kapitalkräftige Unternehmen in einem halbwegs lukrativen Markt-

umfeld kann der Begriff „Nachbarregion“ tendenziell jeden Ort der Erde meinen, wie am Beispiel der Expansion malaiischer Holzeinschlagsfirmen nach Südamerika gezeigt wurde. Koreanische, japanische, amerikanische und kanadische Holzkonzerne operieren ebenfalls als solche „*global player*“.

Als wesentliche anthropogene Ursache ist auf kurzfristige Gewinnmaximierung ausgerichtete Nutzung der Wälder durch lokale, nationale und oft auch multinationale Akteure in der Holzwirtschaft. Diese Praxis der vernichtenden Nutzung von Naturressourcen wird oft durch den Staat toleriert oder aktiv unterstützt: Vermeintliche und tatsächliche Vorteile durch diese Art der Nutzung, z. B. die Entstehung von Einkommen, Beschäftigung, Steueraufkommen und Devisen einerseits sowie offensichtliches *Politikversagen*, z. B. Korruption, fehlende Mittel für Verwaltung und Exekutive oder unzureichende Infrastrukturausstattung andererseits, veranlassen nationale Regierungen typischerweise sogar zu einer begünstigenden Politik durch Gewährung von Subventionen oder Steuervorteilen. Die Korruption und Beeinflussung der lokalen und nationalen politische Entscheidungsträger ist mitverantwortlich für die mangelhafte Einhaltung bestehender Schutzvorschriften. Angeregt wird die Übernutzung biologischer Ressourcen im Wesentlichen durch zwei Faktoren:

1. Der *zunehmende Verbrauch von Energie (Brennholz) und Rohstoffen (Holzprodukte)*.
2. Die *Veränderung der Nachfragestruktur (Produktpalette)*.

Während der erste Aspekt eher quantitativer Natur ist, zielt der zweite auf qualitative Änderungen in der Zusammensetzung des Ressourcenverbrauchs.

Die *Übernutzung* wird durch das *Politikversagen* nicht nur gefördert, sie verstärkt auch umgekehrt wieder dieses antreibende Symptom diesem Zusammenhang sind Korruption und die Bedeutung der Holz-Lobby wichtig. In beiden Fällen haben soziale Akteure, die von der aktiven Übernutzung in der Vergangenheit profitiert haben, ein bedeutsames Maß an ökonomischem, sozialem und politischem Kapital angesammelt, um auf Regierungen entsprechenden Druck bei Konzessionsvergabe, Gesetzgebungs- oder -auslegungspraxis auszuüben, was wiederum einen zukünftigen Raubbau begünstigt. Im Rahmen des Syndromkerns (Abbildung 11) erfährt das Verhalten des politischen Systems, sich syndromverschärfend zu verhalten, erst dann eine Abschwächung, wenn die Schädigung von Funktion und Bestand der Ressource den Stand erreicht, an dem sich keine weiteren Einkünfte mehr erzielen lassen oder es in Folge der *Schädigung von Ökosystemstruktur und -funktion* auch vermehrt zu einem *Wachsenden Umweltbewusstsein* in der lokalen und internationalen Bevölkerung kommt. Zusammen mit einer verstärkten *Bedeutungszunahme von Nichtregierungsorganisationen (NRO)* kann dies einen positiven ressourcenerhaltenden Einfluss auf die politischen Entscheidungsträger haben und somit zu einer Abschwächung des *Politikversagens* führen. In dieser Schere von ökonomisch getriebener Verstärkung von *Politikversagen* und der ökologisch motivierten Abschwächung des Symptoms liegt die Möglichkeiten den Syndrommechanismus positiv zu beeinflussen und in nachhaltigere Verlaufsformen zu lenken.

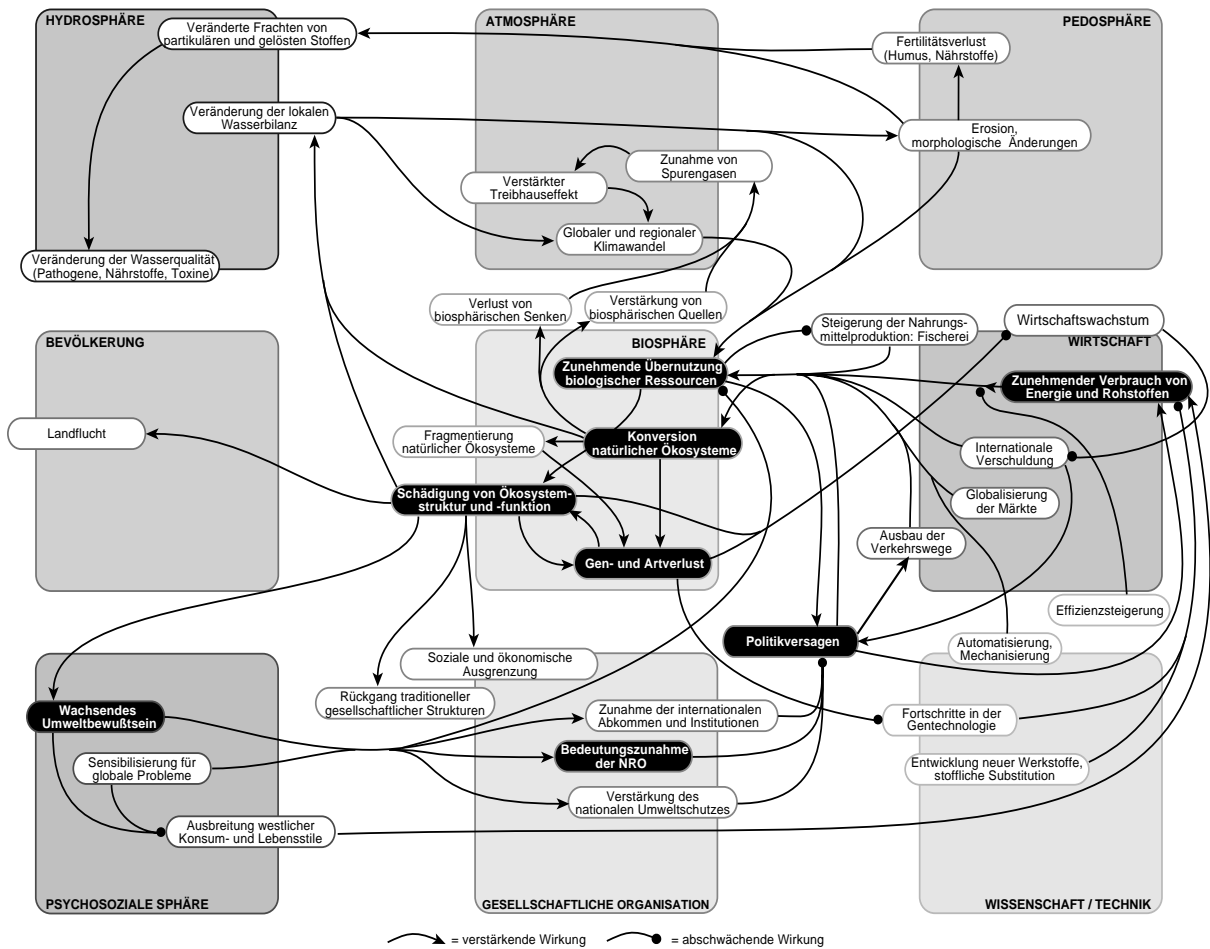


Abbildung 11: Syndromspezifisches Beziehungsgeflecht des RAUBBAU-SYNDROMS (Cassel-Gintz 1997; Cassel-Gintz & Petschel-Held 2000); der Syndromkern ist schwarz unterlegt.

5.1.2.2 Der aktuelle Mechanismus des Syndroms

Der Syndromkern stellt eine historisch relativ robuste Beschreibung der nicht-nachhaltigen Interaktion von Mensch und Naturressource Wald dar und beinhaltet auch die grundlegende Dynamik ihrer Wechselwirkungen. Gleichwohl wird man damit der aktuellen Gestalt und der biosphärischen Bedeutung des globalen Raubbaus an den Waldressourcen nur zum Teil gerecht. Um dies zu verbessern, müssen die am Syndrom beteiligten Symptome und ihre Wechselwirkungen analytisch genauer aufgeschlüsselt werden. Dies geschieht mit Hilfe des syndromspezifischen Beziehungsgeflechts des RAUBBAU-SYNDROMS (Abbildung 11) welches die Mechanismen des Syndromkerns erweitert.

Die Existenz eines lukrativen Marktes, der durch eine zunehmend globaler werdende Nachfrage angetrieben wird (*Globalisierung der Märkte*), stellt den Ausgangspunkt des Mechanismus dar. Hier ist das der Markt für Holz und Holzprodukte: Papier, Pappe, Möbel, Bauholz, Furnierholz, Spanplatten, Fenster, etc. aber, gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern, auch Brennholz und Holzkohle. Die Entwicklung der letzten Jahren zeigt eine Zunahme der Binnennachfrage aus Schwellen- und Entwicklungsländern, welche neben der hohen Kaufkraft und Nachfrage der Industrieländer in Nordamerika, Europa und Asien, eine immer bedeutendere Rolle spielt (z. B. Brasilien, Malaysia) (*Ausbreitung westlicher Konsum-*

und Lebensstile). Hierbei sind, neben der Anzahl der Konsumenten und ihrem Wohlstands- und Anspruchsniveau, die Technologie der Ressourcengewinnung und -verarbeitung sowie die Konsumtionsweise von entscheidender Bedeutung für die nachgefragte Menge. Auf der einen Seite verschärfen *Automatisierung und Mechanisierung* das Syndrom, Beispiele dafür sind die breite Verfügbarkeit der Kettensäge oder von schwerem, automatisiertem Holzverarbeitungsgerät. Allerdings wirkt sich der technische Fortschritt auch ressourcenschonend aus. Geringere Ausschussraten und höhere Recyclingquoten führen teilweise zu großen Holzeinsparungen und wirken sich dämpfend auf bevölkerungs- und wohlstandsbedingte Nachfragezuwächse aus. Auch die Substitution von Holzprodukten durch andere Materialien kann die Entnahmerate dieser nachwachsenden Ressource deutlich senken. Dieser Effekt wird im syndromspezifischen Beziehungsgeflecht durch die Einführung des Symptoms *Entwicklung neuer Werkstoffe; stoffliche Substitution* berücksichtigt. Die dominanten Nachfragesektoren der Holzwirtschaft sind der Bausektor, die Industrie, einzelne Konsumgüterbereiche (z. B. Verpackung, Möbel, Papier) sowie verschiedene Infrastrukturbereiche (z. B. Eisenbahnen, Telegraphenmasten), die eng mit der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung sowie der Technologie- und Konsumstruktur eines Landes gekoppelt sind. Daneben spielt der Bedarf an Brennholz, als Energiequelle in den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern, eine gewichtige Rolle (*zunehmender Verbrauch von Energie und Rohstoffen*). Bei ansonsten gleichbleibenden Bedingungen bestimmt allein das Bevölkerungswachstum eines Landes seinen Holzbedarf, welcher aber mit steigendem Wohlstandsniveau zusätzliche Wachstumsimpulse erfahren kann. In einigen Industrieländern ist die Nachfrage nach Tropenhölzern seit kurzem rückläufig bzw. stagniert (FAO 1999). Dies kann teilweise als Folge von veränderten Rahmenbedingungen im Welthandel (*Zunahme internationaler Abkommen und Institutionen*), zum Teil als Folge veränderter Konsumgewohnheiten (*Zunahme des Umweltbewusstseins*) bzw. einer wachsenden *Sensibilisierung für globale Probleme* in der Bevölkerung angesehen werden. Die aktuelle Debatte um die Einführung von Produktkennzeichnungen (Zertifizierung) ist ein Ausdruck davon.

Damit die Nachfragestruktur sich im Sinne des RAUBBAU-SYNDROMS auswirkt, muss es einen, durch Umsatz und Beschäftigung ökonomisch bedeutsamen holzwirtschaftlichen Sektor²⁸ geben, der auch politisches Gewicht hat. Die Heterogenität der ökonomischen Lage und der technische Ausstattung der Unternehmen der Branche ist dabei weltweit, aber auch innerhalb eines Landes, enorm. Der syndromverstärkende Einfluss einer Firma, etwa im Holzeinschlags- oder im Sägewerksbereich, ist umso höher, je „flächendeckender“ (z. B. internationaler) sie operieren kann und je ineffizienter sie ist. In Indonesien etwa wurden Mitte der 90er Jahre nur 43 % des eingeschlagenen Holzes zu Produkten verarbeitet, der Rest von 57 % war Abfall. In anderen Entwicklungs- und Schwellenländern ist diese Beziehung teilweise etwas günstiger: hier fallen durchschnittlich „nur“ 45 % Abfall an (Jepma 1995, Dudley et al. 1996). Dies zeigt das noch nicht ausgeschöpfte, große Potential für eine ressourcenschonende „Effizienzrevolution“. Kleine, nur lokal agierende Firmen, wie sie etwa

²⁸ Dieser Sektor umfasst holzeinschlagende Firmen, Sägewerke und Papierfabriken, die Herstellung von Möbeln und sonstigen Gebrauchsgegenständen bzw. Investitionsgütern aus Holz.

im brasilianischen Amazonasgebiet (Scholz I. 1999), aber auch im tropischen Afrika häufig zu finden sind, können aber schon allein auf Grund ihrer Anzahl einen global bedeutsamen Schaden anrichten.

Das ökonomische Gewicht des holzverarbeitenden Sektors hat auch einen großen indirekten Einfluss auf die Politik. Die dauerhafte Raubbau-Ökonomie geht meist mit der Bildung von mächtigen Interessensverbänden oder Lobbies (Individuen, Gruppen, Clans, Verbänden, Gewerkschaften etc.) einher, die zumindest auf regionaler Ebene das politische System unter starken Druck setzen können. Dieser wirtschaftliche Faktor hat gerade in Demokratien eine besondere Bedeutung, in denen gesellschaftliche Teilinteressen über Medienöffentlichkeit, Verbandsmacht und dem Zwang zur Wiederwahl von Entscheidungsträgern vorhandene Schutzziele aushebeln oder doch in erheblichem Ausmaß abschwächen können. Ein Beispiel hierfür ist die bedeutende, politikbestimmende Rolle der „Lumber“-Industrie in *British Columbia*, Kanada. Im Falle einer großen Nachfrage und einer hohen wirtschaftlichen Bedeutung des forst- und holzwirtschaftlichen Sektors, muss es allerdings nicht automatisch zur Entwaldung im Sinne des RAUBBAU-SYNDROMS kommen. Rund 80 % der tropischen Wälder (Jepma 1995) sind staatliches Eigentum. Eine Reihe positiver Beispiele zeigt, dass ein wirksamer politischer Schutz den wirtschaftlichen Druck auf Wälder deutlich verringern und die Suche nach Alternativen (andere Werkstoffe, nachhaltig eingeschlagenes Holz) anregen kann. Das Syndrom wird in der Regel erst dann aktiv, wenn die Marktkräfte und der wirtschaftliche Nutzungsdruck durch ein *Politikversagen* auf die Ressource „durchschlagen“ bzw. deren negativen Effekt noch verstärken. Unter „*Politik*“ wird hier das Handeln oder Nichthandeln von Legislative, Exekutive und Jurisdiktion auf den verschiedenen Verwaltungsebenen verstanden. „*Versagen*“ steht für die aktuelle Unfähigkeit und / oder Unwilligkeit des politischen Systems, bzw. der tragenden politischen Akteure, mit Blick auf die Ziele der nachhaltigen Waldwirtschaft bzw. des Naturschutzes zu agieren. Dies schließt sowohl ein Unvermögen, z. B. auf Grund mangelnder finanzieller Mittel, als auch Unwilligkeit, z. B. auf Grund anderer politischer Prioritäten oder Staatskonzepte, ein. Das *Politikversagen* lässt sich grob in zwei Bereiche differenzieren:

1. Ein *direktes* Versagen der Politik ist überall dort zu konstatieren, wo im unmittelbar auf die Ressourcennutzung bezogenen Bereich, ein bedeutsames Waldökosystem, auf Grund politischer Nicht- oder Fehlentscheidungen der Raubbauwirtschaft preisgegeben wird. Dies kann durch Vergabe von Konzessionen für den Holzeinschlag zu ökologisch und fiskalisch ungünstigen Konditionen, z. B. zu kurze Laufzeiten, zu geringe Gebühren, keine Ausschreibungen, zu große Territorien, keine oder zu geringe Schutzauflagen passieren werden, oder durch einen nicht hinreichend Schutz seitens der staatlichen Forstpolitik, d. h. nicht hinreichend viele Schutzgebiete und -gesetze oder zu geringe Umsetzung derselben, sowie eine schlechte finanzielle, personelle und politische Ausstattung der Forstbehörden hervorgerufen werden. Eine besondere Aufmerksamkeit verdient die illegale Ressourcenentnahme, die durch das Versagen politischer Institutionen mit bedingt wird. Sie spielt für den Forstbereich in Ländern wie der Demokratischen Republik Kongo (vormals Zaire), Brasilien, Laos oder Russland eine besondere Rolle. Dieses direkte Politikversagen bezieht sich auf das Forstmanagement im weiteren Sinne.

2. Daneben gibt es ein *indirektes* Politikversagen dann, wenn die rechtlichen und fiskalischen Rahmenbedingungen seitens der Politik so gestaltet werden, dass nicht-nachhaltige Holz- und Forstwirtschaft, bis hin zur offenen Ausplünderung der Ressource, begünstigt werden. Das kann etwa durch eine offensive, auf die rasche Erschließung von abgelegenen Waldgebieten abzielende Infrastrukturpolitik geschehen (*Ausbau der Verkehrswege*), oder aber durch die Unterstützung eines ökologisch oder ökonomisch ineffizienten holzverarbeitenden Sektors durch Subventionen, Steuervergünstigungen oder Importschutzmaßnahmen.

Eine in der Literatur viel diskutierte Antriebskraft für das RAUBBAU-SYNDROM ist die *internationale Verschuldung* vieler Entwicklungs- und Schwellenländer (Kahn & McDonald 1995; Miller 1991; Cassel-Gintz 1997). Allerdings ist ihr Einfluss nicht so gewichtig anzusetzen, dass er direkt zu einer Ressourcenübernutzung führt. Es scheint vielmehr so, dass die internationale Verschuldung eher indirekt, über ein Versagen der für die Ressource Holz entscheidenden politischen Institutionen wirksam wird. Zwei Gründe sprechen dafür:

1. Eine Verschuldung der öffentlichen Haushalte kann stets nur über den Umweg haushalts-, fiskal- und wirtschaftspolitischer Maßnahmen die privatwirtschaftlichen Akteure erreichen. Diese können, müssen aber nicht zur Entscheidung führen, mit dem Einschlag und dem Export der heimischen Ressource Holz den Schuldendienst zu bedienen.
2. Der verschuldungsbedingt sinkende Handlungsspielraum eines Staates, den man für einen verstärkten Druck auf die natürlichen Ressourcen eines Landes geltend machen könnte, führt auch dazu, dass die dem Raubbau förderliche Infrastruktur, eine kosten-senkende Vorleistung der öffentlichen Hand für private Ressourcennutzer, nicht (mehr) finanzierbar ist. Auch für diesen gegenläufigen Zusammenhang gibt es Beispiele wie etwa Ecuador zwischen 1974 und 1982 (vgl. Wunder 1997).

Auch Korruption kann das *Politikversagen* begünstigen. An der Übernutzung interessierte Individuen oder Gruppen versuchen, ein dafür förderliches Verhalten der politischen Entscheidungsträger durch mehr oder weniger direkte „Gaben“ von Geld- oder Sachmitteln bzw. von Gegenleistungen anderer Art zu stimulieren²⁹. Dabei können bereits erzielte Gewinne aus dem Raubbau an natürlichen Ressourcen im Sinne einer „Zukunftssicherung“ weiter genutzt werden. Dieser Mechanismus ist im syndromspezifischen Beziehungsgeflecht durch einen verstärkenden Pfeil von der *Übernutzung biologischer Ressourcen* zum *Politikversagen* repräsentiert.

Die wesentlichen naturräumlichen Folgen des Syndroms finden sich in der Biosphäre. Insbesondere die Prozesse der natürlichen Sukzession, sowie ihre Beeinflussung durch die Nutzung der biologischen Ressourcen (Walter & Brekle 1992) sind hier bedeutsam. Die entscheidende Folgewirkung des Nutzungsdrucks ist die zunehmende *Übernutzung biologischer Ressourcen*, die zu einer *Konversion natürlicher Ökosysteme* und einer *Fragmentierung natürlicher Ökosysteme* führen kann. Findet der Raubbau in Form eines Kahlschlags statt, wandelt sich das Ökosystem radikal: Aus Primärwald wird dann Weidefläche,

²⁹ Dieser Vorgang wurde in der letzten Zeit auch als „politische Landschaftspflege“ charakterisiert.

landwirtschaftliche Nutzfläche, Ödland oder auch Siedlungsfläche. Wird dagegen nur selektiv eingeschlagen, d. h. bestimmte Arten oder Altersstufen werden entnommen, kommt es zu einer Fragmentierung des Ausgangsökosystems. Viele Sekundärwälder weltweit sind das Produkt solcher Fragmentierungsprozesse. Bei weiterer Übernutzung können auch sie vollständig konvertiert werden. Bei beiden Formen tritt ein *Rückgang der Gen- und Artenvielfalt* (z. B. Vernichtung endemischer Arten oder Reduktion des Genpools) sowie eine *Schädigung von Ökosystemstruktur und -funktion* als Folge der Ressourcenentnahme ein. Ein Beispiel hierfür ist etwa die bedenkliche Abnahme des Bestands an südamerikanischem Mahagoni durch den äußerst selektiven Einschlag, insbesondere für den deutschen Markt. Daneben umfasst die Wechselwirkung zwischen Raubbau und *Arten- bzw. Genverlusten* auch weitergehende Aspekte, wie Verschiebungen in der Artenzusammensetzung, da z. B. Jungwald verstärkt durch Herbivoren geschädigt werden kann (vgl. Schulze & Mooney 1993). Nicht nur die reine Artenanzahl, sondern auch die Qualität und Zusammensetzung sind für die funktionalen Bezüge auf Ökosystems- und Landschaftsebene bedeutsam (Dudley et al. 1996).

Eine wesentliche ökonomische Folge des Syndroms ist seine dämpfende Wirkung auf das *Wirtschaftswachstum*. Aus anthropozentrischer Perspektive ist dies eines der problematischsten Phänomene. Grundsätzlich spiegelt sich in dieser Wechselbeziehung die Gefährdung der eigenen Lebensgrundlagen wieder, einer der wesentlichen Gründe für die Entstehung der Umweltpolitik und der Nachhaltigkeitsdebatte. Die Natur ist als Lebenserhaltungssystem Grundvoraussetzung jeden Wirtschaftens überhaupt (Nutzinger & Radke 1995). Naturzerstörung und -degradation geht mit einer Behinderung der wachstumsrelevanten Lebensraumfunktion einher und beeinträchtigt die mittelbar relevanten Reinigungs-, Produktions- und Absorptionsfunktionen (de Groot 1992). Die kurzfristige Gewinnerorientierung, die typischerweise einer nachhaltigen, auf längere Sicht ausgerichteten, produktiven Bewirtschaftung der Wälder einer Region widerspricht, stellt einen problematischen Effekt dar. Aus mittel- bis langfristiger Perspektive kommt es zu negativen Beschäftigungseffekten für die örtliche Bevölkerung. Die Möglichkeiten für Produktion und Einkommenserzielung sind vernichtet und wachstums- bzw. entwicklungspolitische Nachteile in der Region sind die Folge. Durch die Vernichtung natürlicher Ökosysteme und Arten entsteht ein irreversibler Schaden in Form verlorener genetischer Quellen. Abgesehen von den generellen Schwierigkeiten einer monetären Erfassung des Schadensausmaßes³⁰ ist die Abschätzung hier besonders schwierig, da bereits vernichtete Ökosysteme zu großen Teilen nicht erforscht waren und ihr ökonomischer Nutzen daher unbekannt ist. Vor allem auch die potentiellen zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten gegenwärtig ökonomisch „unbedeutender“ Tier- oder Pflanzenarten, stellen ein großes Potential, z. B. für die Pharmaindustrie, Nahrungsmittel etc., dar (Hampicke 1992; Stähler 1994; Hanley & Spash 1995). Dieser Prozess ist im syndromspezifischen Beziehungsgeflecht als eine abschwächende Beziehung von *Gen- und Artenverlusten* zum *Fortschritt in der Bio- und Gentechnologie* dargestellt.

³⁰ Siehe hierzu auch die Debatte auf den Artikel von Costanza et al. (1997) in Nature und die Folgedebatte zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemen und ihren Funktionen für die Menschheit.

Wälder stellen nicht nur den Lebensraum für die verschiedensten Tier- und Pflanzenarten, sondern auch für viele Menschen dar. Eine große Zahl von indigenen Völkern lebt nicht nur im, sondern vor allem auch vom Wald. Mit dem Druck auf die Ressource Holz ist auch der Lebens- und Kulturraum dieser Völker bedroht. Häufig werden ihre traditionellen Nutzungsrechte durch Umwandlung der Waldgebiete in Staatseigentum annulliert, und die eingerichteten Reservate nicht hinreichend geschützt, so dass die verbliebenen Rechte der indigenen Völker durch ökonomische Interessen von Großkonzernen oder Regierungen verletzt werden können. Übernutzung und Ökosystemschädigung zerstören den Lebensraum indigener Völker und lösen Migrationsbewegungen in städtische oder ländliche Siedlungen (*Landflucht*) aus, wo es zu einer *sozialen und ökonomischen Ausgrenzung* kommt. Insgesamt geht der Raubbau nicht nur mit einem Rückgang an Biodiversität einher, sondern auch mit einem Kulturverlust, einer Reduktion der kulturellen Optionsvielfalt (*Rückgang traditioneller gesellschaftlicher Strukturen*). Die Auswirkungen dieses oft unterbewerteten Verlusts erscheinen zwar aktuell als wenig dramatisch, haben aber im historischen Rückblick eine erhebliche Dynamik erreicht und können kulturelle Folgen, wie den Verlust von indigenen Sprachen und Lebensweisen, hervorrufen.

In der aktuellen Debatte zum globalen Klimawandel ist der konversionsbedingte *Verlust von biosphärischen Senken*, in diesem Fall der Verlust der C-Speicherfunktion der Wälder bedeutsam, der zum *Treibhauseffekt* und zum *Klimawandel* beiträgt (IPCC 1996; oder auch Kap. 4). Weitere Auswirkungen des Syndroms im Bereich der Pedosphäre³¹ sind *Bodenerosion* und *Bodenverdichtung* als die sichtbarsten Folgen der Ökosystemschädigung. Neben der Erosion nach erfolgtem Kahlschlag sind besonders Schäden durch „*Logging Roads*“ (Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997) oder die Bodenverdichtung, hervorgerufen durch den Einsatz schwerer Maschinen von Bedeutung. Ein *Fertilitätsverlust* tritt insbesondere in Regionen auf, deren Nährstoffkreislauf stark vom biologischen Geschehen oberhalb des Bodens geprägt ist, was für die meisten tropischen Waldregionen zutrifft. Weitere Folgen von Bodenerosion sind reduzierte Wachstumsmöglichkeiten, sowie *veränderte Stofffrachten* in der Hydrosphäre und damit auch eine *Veränderung der Wasserqualität*. Diese entwaldungsbedingte Verschlechterung der Wasserqualität im Einzugsgebiet führt durch einen gesteigerten Sedimenttransport, hauptsächlich in der Sandfraktion, zu einem Rückgang der Fischpopulationen. Dieser Prozess ist Teil der öffentlichen Debatte in Nordamerika um den Einfluss der Entwaldung von Uferzonen auf die Schädigung der Fischhabitate, vor allem bei Lachsarten. Schädigungen der Vegetationsdecke führen zu einer *Änderung der lokalen Wasserbilanz*. Die geringere Evapotranspiration (Interzeption) trägt dazu über erhöhte Oberflächenabflüsse und verstärkter *Bodenerosion* bei. Auf Grund des verringerten Wasserrückhaltevermögens der Vegetation und verringerter Infiltration kommt es zu erhöhten, schneller anlaufenden Hochwasserwellen im Einzugsgebiet (Knighton 1998). Diese Fernwirkung des RAUBBAU-SYNDROMS wird z. B. in Bangladesh als eine Ursache für die massiven Überflutungen angesehen.

³¹ Die Trennung Biosphäre / Pedosphäre ist angesichts des hohen Anteils an Bodenlebewesen nur von analytischer Bedeutung.

5.1.2.3 Mögliche Syndromverläufe

Die oben skizzierten syndromrelevanten Kernmechanismen generieren unterschiedliche dynamische Verläufe des Syndroms, d. h. spezifische Kombinationen des Zeitverhaltens der beteiligten Symptome. Bei einfacheren Ursache-Wirkungsgeflechten als dem hier vorliegenden, konnte die formale Deduktion der unterschiedlichen Verläufe mit Hilfe des Konzepts der qualitativen Differentialgleichungen durchgeführt werden (Petschel-Held et al. 1999, 1999a).

Für das RAUBBAU-SYNDROM können aus der systematischen Betrachtung des Beziehungsgeflechts und der induktiven Klassifizierung der Vielzahl der zugrundeliegenden Fallstudien vier qualitativ unterschiedliche Syndromverläufe identifiziert werden. Diese Einteilung zeigt, dass bisher vorgenommene Unterscheidungen (z. B. zwischen Entwaldung in borealen und tropischen Wäldern) zu kurz greifen. Entscheidend für die im folgenden vorgenommene Einteilung ist die Anlehnung an wichtige Grundprinzipien der relevanten Systemzusammenhänge, wie unter anderem in der ökologischen Sukzessionstheorie diskutiert (Tilman 1993; Walter & Breckle 1992). Die unterschiedlichen Syndromverläufe sind hierbei nicht auf qualitativ unterschiedliche Wechselwirkungen innerhalb des Syndromkerns zurückzuführen, sondern vielmehr ein Ausdruck der „Mustergültigkeit“ dieser Beziehungen. Dies bedeutet, ihre allgemeine Charakterisierung in Form von Aussagen wie „*Politikversagen verstärkt oder stabilisiert nicht-nachhaltige Bewirtschaftungsformen*“ lässt diese unterschiedlichen Verläufe zu. Es handelt sich bei diesen Variationen also nicht um grundsätzlich divergierende Typen des Syndroms, sondern um unterschiedliche Zeitverläufe in der Syndromdynamik, welche durch denkbare und in sich konsistente Konstellationen aus Symptomen und ihren Wechselwirkungen möglich sind. Es gilt hierbei zwei grundlegende Aspekte von vorneherein zu unterscheiden, die durch die Fragen:

1. Welche Form des Holzeinschlags wird praktiziert?
2. Wie ist das Ergebnis dieser Einschlagsformen aus ökologischer Sicht zu bewerten?

unterschieden werden können. Dieser technisch-praktische und der ökosystemar-bewertende Aspekt sind voneinander abhängig. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird zunächst nur grob zwischen einem **Typ A**, bei dem der gesamte Waldbestand eines Areals gefällt wird (*clear cut*), und einem **Typ B**, bei dem nur ein selektiver Einschlag, bezogen auf bestimmte Arten, Altersklassen oder Flächenteile, erfolgt, unterteilt. Entsprechend wird auch das Ergebnis dieser Einschlagsmuster nur grob nach zwei Formen unterschieden:

1. Es kann eine vollständige Konversion des Ökosystems erfolgen, wie z. B. bei der Umwandlung von Wald- in Weidefläche.
2. Es kann zu verschiedenen Stufen der Degradation des Waldbestandes kommen, die von der leichten Verlichtung bis hin zu artenarmen, deutlich funktionsreduzierten Restwäldern reichen.

Unterschiedliche Zeitverläufe des RAUBBAU-SYNDROMS werden nun dadurch hervorgerufen, dass das Endergebnis der menschlichen Ressourcenentnahme nicht nur durch deren Form, sondern auch durch ihre Geschwindigkeit sowie die Reproduktionsrate der natürlichen Vegetation bestimmt wird. Dies führt zur Identifikation folgender typischer Verlaufsformen:

1. **Konversionstyp A:** Dieses „reine“ Verlaufsmuster zeichnet sich durch eine politisch ungedämpfte und wirtschaftlich rücksichtslose Nutzung der Ökosysteme aus. Das „*clear cutting*“, mit einer vollständigen Unterdrückung der natürlichen Sukzession, ist eines der typischen Verlaufsmuster von Konversionstyp A. Hier kann es durch *Bodenverdichtung* oder durch den *Verlust* oder die *Fragmentierung* von Räuberhabitaten zur Überpopulation von Herbivoren kommen, die den jungen Pflanzenwuchs abäsen, was eine Regeneration des Ökosystems völlig unterdrückt.
2. **Degradationstyp A:** Wird im Zuge einer ungebremsten Ressourcennutzung auf bestimmte ökologische Gegebenheiten in begrenztem Maße Rücksicht genommen, z. B. in Form einer Flächenselektivität, so ist nicht mit einer vollständigen Konversion, sondern „nur“ mit einer Verschiebung der Ökosystemstruktur zu rechnen. Neben auch positiven Verjüngungsprozessen auf ausgewählten Kahlschlagflächen, kann es zu einer Degradation des gesamten Ökosystems, bestehend in einer deutlichen *Schädigung der Ökosystemstruktur und -funktion* gegenüber dem ursprünglichen Zustand kommen. Längerfristig führt auch dieser leicht gedämpfte Verlauf des RAUBBAU-SYNDROMS zu einer vollständigen *Konversion des betreffenden Ökosystems*. Dieser Syndromverlauf ist typisch für die meisten borealen Wälder, die über die historisch lange und intensive Nutzung zu anthropogen geprägten Sekundärwäldern umgewandelt wurden.
3. **Degradationstyp B:** Auch dieser Verlaufsfall basiert auf einer selektiven Nutzung der Ressource (vgl. Fall 2). Die Selektionskriterien sind hier jedoch nicht primär flächenorientiert, sondern auf bestimmte Arten oder Altersklassen bezogen. Überschreitet dabei der Einschlag die Reproduktionsrate der Ressource, ist der klassische Fall einer nicht-nachhaltigen Forstwirtschaft gegeben. Die Schwere der auftretenden Schädigung des Ökosystems hängt dabei nicht allein von der Reproduktionsrate der nachwachsenden Ressource, sondern zusätzlich vom Grad des Funktions- und Biodiversitätsverlusts, ab. Dieser Verlauf ist für die meisten tropischen Regenwaldgebiete typisch (Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997), die über die Zeit zu mehr oder weniger degradierten Sekundärwäldern geworden sind.
4. **Konversionstyp B:** Unter Umständen kann es im Rahmen der natürlichen Sukzession in Folge des Degradationstyp B zu einer Konversion kommen. Hierbei ist insbesondere auf ein Anstoßen anderer Syndrome zu verweisen, die über die Erschließung, der vormals oft nur schwer zugänglichen Regionen, ausgelöst oder gefördert werden können.

5.1.2.4 Interaktion des RAUBBAU-SYNDROMS mit anderen Syndromen

Die Bedeutung des RAUBBAU-SYNDROMS für die globale Entwaldungsproblematik variiert in Abhängigkeit von Waldtyp und Nutzung. In borealen Wäldern stellt das Syndrom den Hauptbestandteil der Entwaldung. Andere Formen, wie etwa die Konversion von Wald zu landwirtschaftlicher Nutzfläche, spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. In tropischen Wäldern ist der direkte Beitrag des Syndroms zur Entwaldung wesentlich geringer anzusetzen. Die Konversion zu landwirtschaftlicher Nutzfläche stellt hier den größten Entwaldungsbeitrag. Etwa

50 % der Entwaldung kann hier dem kleinbäuerlichen, subsistenten Wanderfeldbau zugeschrieben werden (Herkendell & Pretzsch 1995). Dieses Muster wurde als Teil des SAHEL-SYNDROMS identifiziert (Abschnitt 5.2; WBGU 1996; Schellnhuber et al. 1997; Petschel-Held et al. 1999). Dennoch hat das RAUBBAU-SYNDROM auch in den Tropen eine große, wenngleich indirekte, Bedeutung für die globale Entwaldung: Es fungiert hier als eine Art „Pionier“- oder „Katalysatorsyndrom“ (Syndromkopplung) für andere Muster der Waldzerstörung. Als Folge der Erschließung von Waldregionen für, bzw. durch Holzfirmen kommt es zu einer Verbesserung der allgemeinen Zugänglichkeit der Region. Entlang der neu angelegten Straßen wandern oft landlose Wanderfeldbauern aber auch Großgrundbesitzer ein. Diese, mit dem eigentlichen RAUBBAU-SYNDROM nicht direkt verbundenen Akteure können nun große Waldflächen in landwirtschaftliche Nutzflächen umwandeln, die anschließend im Zuge von einem ausbrechendem SAHEL- bzw. DUST-BOWL-SYNDROM degradiert werden können. Zum Teil agieren sogar die Holzfirmen selbst als große Viehzüchter auf den konvertierten Waldflächen, um einerseits längerfristige Landrechte zu erhalten, aber auch um ihre kurzfristigen Gewinne in länger- und mittelfristig stabile Bodenwerte anzulegen. Hierdurch das enorme Schadenspotential des selektiven Holzeinschlags deutlich. Da für den selektiven Einschlag von ertragreichen Edelhölzern, wie z. B. Mahagoni, Erschließungswege von bis zu 500 km in Kauf genommen werden (Verissimo et al. 1995), führt diese verschiedentlich als „umweltschonende“ Form der Forstwirtschaft bezeichnete Nutzungsform zu erheblichen Folgeschäden. Auch ein solcher, auf den ersten Blick, nur „kleiner“ Eingriff, führt zur großräumigen Erschließung der entsprechenden Waldgebiete, die dadurch für unterschiedliche Nutzungsinteressen geöffnet werden. Die der Erschließung folgende Degradation reicht oft bis hin zur völligen Zerstörung der landwirtschaftlich nutzbaren Bodenschicht und kompletten Zerstörung von natürlichen Ökosystemen.

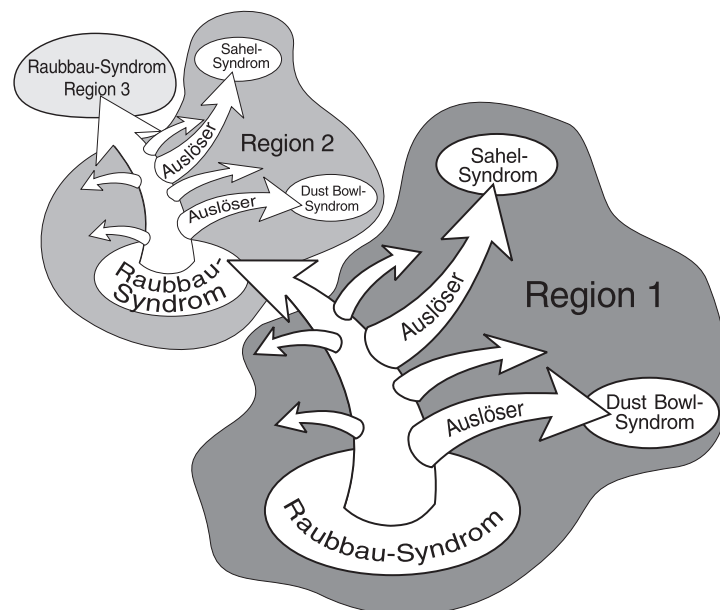


Abbildung 12: Das RAUBBAU-SYNDROM als auslösendes Element für das SAHEL-SYNDROM und das DUST-BOWL-SYNDROM (Cassel-Gintz & Petschel-Held 2000).

Diese Wirkung des RAUBBAU-SYNDROMS als auslösender Expositionsfaktor für andere Syndrome ist in Abbildung 12 schematisch dargestellt. Dieser Prozess wird in vielen Fallstudien zur tropischen Entwaldung beschrieben (vgl. Heilig 1994; Walker & Homma 1996; Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997; Rudel & Roper 1997; WRI 1997; Parayil & Tong 1998; Stone 1998). Ein ähnlicher Verlauf ergibt sich auch bei der Erschließung von vorher unzugänglichen Regionen im Zusammenhang mit dem Ausbau von Infrastruktur zum Bau von technischen Großprojekte, wie z. B. Staudämmen, oder auch bei der Erschließung von Bodenschätzen. Diese Formen der Umweltdegradation sind dem ARALSEE-SYNDROM und dem KATANGA-SYNDROM zuzurechnen (WBGU 1997).

5.1.3 Disposition von Waldökosystemen für das RAUBBAU-SYNDROM

Für die Analyse der aktuellen Dynamik und zur Identifizierung gefährdeter Regionen ist die Ermittlung der Disposition des RAUBBAU-SYNDROMS notwendig. Nur mit Hilfe solcher Informationen lassen sich drohende Fehlentwicklungen frühzeitig verhindern. Formal beantwortet das Konzept des Dispositionsraums die Frage nach den Bedingungen, unter denen die Wechselbeziehungen des Syndromkerns potentiell wirksam werden können.

Eine Disposition von Wäldern für das RAUBBAU-SYNDROM wird dann als gegeben betrachtet, wenn die kurzfristige ökonomische Nutzung ihrer Holzprodukte möglich und wahrscheinlich ist. Andere Produkte des Waldökosystems können hier vernachlässigt werden, sofern ihre Gewinnung keine substantielle Schädigung des Ökosystems nach sich zieht. Die Disposition wird nicht allein durch das Vorhandensein von Wäldern bestimmt, sondern auch durch dessen wirtschaftlicher Nutzbarkeit. Dies bedeutet, dass über die bloße Potenz hinaus, die durch die Anwesenheit von Wald gegeben ist, die „Möglichkeit“ einer Nutzung, die als nur durch mittelfristig veränderliche, volkswirtschaftliche Gegebenheiten konstituiert ist, gegeben sein muss. Demgegenüber ist von Exposition dann zu sprechen, wenn die Nutzung der Holzprodukte auf Grund der Analyse der Angebots- und Nachfragesituation gewinnbringend erscheint, oder andere nicht primär ökonomische Expositionsfaktoren auftreten. Hier wirken vor allem kurzfristig veränderliche Randbedingungen, d. h. binnen Monaten bis 1 - 2 Jahren. Insgesamt liegt der im folgenden beschriebenen Bestimmung des Dispositionsraums eine eher konservative Vorgehensweise in der Bewertung der verwendeten Indikatoren zu Grunde, d. h. eine Überschätzung des Dispositionsraums wird eher toleriert als seine Unterschätzung. Angesichts der globalen Bedeutung der Wälder für Mensch und Natur sowie mit Blick auf die bestehenden Unsicherheiten in der Definition sowohl von „Wald“ als auch von „Entwaldung“ erscheint ein derart vorsichtiges Vorgehen angebracht.

5.1.3.1 Die Dispositionsfaktoren

Die für ein Einsetzen des RAUBBAU-SYNDROMS notwendige ökonomische Nutzbarkeit von Waldgebieten, bezieht sich zum einen auf eine ökonomisch nutzbare Holz- bzw. Biomassendichte sowie die möglichst kostengünstigste Erreichbarkeit der Ressource. Dieser Zusammenhang von Transportkosten und Landnutzung in der Entwaldung wird auch in anderen Studien angeführt (Lambin & Mertens 1997; Stone 1998; Angelsen 1999). Dieser Ansatz

lässt sich mit Theorie der Bodenrente von von Thünen ökonomisch begründen. Es lässt sich die Grundaussage ableiten, dass die Distanz vom Markt in Abhängigkeit von Transportkosten, inklusive Erschließungskosten und Verkaufspreis, die Landnutzung außerhalb des Marktes bestimmt (Stone 1998). Die „ökonomisch verwertbare Biomassendichte“³² wurde mit Hilfe von Expertenabschätzungen (Kohlmaier et al. 1997) und einem Modell zur globalen Vegetationsdynamik (Sitch pers. Mitteilung) abgeschätzt und mit einer kompensatorischen UND-Verknüpfung mit „erreichbaren Waldressourcen“ verknüpft, wobei von einer für eine ökonomische Rentabilität benötigte Mindestbiomassendichte ausgegangen wird. Die verwendete Waldgebietsmaske stammt aus der in ein 5' Raster (~ 10 x 10 km am Äquator) umgewandelten *World Forest Map* des World Resource Institutes (WRI 1998). Nicht alle als nutzbar qualifizierten Waldgebiete sind jedoch in gleichem Maße disponiert. In vielen Regionen der Welt wurden, im Rahmen nationaler und internationaler Gesetze und Abkommen, Waldschutzgebiete mit unterschiedlichen Graden der Nutzungseinschränkung eingerichtet. Gebiete mit einem Schutzstatus von Klasse I - V nach der IUCN Einteilung (Iremonger et al. 1997) werden als nicht nutzbar ausgewiesen. Ein gesetzlicher Schutz gegenüber illegaler Abholzung durch die Ausweisung von Schutzgebieten (z. B. Biosphärenreservate des *Man-and-the-Biosphere* Programms der UNESCO) ist allerdings nicht immer ausreichend und abhängig von lokalen, zeitlich variablen Faktoren. Da eine Abschätzung der lokalen Rechtssicherheit dieser Schutzgebiete im Rahmen von eher kurzfristigen Einflussgrößen liegt und daher im Bereich der Intensitätsmessung vorgenommen wird, werden die Schutzgebiete für die Bestimmung der Disposition ausgeschlossen. Die generelle Erreichbarkeit der Wälder wurde durch die Berechnung einer virtuellen Kostenoberfläche unter Berücksichtigung der Geländetopographie erzeugt, wobei Regionen mit „geringer Steigung“ mit „geringeren Kosten“ überwindbar sind. Grundannahme ist, dass Waldgebiete, die zu „geringen Kosten“ erreichbar sind, vor solchen ausgebeutet werden, deren Erschließung und Nutzung mit einem hohen technischen und organisatorischen Aufwand verbunden ist. Um diesen Aufwand näher zu bestimmen, wurde eine Fuzzy-Logik-basierte Verknüpfung der Faktoren vorgenommen: Nähe zu Straßen und Eisenbahnen, Nähe zu schiffbaren Flüssen, Nähe zu flachen Küstengebieten sowie Nähe zu urbanen Zentren und Siedlungsgebieten. Permafrostgebiete sowie schiffbare Flüsse ohne eisfreie Häfen wurden als nur schwer erreichbar eingestuft. Demgegenüber sind biomassereiche Wälder, ohne Steigungen, in der Nähe der zivilisatorischen Infrastruktur als hoch gefährdet anzusehen.

5.1.3.2 Verschneidung und Fuzzifizierung der Dispositionsfaktoren

Um im Rahmen der Dispositionsbestimmung unscharfe, d. h. nicht scharf abgrenzbare, oder qualitative Aussagen zusammen mit quantitativen Informationen zu verbinden, werden die mathematischen Konzepte der Fuzzy-Mengen und Fuzzy-Logik genutzt (Böhme 1993; Cassel-Gintz et al. 1997). Diese Konzepte werden in der Definition von Zugehörigkeitsgraden von Variablen zu geeigneten linguistischen Kategorien (hoch, niedrig etc.), $\mu_{\text{ling. Kat.}}^{\text{Variable}}$ mit ($0 \leq \mu \leq 1$) in Bezug auf ihren Beitrag zur Disposition und über geeignete Fuzzy-

³² „ökonomisch verwertbare Biomassendichte“ stellt eine linguistische Variable im Sinne der Fuzzy-Logik dar; wobei „verwertbare Biomassendichte“ die Variable und „ökonomisch“ ihre Kategorie ist (siehe Appendix I).

Verschneidungsoperatoren zur Kombination der einzelnen Dispositionselemente angewandt. Eine kurze Einführung in die Konzepte der Fuzzy-Logik ist in Appendix I gegeben.

Im ersten Schritt der Dispositionsbestimmung werden zunächst die Ausgangsvariablen zur Erzeugung einer *Infrastrukturmaske*³³ miteinander verschnitten. Eine „gute Erreichbarkeit“ für die *Infrastrukturmaske* wurde für jeden Ort innerhalb einer 5' Rasterzelle dicht besiedelter oder urbaner Gebiete, als generell gegeben angesehen. Zur Identifikation dieser urbanen Räume wurden die 5' Rasterzellen aus der *World Demography* Datenbank (Tobler et al. 1995) mit den jeweils höchsten Bevölkerungsdichten in einem Land aggregiert, bis der vom WRI (1996) länderweit angegebenen Anteil der urbanen Bevölkerung erreicht wurde. In weniger dicht besiedelten Gebieten bilden das *Straßennetz*, das *Bahnnetz* und *schiffbare Flüsse* sowie die *Küstenlinien* (Arcworld 1992; US Departement of Transportation) Korridore von verkehrstechnisch erschlossenen Zellen. Die Vektoren wurden dabei in Rasterzellen mit einer Auflösung von jeweils 5' Auflösung umgewandelt. Durch diesen Vorgang wird impliziert, dass jeder Ort der weniger als 10 km von Verkehrsinfrastruktur entfernt ist, ohne größere Kosten erreicht werden kann. Die resultierenden Datenschichten wurden mit einer booleschen ODER Verschneidung verknüpft, so dass alle Orte innerhalb einer Rasterzelle, die eine oder mehrere dieser Variablen enthält, als mit „guter Verkehrsinfrastruktur“ erschlossen, anzusehen sind. Alle zugänglichen Zellen bilden eine binäre Zielmaske (0 / 1 Kodierung) für die Erstellung einer Kostenoberfläche. Für alle anderen Gitterzellen wird die jeweils kostengünstigste Entfernung zu den Zellen der Zielmaske in Abhängigkeit von der *Topographie* errechnet. Auf der Grundlage eines digitalen Höhenmodells (5' Raster - ETOPO5, US National Geophysical Data Center) wurden die Steigungen errechnet und mit einer linearen Rampenfunktion (Abbildung 13a) zur linguistischen Variable „hoheSteigung“, $\mu_{hoch}^{Steigung}$, fuzzyfiziert welche die virtuellen Kosten zur Überwindung einer Zelle abbildet. *Permafrostgebiete* und *IUCN Schutzgebiete der Klassen I - V* werden dabei in der resultierenden Kostenoberfläche als nicht erreichbar eingestuft. Dieses Maß beschreibt von jeder Rasterzelle aus die aggregierten Kosten, die aufgewendet werden müssen um eine Zelle zu erreichen, die als mit Infrastruktur ausgestattet definiert ist. Je höher die Kosten zur Erreichung einer Rasterzelle, desto ungeeigneter wird sie für eine potentielle Nutzung. Aus dem Wert der erzeugten Kostenoberfläche wird durch eine Fuzzyfizierung die Variable „niedrige Kosten“, K (Abbildung 13b), abgeleitet. Diese Rampe hat die Form einer umgedrehten J-Kurve und trägt damit der verstärkten Nutzung von nahen Gebieten gegenüber entfernteren Regionen Rechnung. Dies begründet sich mit der Überlagerung der Reichweiten der an der Entwaldung beteiligten Akteure, wobei nur große Holzeinschlagsfirmen die Kosten für eine weit entfernte Exploitation tragen können, aber relativ viele Akteure sich die niedrigen Kosten für eine Erschließung des Nahraums teilen. Dieses Maß der *Kosten* der Erreichbarkeit, wurde mit einer globalen Karte der Waldgebiete, (W , 0 / 1 kodiert; Abbildung 13c), unter Nutzung eines Fuzzy-UND Operators (Minimum; Gleichung 1; siehe Appendix 1) zu einem Raster der „gut erreichbaren Waldressourcen“, WG , verknüpft.

$$\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit} = \mu (W \wedge K) = \min \left\{ \mu_{Wald}^{Wald}, \mu_{niedrig}^{Kosten} \right\} \quad \text{Gleichung 1}$$

³³ Variablen werden im Folgenden *kursiv* dargestellt.

Da der Holzeinschlag erst ab einer bestimmten Stammdicke profitabel ist, wurde die „verwertbare Biomassendichte“, B , einer Expertenabschätzungen (Kohlmaier et al. 1997) zu $\mu_{hoch}^{Biomasse}$ fuzzyfiziert (Abbildung 13d), und mit einem min-max-Kompensations-Operator ($K_{0,5}$ -Operator; Gleichung 2) mit den „gut erreichbaren Waldressourcen“ zu der Variablen „hohe Disposition“ für das RAUBBAU-SYNDROM, verknüpft.

$$\begin{aligned}
 \mu_{hoch}^{Disposition} &= \mu(WG \hat{\wedge} B) \\
 &= K_{0,5}(\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}, \mu_{hoch}^{Biomasse}) \\
 &= (\min\{\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}, \mu_{hoch}^{Biomasse}\})^{1-0,5} \cdot (\max\{\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}, \mu_{hoch}^{Biomasse}\})^{0,5} \\
 &= \sqrt{\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit} \cdot \mu_{hoch}^{Biomasse}}
 \end{aligned}
 \tag{Gleichung 2}$$

Dieser K_{γ} -Operator beschreibt das menschliche Verhalten Kompromisse einzugehen. Er enthält Minimum und Maximum Operationen, die je nach Situation mehr zu einem UND, für γ -Werte nahe 0, oder zu einem ODER, für γ -Werte nahe 1, gewichtet werden können. Dieses Verhalten wird als kompensatorische UND-Verknüpfung bezeichnet (Böhme 1993). Für $\gamma = 0.5$ liefert der Operator das geometrische Mittel aus Minimal- und Maximalwert. Der $K_{0,5}$ -Operator wurde gewählt, um die ökonomische Handlung der holzeinschlagenden Akteure besser repräsentieren zu können. In Kombination einer guten Erreichbarkeit mit einer relativ schlechten Biomassendichte oder einer schwer zugänglichen aber hochwertigen Ressource, reicht schon die positive Bewertung einer Komponente für eine Entscheidung zur Exploitation der Ressource aus. Eine graphische Darstellung dieser Operatoren ist in Abbildung 14 gegeben.

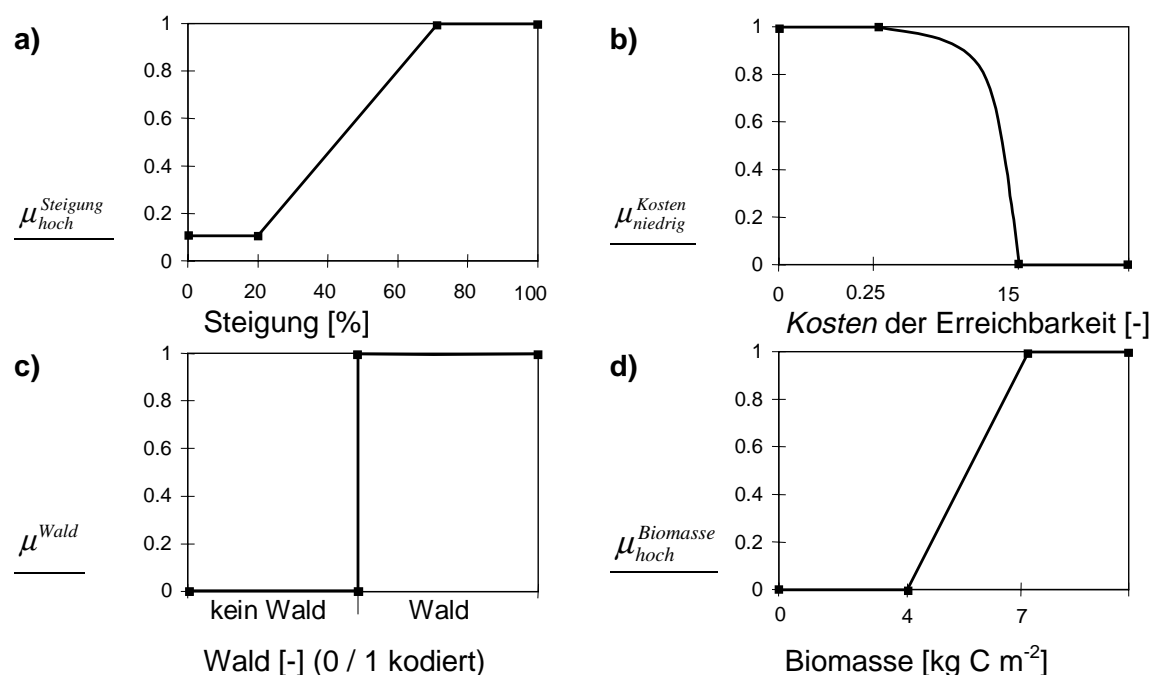


Abbildung 13: Fuzzyfizierung von Dispositionsvariablen im RAUBBAU-SYNDROM.

Die hier beschriebene Vorgehensweise ist in dem fuzzy-logischen Bewertungsbaum in Abbildung 15 zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 14: Darstellung der Oberfläche der Zugehörigkeit zur linguistischen Variable $\mu_{hoch}^{Disposition}$, durch eine Verknüpfung von $\mu_{hoch}^{Biomasse}$ und $\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}$ mit einem min-max-Kompensations-Operator K_{γ} , mit $\gamma = 0.5$.

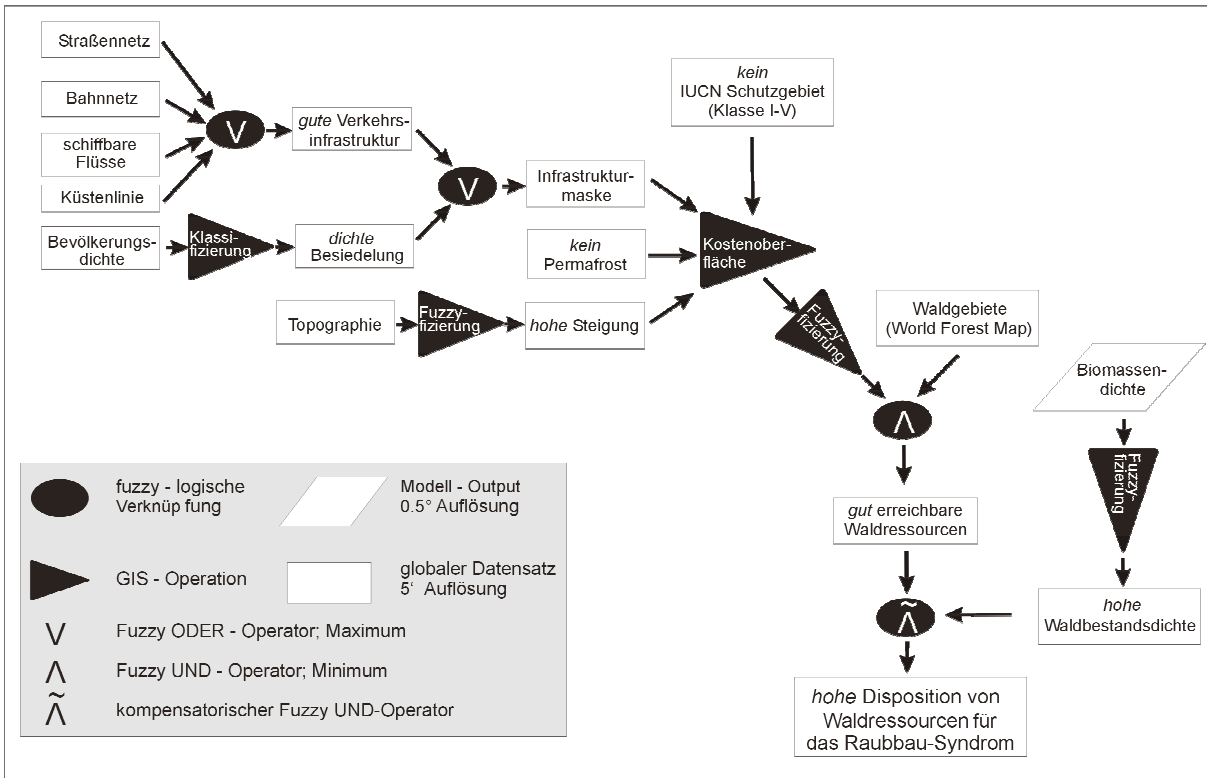
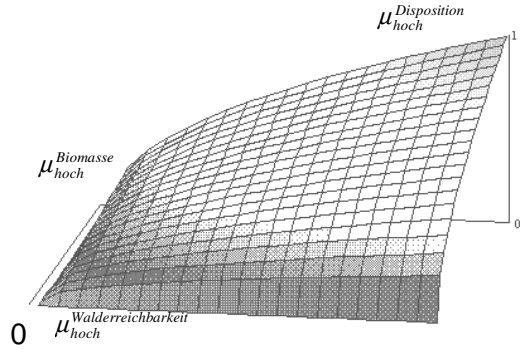


Abbildung 15: Fuzzy-Logischer Bewertungsbaum zur Bestimmung der Disposition von Waldressourcen für das RAUBBAU-SYNDROM.

5.1.3.3 Interpretation der räumlichen Verteilung der Disposition

Die auf diese Weise erstellte Karte (Abbildung 16) zeigt die geographische Verteilung gut erreichbarer und ökonomisch rentabler Waldgebiete. Helle Regionen sind schwer erreichbar oder haben nur sehr geringe Biomassendichten, d. h. sie sind nur wenig disponiert für das RAUBBAU-SYNDROM; dunkle Regionen sind gut erreichbar und verfügen über ausreichende oder gute Biomassendichten, d. h. sie sind hoch disponiert.

Amerika

Als besonders hoch disponiert erscheinen die Wälder der dichtbesiedelten Regionen der Ostküste. Hier findet vor allem noch in den nördlichen „New England“ Staaten eine intensive Holzwirtschaft statt. Hier hat gegen Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts das RAUBBAU-SYNDROM gewütet. Die fast völlige Zerstörung der Wälder führte 1892 zu der Grün-

derung des „Adirondack National Parks“. Heute ist ein Großteil der amerikanischen „New England“ Staaten wieder dicht mit Sekundärwald bewaldet. In den Appalachen und Adirondacks findet allerdings auch heute noch eine forstwirtschaftliche Nutzung mit „Clear Cuts“ statt.

In Kanada erscheinen vor allem die Regionen entlang des St. Lorenz, weite Teile von Quebec, die Regionen um die Großen Seen, das nördliche Ontario sowie die Waldgebiete der Prärieprovinzen und der Westküste (*British Columbia*) als hoch gefährdet. In diesen Regionen ist auch ein Großteil der kanadischen Holzproduktion angesiedelt. Vor allem auch der Holzeinschlag in den Nebelwäldern an der Westküste von *Vancouver Island* (*Great Bear Rainforest*, *Clayoquot Sound*) und dem Festland von *British Columbia* sind aktuell Thema in der Entwaldungsdiskussion (Diem 1993; Soltwedel-Schäfer 1997; Greenpeace 1998).

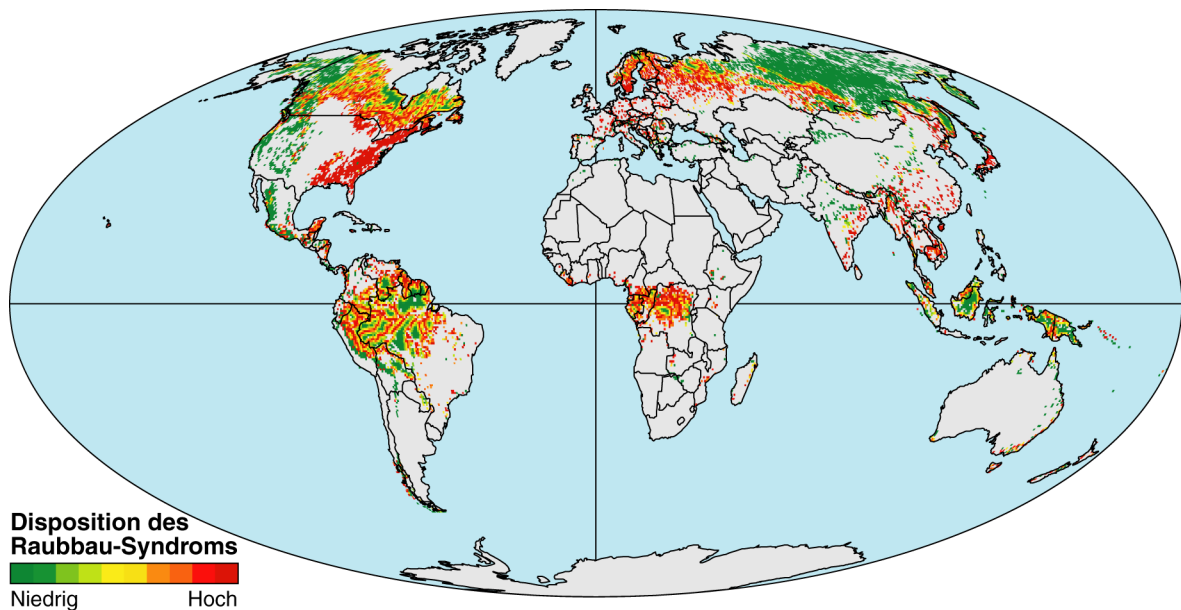


Abbildung 16: Disposition gegenüber dem RAUBBAU-SYNDROM. Weiße Flächen sind nicht bewaldet.

In Zentralamerika erscheinen vor allem Yucatan und die karibischen Küstenwälder Costa Ricas und Nicaraguas als disponiert. Die verblieben Primärwälder in dieser Region werden auch in der auf Expertenbefragung beruhenden Studie der „*Frontier Forest Initiative*“ (WRI 1997) als hoch gefährdet eingestuft. Besonders die Wälder der „*Sierra Madre Occidental*“ der „*Maya Forest Region*“ sowie entlang des „*Pan American Highway*“ werden als stark von Holzeinschlag bedroht beschrieben, ein weiteres Beispiel für den Zusammenhang zwischen der Erschließung von Regionen und der Bedrohung von Waldökosystemen.

In Südamerika sind die gut erreichbaren Regionen des Amazonas-Beckens und das Guyana-Schild hoch disponiert. Diese Regionen werden in vielen Fallstudien und von der FAO (1999) als Entwaldungsschwerpunkte identifiziert. Auch die Restbestände der brasilianischen Küstenregenwälder erscheinen hoch gefährdet (vgl. Dünckmann & Wehrhahn 1998). Die großen, noch relativ intakten Küstenwälder im südlichen Chile erscheinen als teilweise disponiert (Richter & Bähr 1998). Neuere Entwicklungen deuten darauf hin, dass die Chilenische Regierung diese

Wälder zur Finanzierung eines ökonomischen Entwicklungsschub opfern will³⁴. Diese Einschätzung wird auch in der „*Frontier Forest Initiative*“ Studie (WRI 1997) geteilt.

Afrika

In Afrika werden vor allem die letzten verbliebenen großen Sekundär- und Primärwaldgebiete im Kongobecken als disponiert identifiziert. Diese Einschätzung erscheint allerdings als etwas zu hoch, da sich die negativen Effekte der kriegerischen Auseinandersetzungen der letzten Jahre in den verwendeten Daten nicht niederschlagen. So war etwa 1960 die Zahl der für die Entwaldung nutzbaren Straßen im Kongogebiet wesentlich größer als heute (FAO 1999). Dies stellt ein starkes Hemmnis für die ökonomische Exploitation der Holzressourcen dar. Des Weiteren sind die verbleibenden Wälder Madagaskars, des Äthiopischen Hochlands, sowie die verbliebenen Küstenwälder entlang des Golf von Guinea, vor allem in Sierra Leone, Liberia, Elfenbeinküste, Ghana, Togo und Nigeria, hoch disponiert.

Asien und Ozeanien

Das kontinentale Südostasien weist kontinuierlich hohe Dispositionswerte aus. Dies erscheint auf Grund der vorhandenen Fallstudien als plausibel (vgl. Krings 1998). Zwischen 1960 und 1980 hat Asien etwa 1/3 seiner tropischen Wälder verloren (Singh & Marzoli 1995) und nimmt damit den weltweiten Spitzenplatz in der Waldkonversion ein. Auch die verbliebenen Waldgebiete in Kalimantan, Sarawak, Irian Jaya und Papua-Neuguinea erscheinen als hoch disponiert, wobei in letzterem die Disposition als etwas zu hoch eingestuft erscheint, da diese Region nur sehr schwer zugänglich und nur wenig erschlossen ist. Die meisten der tatsächlich zugänglichen Wälder in Borneo, Sumatra, Sulawesi und Irian Jaya sind bereits dem Raubbau anheim gefallen, so dass nur noch Wälder in sehr unzugänglichen Regionen verbleiben (WRI 1997). Auf Grund ihrer herausgehobenen ideellen Bedeutung erscheint die hohe Disposition der Wälder Japans als zu hoch. Solange Japan die Wälder der anderen pazifischen Staaten zur Befriedigung seiner Nachfrage nutzt, ist eine mögliche Exploitation dieser Wälder durch ihren speziellen sozialen und kulturellen Status nicht wahrscheinlich.

Europa und Russland

Die Wälder Fennoskandiens und Russlands erscheinen als sehr hoch disponiert. Vor allem von den großflächiger Stammholzextraktionen in Karelien, Kola und Komi sind schwerwiegende Umweltprobleme bekannt (Greenpeace 1998). Auch in den südlichen Waldgebieten der sibirischen Taiga ist der zerstörende Umwelteinfluss kommerzieller Holzentnahme gut dokumentiert. Hier sind es vor allem internationale, meist asiatische Holzfirmen, welche die Wälder Sibiriens als eine neue lohnende Quelle zur Befriedigung der globalen Nachfrage nach Holzchips ansehen (WRI 1997). Hier werden auch die Habitate des Sibirischen Tigers stark bedroht. Vor allem vom Zufluss internationalen Kapitals für die Erschließung der sibirischen Wälder geht eine hohe Bedrohung dieses bedeutenden Ökosystems durch das RAUBBAU-SYNDROM aus.

³⁴ TAZ, die Tageszeitung, Nr. 5247, vom 09.06.97; Seite 14, Hintergrund.

5.1.4 Abschätzung der Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS

Die Schwierigkeit in der Abschätzung der aktuellen Stärke und Verteilung der verschiedenen Typen des RAUBBAU-SYNDROMS, besteht in der unzureichenden Menge räumlich aufgelöster Daten zu Art, Umfang und Ursache der Entwaldung. Bei Untersuchungen mit Hilfe von Satelliten- oder Luftbildern wird die Degradation von Waldökosystemen häufig unterschätzt, da hierbei kaum Aussagen über den Grad der Ausdünnung möglich sind (vgl. Nepstad et al. 1999). Auch sind hieraus keine Ergebnisse hinsichtlich der Ursache der Entwaldung, also etwa für Weidewirtschaft, Straßen- oder Staudambau, oder auch Ackerbau, zu gewinnen. Dieses generelle Manko auf Seiten der Datenverfügbarkeit wird zur Zeit im Rahmen eines globalen Waldinventars zu beheben versucht, dessen Ergebnisse allerdings erst in den nächsten ein bis zwei Jahren zu erwarten sind (FAO 1999).

5.1.4.1 Bestimmung der Grundtypen des Syndroms

Diese Datendefizite führen zu einer indirekten Bestimmung der Grundverlaufstypen des RAUBBAU-SYNDROMS - Degradation versus Konversion. Die Untersuchungen wurden für den Zeitraum 1990 – 1995 mit globalen Datensätzen durchgeführt. Auf Basis länderspezifischer Datensätze zum Verlust von Waldflächen wurden zunächst mit Hilfe eines globalen, dynamischen Vegetationsmodells (LPJ: Lund-Potsdam-Jena-Modell, Sitch; pers. Mitteilung), die im Rahmen der Konversion möglichen Biomasseentnahmen abgeschätzt. Es sind jedoch weder der Anteil des im Rahmen der Konversion tatsächlich genutzten Holzes noch der Ort der Konversion bekannt. Daher lässt sich die im Rahmen der Konversion erzielte Holzproduktion (Term 1. in Gleichung 3 dividiert durch Umrechnungsfaktor 0.57 zwischen Rundholz und stehender Biomasse) nur nach oben, das bedeutet die volle Nutzung in den jeweils produktivsten Regionen ($u=1$ in Gleichung 4 und I_k ist so gewählt, dass $\min c_i \geq \max c_j; i, j \in I_k$), abschätzen. Die untere Abschätzung ergibt sich zu null, entsprechend der Nichtnutzung des Holzes in den konvertierten Waldflächen ($u=0$). Vergleicht man in einem zweiten Schritt den so abgeschätzten Holzertrag aus der Konversion mit den entsprechenden empirischen Daten für die gesamte Holzproduktion eines Landes, so muss sich die Differenz (Term 2. in Gleichung 3) durch die Degradation bestehender Waldflächen ergeben (dabei: Degradationsgrad > 90% nach FAO-Definition). Betrachtet man den oben eingeführten Anteil der Holznutzung u hier als unabhängige Größe, so ergibt sich auf diese Weise die zu einem beliebigen Anteil gehörige Holzproduktion, die mit einer Degradation des Waldes verbunden ist. Wiederum mit Hilfe des globalen Vegetationsmodells ermittelt sich daraus die zugehörige Degradationsfläche. Da jedoch erneut der Ort der Degradation unbekannt ist, ist auch hier nur eine Abschätzung nach oben, bzw. unten möglich, d. h. I_D in Gleichung 3 wird einmal so gewählt, dass es die noch freien Pixel mit der höchsten Biomasse beinhaltet und einmal so, dass es die Pixel mit der niedrigsten Biomasse beinhaltet. Abbildung 17 zeigt beispielhaft das Ergebnis dieser Abschätzung im Falle Brasiliens. Die Linie oberer Abschätzung ergibt sich, wenn Konversion und Degradation auf den unproduktivsten, diejenige der unteren Abschätzung, wenn beides auf den produktivsten Standorten vorgenommen wurde. Die tatsächlich durch Holzentnahme degradierte Waldfläche sollte somit zwischen den beiden Linien liegen.

Kohlenstoffbilanz:

Gleichung 3

$$PR_k = \underbrace{\sum_{i \in I_k} c_{i(k)}}_1 + \underbrace{\sum_{j \in I_D} d_j \cdot c_j}_2$$

wobei, $PR_k = 0.57 \cdot \overline{PR}_k$

\overline{PR}_k = Produktion von Rundholz im Land k , gemessen in m^3 ,
mit Umrechnungsfaktor $0.57 [tC/m^3 \text{ Rundholz}]$ zur Umrechnung in kg stehender Biomasse (incl. Wurzeln, Ästen, etc.) PR_k (nach Schlamadinger et al. 1995)

 I_D = Indexmenge degradiertes Pixel

d_j = Degradationsgrad auf Pixel j $\left(\frac{\text{Entnommene Biomasse}}{\text{stehende Biomasse}} \right)$

vereinfacht auf

 $d_j = d = 0.9$ (nach FAO Definition)die gesuchte Degradationsfläche $DF_k(u)$ ergibt sich dann als: $DF_k(u) = \sum_{j \in I_D} A_j$

$$c_{i(k)} = \bar{c}_{i(k)} \cdot A_{i(k)} [tC], \quad \text{mit } \sum_{i \in I_k} A_i = u \cdot kF_R$$

Gleichung 4

wobei, $\bar{c}_{i(k)} [kg C / m^2]$ = Flächendichte der stehende Biomassendichte
auf einem Pixel im Land k

 $A_{i(k)} [m^2]$ = Fläche eines Pixels

u = Anteil des Holzes, das auf den konvertierten Flächen stand,
das in die Produktion Eingang fand; frei wählbarer
Parameter.

kF_R = konvertierte Waldfläche im Land k während des
Beobachtungszeitraums (1990 - 1995)

 I_k = Indexmenge konvertierter Pixel

Diese Art der Abschätzung führt zu charakteristischen Unterschieden zwischen tropischen Regionen und gemäßigten bzw. borealen Regionen. Die Ergebnisse der meisten Tropenländer ähneln denen Brasiliens: für Holzentnahmen größer einem kritischen Anteil u_{crit} der als konvertiert ausgewiesenen Fläche ist, auf Grund der Kohlenstoffbilanz, eine Nutzung anderer Waldressourcen nicht zu erwarten. Für Brasilien liegt dieser Wert zwischen 25 und 65 %. Da jedoch unterschiedlichen Quellen zufolge, der Anteil der Holzproduktion an der Flächenkonversion in Brasilien eher in der Größenordnung von 5 - 10% liegt, kann hier, wie auch bei anderen Tropenländern, davon ausgegangen werden, dass eine Mischform zwischen Konversion und Nutzung unter Fortbestand des Waldes, mit möglicher Degradation verbunden, vorliegt. Die ermittelte Größenordnung für die genutzte Fläche stimmt im Fall Brasiliens mit den Angaben von Nepstad et al. (1999) überein, die für Amazonien, neben der Entwaldung, eine durch Holzeinschlag geschädigte Fläche von $10.000 - 15.000 \text{ km}^2 \text{ Jahr}^{-1}$ angeben. Dagegen weisen die Länder des Nordens durchweg einen hohen Grad an Nutzung ohne Konversion auf. Dieser Unterschied lässt sich durch den Wert von u_{crit} zusammenfassen ($u_{crit} > 1$ für Länder des Nordens). Abbildung 18 zeigt die globale Verteilung dieses Indikators für Mischnutzung. Wie zu erwarten weisen die meisten Tropenländer eine Mischform der

Holznutzung auf. Nur wenige Länder wie z. B. Bolivien oder Venezuela sind weitgehend durch einen einzigen Konversionstyp gekennzeichnet. Dagegen ist in den Ländern des Nordens durchweg nicht Konversion, sondern eine reine Nutzung bestehender Waldbestände zu beobachten. Allerdings ist hier das bereits diskutierte Problem der nur länderweiten Auflösung der verwendeten Daten zu berücksichtigen, so weist Kanada als Ganzes eine Zunahme der Waldfläche auf, obwohl in großen Bereichen noch Kahlschlag betrieben wird. Auch fallen hier Aufforstungsprogramme ins Gewicht, die auf der aggregierten Ebene der Modellrechnung für einen Ausgleich der kahlgeschlagenen Flächen sorgen. Abgesehen von diesen Einschränkungen kann das in Abbildung 18 dargestellte Maß als Angabe für den in einem Land vorherrschenden Typ des RAUBBAU-SYNDROMS, d. h. Konversions- oder Degradationstyp, ohne Angabe der Stärke des Syndroms betrachtet werden.

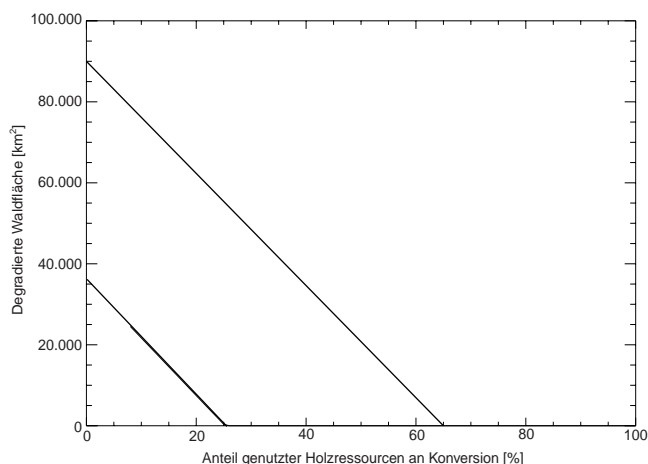


Abbildung 17: Graphik zur Abschätzung des Grades u der Waldnutzung zur Holzgewinnung ohne Konversion der Waldfläche am Beispiel Brasiliens.

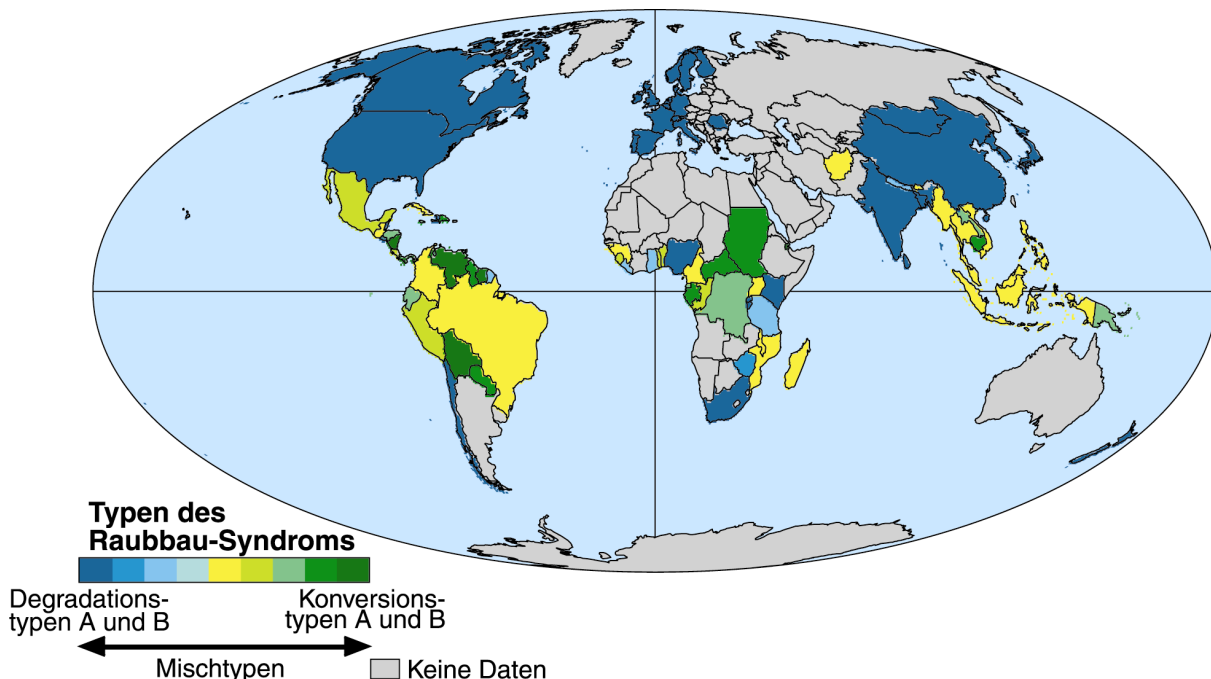


Abbildung 18: Vorherrschende Typen des RAUBBAU-SYNDROMS in länderweiter Darstellung ohne Angabe der Stärke des Auftretens des Syndroms; blau = **Degradationstypen A & B**; grün Schraffur = **Konversionstypen A & B**; dazwischen = **Mischformen**).

5.1.4.2 Intensität des Syndroms im Hinblick auf Waldökosysteme

Die Intensität ist definiert als Maß der Aktivität und Stärke der konstituierenden Mechanismen des Syndromkerns (Abbildung 11). Im Folgenden wird eine erste Abschätzung der wesentlichen Kernsymptome *Übernutzung biologischer Ressourcen* und *Politikversagen* gegeben.

Nutzung biologischer Ressourcen

Die Abschätzung der Dynamik der Nutzung biologischer Ressourcen beruht auf den statistischen Angaben der FAO (1999) für die Rundholzproduktion eines Landes. Damit ist insbesondere Feuerholz in den folgenden Untersuchungen enthalten. Da es wahrscheinlich ist, dass die in den offiziellen Statistiken auftauchenden Zahlen sich auf Markthandel beziehen, ist nicht zu erwarten, dass diese Statistiken den informellen Sektor einschließen, welcher dem Muster des SAHEL-SYNDROM zugeschlagen werden muss (vgl. WBGU 1996).

Zur Bestimmung des Symptoms wurde sowohl die Höhe der Produktion, als auch deren Veränderung von 1990 - 1995, berücksichtigt. Insbesondere ist das Symptom dann als relevant für das RAUBBAU-SYNDROM zu betrachten, wenn entweder eine starke relative Zunahme der Produktion (linguistische Variable: „signifikanter Produktionstrend“, PT_s) zu beobachten ist oder aber eine nicht zu stark rückläufige Produktion („hoher Produktionstrend“, PT_h) auf einem sehr hohem Niveau („hohe Produktion“, P ; Abbildung 19).

$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{Übernutzung} &= \mu((PT_h \wedge P) \vee PT_s) && \text{Gleichung 5} \\ &= \max \left(\left(\gamma_1 \cdot \min \left\{ \mu_{hoch}^{Prod.Trend}, \mu_{hoch}^{Produktion} \right\} + \{1 - \gamma_1\} \cdot \frac{\mu_{hoch}^{Prod.Trend} + \mu_{hoch}^{Produktion}}{2} \right), \mu_{signifikant}^{Prod.Trend} \right) \\ &\text{für } \gamma_1 = 0.5 \end{aligned}$$

Diese Charakterisierung wurde durch eine Fuzzy-UND Verschneidung (γ -Operator) und eine Fuzzy-ODER Verschneidung (Maximumoperator; Gleichung 5), auf der Basis der FAO-Statistiken, zu einem Gesamtindikator für diese ökonomische Komponente der Syndromintensität, erzeugt. Die wenigen Parameter, die in der Verschneidung benötigt werden, wurden so gewählt, dass einige Regionen, in denen bekanntermaßen eine „Übernutzung“ vorliegt, entsprechend indiziert werden (Abbildung 19). Diese Form der Kalibrierung hat den Vorteil, dass nicht auf reduktionistische Konzepte einer nachhaltigen Nutzung zurückgegriffen werden muss in deren Rahmen a priori fixe Schwellwerte für jeden eingehenden Indikator bestimmt werden müssten. Das Resultat ist in Abbildung 20 dargestellt. Neben den „klassischen“ Entwaldungsländern Brasilien, Indonesien oder auch Kanada, sind insbesondere China, Indien und Nigeria als stark von dem Symptom betroffen indiziert. Dies ist insbesondere auf den hohen Brennholzanteil an der Energiegewinnung dieser Länder zurückzuführen. So betrug etwa die Brennholzproduktion in China 1990 etwa 70 % des Gesamteinschlags, wobei hier jedoch ab 1995 vermutlich ein Rückgang des Brennholzanteils auf Grund des starken Wirtschaftswachstums in China, zu erwarten ist. Inwiefern sich dies jedoch auf die absoluten Zahlen überträgt, bleibt abzuwarten.

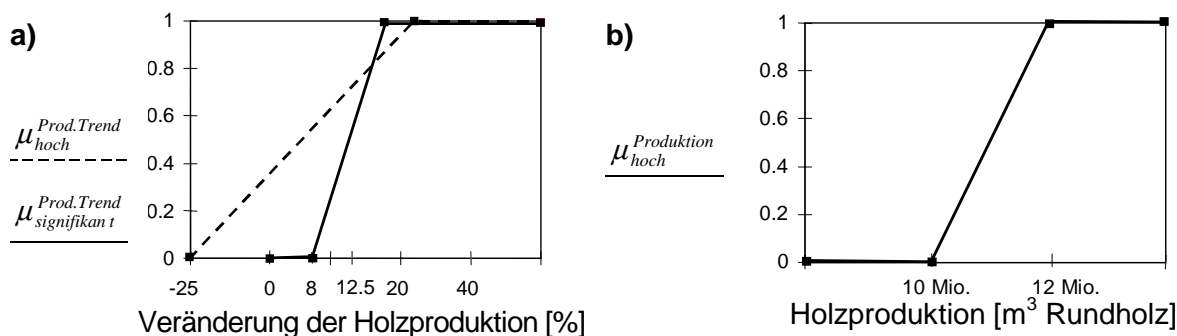


Abbildung 19: Fuzzyfizierung von Variablen im Rahmen der Bestimmung der Übernutzung biologischer Ressourcen im RAUBBAU-SYNDROM.

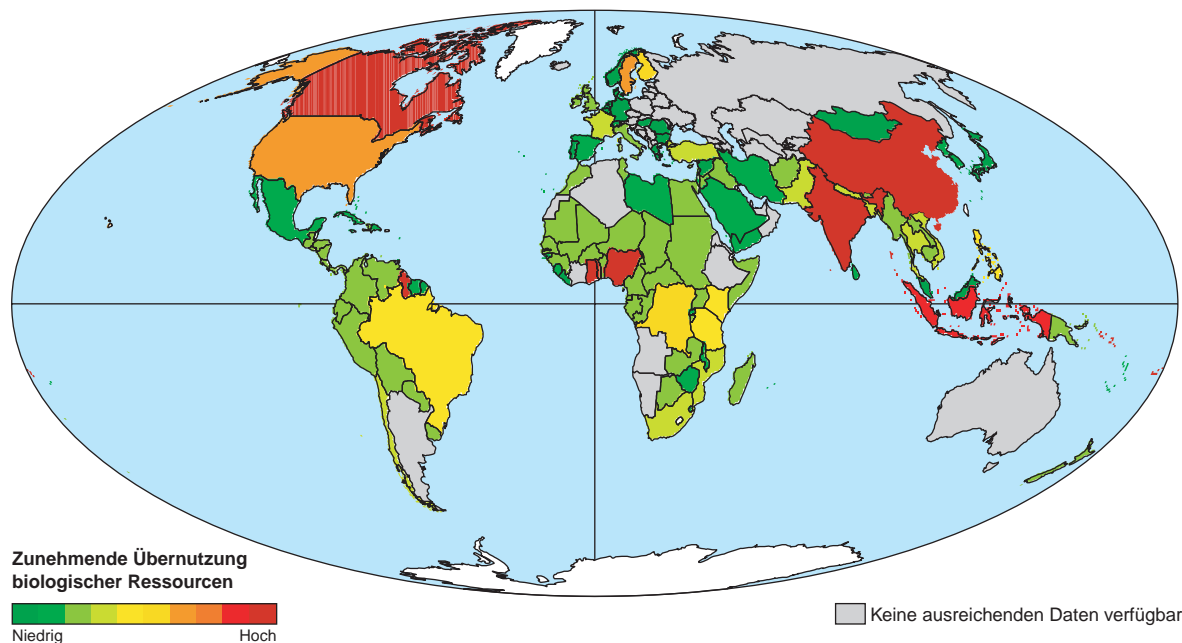


Abbildung 20: Globale Verteilung des Symptoms Übernutzung biologischer Ressourcen.

Messung des Politikversagens

Politikversagen betrifft in diesem Kontext sowohl die Unfähigkeit des Staates vorhandene regulative Maßnahmen im Hinblick auf den Schutz von Wäldern durchzuführen, als auch die Unwilligkeit sie zu beschließen. Letzteres lässt sich an den tatsächlichen forstwirtschaftlichen Institutionen bemessen, die während des Analysezeitraums (1990 - 1995) in Kraft waren. Die Unterscheidung, ob es sich nur um Aktionspläne oder ähnliches handelt, oder um bindende Gesetze, orientiert sich an den Angaben im FAO-Waldbericht 1999, in dem länderspezifische Angaben über forstwirtschaftliche Institutionen („Forest Actionplan“ Indikator - FAI; Abbildung 21c) enthalten sind. Im Falle eines Aktionsplanes stellt sich die Frage, inwieweit die politisch-ökonomische Konstellation des Landes eine Umsetzung desselben erwarten lässt. Diese Umsetzung kann zumindest durch zwei Mechanismen effektiv unterbunden werden: Lobbyismus (auch und gerade im Rahmen demokratischer Systeme) und Korruption. Letzteres wurde mit Hilfe des Korruptionsindex von „Transparency International“ (1998) sowohl hinsichtlich seiner Stärke im Analysezeitraum („hohe Korruption“; Abbildung 21a), als auch hin-

sichtlich seiner Veränderung („hoher Korruptionstrend“; Abbildung 21b) belegt, wobei eine leichte Verbesserung des Korruptionsindex als nicht ausreichend für eine Reduzierung des Drucks auf die Waldressource angesehen wird. Der Index misst für derzeit fast 100 Länder den Grad der Korruption in der staatlichen Bürokratie aus Sicht von Wirtschaft und Gesellschaft. Grundlage dafür sind bis zu 12 verschiedene Quellen, in denen unabhängig voneinander einzelne Länder bewertet wurden (z. B. der *World Competitiveness Report* oder *Political Risk Service*). Zur Bestimmung der sich hieraus ergebenden Komponente des *Politikversagens* wurde darüber hinaus berücksichtigt, dass legal bindende Waldschutzprogramme schwerer zu umgehen sind als unverbindliche Absichtserklärungen zu Umwelt- und Naturschutz. Diese Verschneidung zu einer Trendaussage für „hohe politische Anfälligkeit für Korruption“ kann durch einen asymmetrisch gewichteten γ -Operator (Gleichung 6) modelliert werden.

$$\mu_{\text{hoch}}^{\text{polit. Anfälligkeit}} = \left\{ 1 - (1 - \mu_1)^{\delta_1} \cdot (1 - \mu_2)^{\delta_2} \right\}^{\gamma} \cdot \left\{ \mu_1^{\delta_1} \cdot \mu_2^{\delta_2} \right\}^{(1-\gamma)} \quad \text{Gleichung 6}$$

mit, $\mu_1 = \mu_{\text{hoch}}^{\text{Korruption}}$; $\mu_2 = \mu_{\text{hoch}}^{\text{Korr. Trend}}$; $\gamma_1 = 0.4$; $\gamma_2 = 0.2$

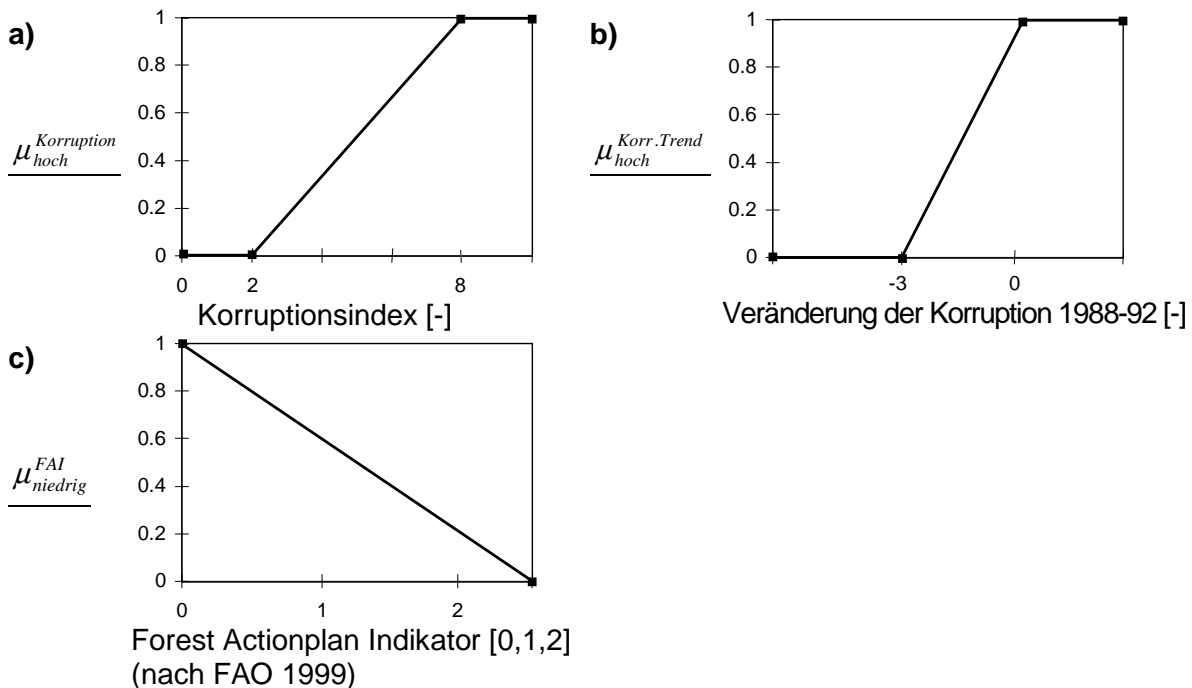


Abbildung 21: Fuzzyfizierung von Variablen im Rahmen der Bestimmung der *Übernutzung biologischer Ressourcen* im RAUBBAU-SYNDROM.

Das Maß für ein „hohes Politikversagen“ wird mit einem Lukasiewicz-UND Operator (Gleichung 7) mit dem fuzzyfizierten *Forest Actionplan*-Indikator zum Indikator für das *Politikversagen* im Hinblick auf den Schutz von Waldressourcen im Analysezeitraum 1990 bis 1995 verschnitten.

$$\mu_{\text{hoch}}^{\text{Politikversagen}} = \mu(\text{polit. Anfälligkeit} \wedge \text{FAI}) = \max\{0, \mu_{\text{hoch}}^{\text{polit. Anfälligkeit}} + \mu_{\text{niedrig}}^{\text{FAI}} - 1\} \quad \text{Gleichung 7}$$

Das Resultat ist in Abbildung 22 dargestellt. Vor allem in den Tropenländern, insbesondere in den klassischen Entwaldungsländern Brasilien, Indonesien, Malaysia oder der Demokratischen Republik Kongo, ist ein hohes *Politikversagen* zu erkennen. Dagegen ist im

Norden der Trend deutlich schwächer ausgeprägt. Ausnahmen bilden hier etwa Kanada oder Schweden, wo Lobbyismus ein Umsetzen von Waldschutzmaßnahmen lange Zeit verhindert hat, bzw. teilweise noch verhindert. Im Süden sind nur wenige Ausnahmen, wie etwa Südafrika und Thailand, von dem generell als hoch zu bezeichnenden *Politikversagen* zu erkennen.

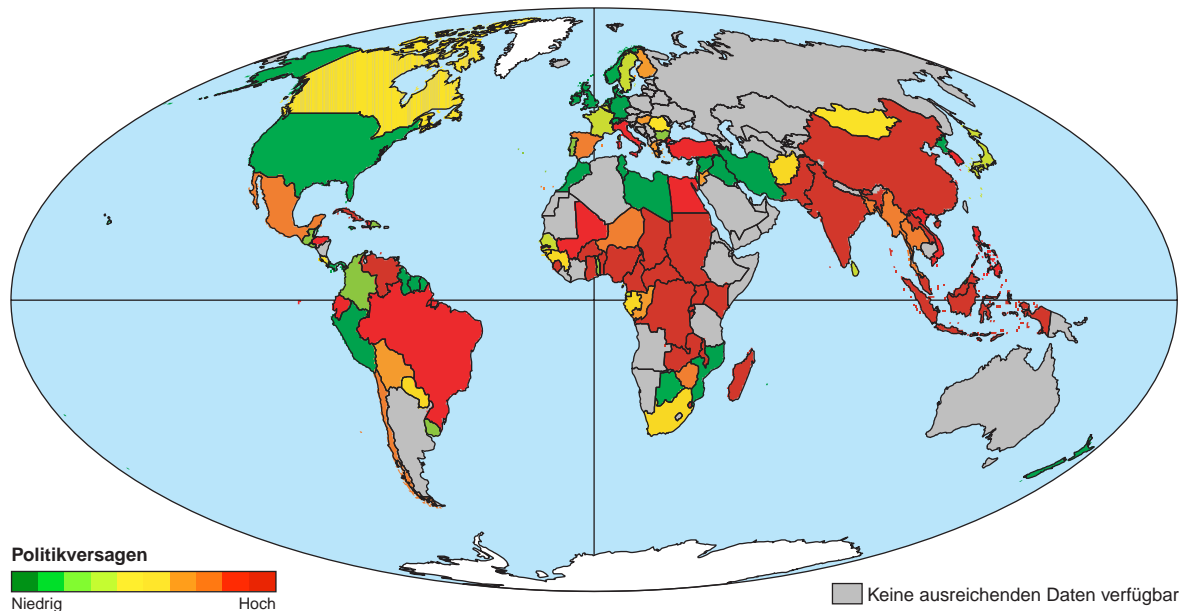


Abbildung 22: Indikator für *Politikversagen* im Hinblick auf den Schutz Waldressourcen.

Die kombinierte Intensität

Die beiden Teilindikatoren, „hohe Übernutzung“ und „hohes Politikversagen“, werden schließlich mit Hilfe einer fuzzy-logischen UND-Verknüpfung (Minimumsoperator, Gleichung 8) zu einem Gesamtindikator, „hohe Intensität“ des RAUBBAU-SYNDROMS kombiniert. Dieser so erzeugte „Intensitäts-Indikator“ (Abbildung 23), stellt somit neben dem „Typ-Indikator“ (Abbildung 18) die zweite Komponente der Intensitätsmessung dar.

$$\mu_{hoch}^{Intensität} = \mu(\text{Übernutzung} \wedge \text{Politikversagen}) = \min\{\mu_{hoch}^{Übernutzung}, \mu_{hoch}^{Politikversagen}\} \quad \text{Gleichung 8}$$

5.1.4.3 Diskussion des Intensitätsmusters

Abbildung 23 zeigt sehr hohe Intensitätswerte in Indien, China und Nigeria. Dies weist auf eine starke brennholznutzungsbedingte Komponente hin. Die *Nutzung biologischer Ressourcen* in den Sekundärwäldern dieser Ländern zeigt, dass in der Diskussion über globale Waldressourcen das Problem der Sekundärwälder nicht vernachlässigt werden darf. Neben diesen Regionen tritt das RAUBBAU-SYNDROM insbesondere in Indonesien, Brasilien, Finnland, Kanada, der Demokratischen Republik Kongo und in einigen weiteren Ländern auf. Für diese Regionen ist zu bedenken, dass die starke Bedeutung des Forstsektors im Allgemeinen und in Kombination mit Korruption (im Süden) im besonderen, ein Problem für den Erhalt der Waldökosysteme darstellt. Solange keine ausreichenden alternativen volkswirtschaftlichen Einkommensmöglichkeiten geschaffen werden, ist kaum eine Trendwende zu

erwarten. Diese Regionen (Amazonien, das Guyana-Schild, Indonesien sowie das Kongo-becken) sind Brennpunkte des Auftretens des RAUBBAU-SYNDROMS durch die Vernichtung der tropischen Primärwälder. Der tropische Primärwald stellt hier neben seiner Funktion als CO₂-Senke vor allem durch seine hohe biologische Diversität ein besonders schützenswertes Ökosystem dar. Die tropischen Regenwälder, die nur etwa 7 % der Landoberfläche ausmachen, beherbergen nach Schätzungen etwa die Hälfte aller bekannten Pflanzen- und Tierarten. Andere Waldtypen, wie Trockenwälder oder die Wälder der gemäßigten Zone, besitzen Habitatfunktionen für Pflanzen und Tiere von aktuell oder potentiell hohem ökonomischen Wert, die nicht nur für das Funktionieren dieser Ökosysteme unabdingbar sind (FAO 1997), sondern teilweise auch eine hohe kulturelle Bedeutung aufweisen, wie z. B. die Peote Pilze für die indigenen Völker Mexikos. Für Kanada wird eine mittlere Intensität angegeben. Relativ schwach ausgeprägt ist das Syndrom dagegen in den USA, weiten Teilen Europas und Nordafrikas. In den USA liegt zwar eine Übernutzung vor (Abbildung 20), allerdings wird das Politikversagen als niedrig eingestuft (Abbildung 22) was sich in einer niedrigen bis mittleren Intensität niederschlägt. Für Europa sorgt insbesondere die gut organisierte Forstwirtschaft für eine niedrige Intensität, d .h. ökologische Interessen obsiegen hier teilweise über ökonomische. Dagegen ist in den Regionen Afrikas, insbesondere in Westafrika südlich der Sahara, der Anteil des RAUBBAU-SYNDROMS an der Entwaldung als eher gering einzuschätzen. Eine literaturbasierte (FAO 1999, WRI 1997) Einschätzung der Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS in den auf Grund von Datenlücken nicht indizierbaren Regionen Sibiriens deutet darauf hin, dass das Syndrom mit seinen Folgen dort derzeit stark aktiv ist. In Sibirien werden die borealen Nadelwälder geringer Regenerationsfähigkeit mit Hilfe moderner Harvestertechnik durch Kahlschlag großflächig vernichtet.

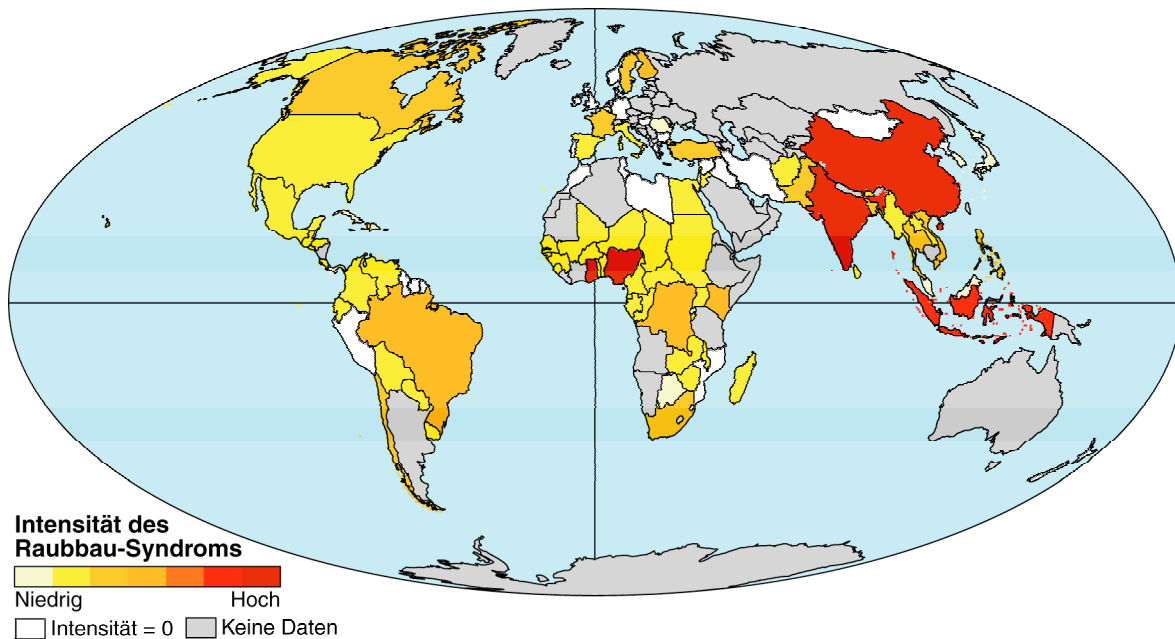


Abbildung 23: Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS. Für die Spezifikation des Syndromtyps vergleiche Abbildung 18.

5.2 Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte - Das SAHEL-SYNDROM

5.2.1 Allgemeine Charakterisierung des Syndroms

Als SAHEL-SYNDROM wird der Ursachen-Wirkungskomplex von Degradationserscheinungen, hervorgerufenen durch verarmte oder marginalisierte Landbevölkerung, bezeichnet, die bei Überschreitung der ökologischen Tragfähigkeit in Regionen (marginale Standorte) auftreten, wo die natürlichen Umweltbedingungen (Klima, Boden) nur begrenzte landwirtschaftliche Nutzungsaktivitäten zulassen (WBGU 1994, 1996; Cassel-Gintz et al. 1997; Schellnhuber et al. 1997; Petschel-Held et al. 1999).

5.2.2 Der Mechanismus des SAHEL-SYNDROMS

Das SAHEL-SYNDROM zeichnet sich durch sein frühes Auftreten in der menschlichen Entwicklungsgeschichte aus. Es tritt typischerweise in subsistenzwirtschaftlich geprägten Regionen auf. Ländliche Armutgruppen und von Ausgrenzung bedrohte Bevölkerungsschichten übernutzen die zur Verfügung stehenden Agrarflächen (z. B. durch *Überweidung*, *Ausweitung von Landwirtschaft* auf ökologisch empfindliche Gebiete, *Intensivierung der Bodenbearbeitungsmethoden*, etc.). Der Komplex von Umweltdegradationserscheinungen in marginalen Räumen, hervorgerufen durch das Überschreiten der ökologischen Tragfähigkeit in Folge von unangepassten Nutzungsweisen verarmter, oder marginalisierter Bevölkerungsgruppen, tritt vor allem verstärkt im durch Nomadismus geprägten Altweltlichen Trockengürtel auf (Scholz 1995; Krings 1993). Äußere Einflüsse, wie z. B. die Änderung des Wertesystems im Zuge der Europäischen Kolonialisierung, oder die Grenzziehungen in der Nachkolonialen Phase, führen zu einer Marginalisierung der ursprünglich gut an ihre äußeren Bedingungen angepassten Hirtenvölker, die zu standörtlich unangepassten Nutzungsweisen gezwungen wurden und damit letztlich auch zum „*Niedergang der sozio-ökologischen Kulturweise Nomadismus*“ (Scholz 1999). Dieser Ursache-Wirkungskomplex ist Teil der als SAHEL-SYNDROM bezeichneten Armut-Degradationsspirale. Das Ziel der ökonomisch und politisch marginalisierte Bevölkerungsgruppen, die oft in absoluter Armut leben oder besonders von ihr bedroht sind (z. B. Nomaden, Kleinbauern, Landlose, Frauen, ethnische Minoritäten) ist die Verbesserung oder wenigstens der Erhalt ihrer Lebensbedingungen (Johnson & Lewis 1995). Die Intention dieser Akteure mit einem verengten Handlungsspielraum, Optionen-Set oder Zeithorizont erzeugt unter den marginalen Bedingungen aber gerade das Gegenteil. Die im Rahmen dieses Teufelskreises auftretende Verschlechterung der Lage kann insgesamt als ein Komplex nicht-intendierter Folgen intentionalen Handelns aufgefasst werden. Auf der Mikroebene der Akteure (Individuen, Familien, Dörfer, etc.) wird im Kontext der Situation rational gehandelt, auf der Makroebene der sich addierenden und wechselseitig verstärkenden Trends sind Verschlechterungen der Rahmenbedingungen zukünftigen Handelns die Folge. Ohne ökonomische Alternativen oder produktives Land sind verarmte Landbewohner gezwungen, auf der Suche nach einer

Ernährungsgrundlage und Brennholz auf marginales Land auszuweichen oder in Städte abzuwandern (WRI 1992).

5.2.2.1 Der Syndromkern

Zentrales Element des Kerns des SAHEL-SYNDROM-Beziehungsgeflechts (Abbildung 24) ist die selbstverstärkende Verknüpfung von *Zunahme nationaler und internationaler Disparitäten*, *Bevölkerungswachstum*, *Verarmung*, *Intensivierung* bzw. *Ausweitung der Landwirtschaft* und zunehmender Bodendegradation (*Fertilitätsverlust*, *Erosion*). In der Literatur zum GW wird vor allem der Zusammenhang zwischen Armut (bzw. Verarmung), Bevölkerungswachstum, Übernutzung von natürlichen Ressourcen, Umweltdegradation und weiterer Verschlechterung der ökonomischen und sozialen Lage hervorgehoben (Durning 1992; Bächler 1994). Die Interaktion der Symptome führt zu einer wechselseitigen, sich selbstverstärkenden, negativen Beeinträchtigung von Umwelt- und Lebensbedingungen.

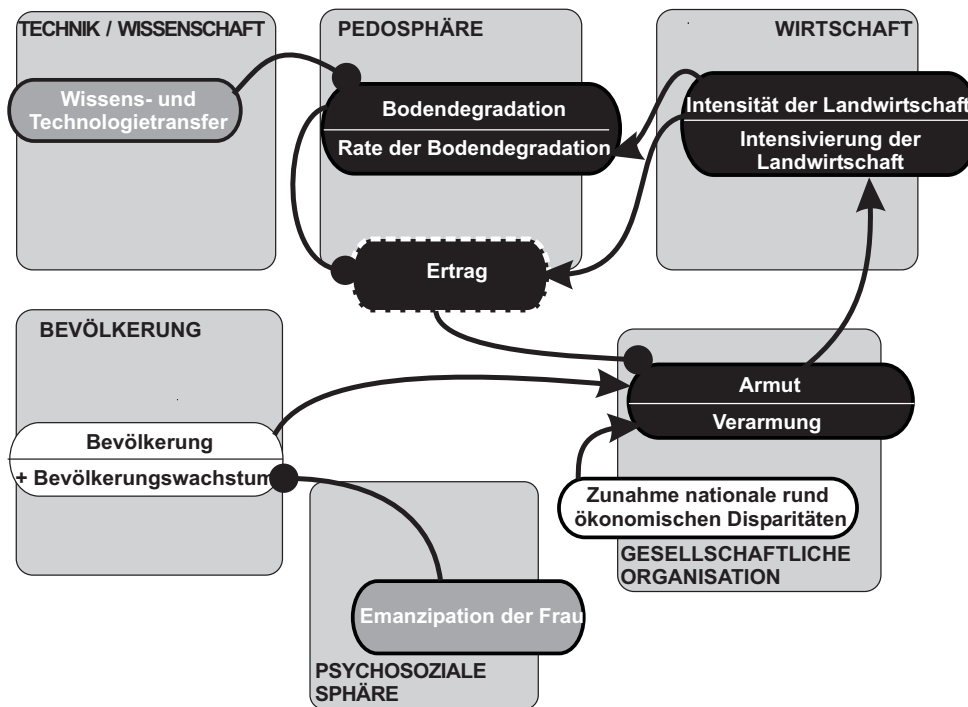


Abbildung 24: Kernmechanismus des SAHEL-SYNDROMS (Armut-Degradations-Spirale) mit wichtigen Antriebs- (weiß unterlegt) und Abschwächungskräften (grau unterlegt). Darstellungen des erweiterten syndromspezifischen Beziehungsgeflecht sind in WBGU (1996), Schellhuber et al. (1997) und Petschel-Held et al. (1999) gegeben.

Im Syndrommechanismus wird unter *Verarmung* sowohl der Zustand der Armut selbst, als auch der Prozess einer weiteren Verarmung verstanden. Die materiellen und immateriellen Entbehrungen, die von diesem gewöhnlich ausgehen, motiviert Menschen ihre Lebenslage zu verbessern, was in bestimmten Kontexten jedoch nicht-intendierte Folgen haben kann, die syndromverstärkend wirken und damit auch die Lage der Betroffenen langfristig verschlechtern. Der zunehmende Druck auf die natürlichen Ressourcen führt entweder zur Abwanderung aus armen bzw. verarmten Regionen, oder zur *Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion* bzw. zu Flächenausweitungen.

Historisch betrachtet war die Flächenausweitung die dominante Strategie der Ertragssteigerung, was sich aber unter dem Gesichtspunkt, dass bereits nahezu alle Gunststandorte landwirtschaftlich genutzt werden und eine Ausweitung fast nur noch auf marginale Regionen möglich ist (Cassel-Gintz et al. 1997), zukünftig ändern wird. Experten und internationale Organisationen, wie z. B. die FAO, gehen von einer weiteren *Intensivierung der landwirtschaftlichen Aktivitäten* und einer Erhöhung der Produktionsintensität (Arbeit, Kapital, „know-how“) aus, um die Erträge weiter zu erhöhen (Schug et al. 1996). Formen der *Intensivierung* im Rahmen traditioneller und wenig kapitalintensiver Landwirtschaft stellen die Verkürzung von Brachezeiten, also eine Beschleunigung des Produktionszyklus, oder die Erhöhung des Arbeitskräfteeinsatzes, entweder durch die Verlängerung des Arbeitstages oder durch die Erhöhung der Arbeitskräftezahl pro Fläche, dar. Auch bei wenig kapitalintensiver Landwirtschaft ist es möglich, mit relativ kleinen Schritten bei der Verstärkung des Dünger- bzw. des Technikeinsatzes, z. B. durch Übergang vom Grabstock zum Ochsenpflug, zu einer signifikanten relativen Intensivierung zu kommen. In der Viehwirtschaft stellt die Erhöhung der Besatzdichte eine gängige Form der Intensivierung dar. Ziel der Akteure die Erhöhung von landwirtschaftlichen Erträgen. Im Falle der *Ausweitung der Landwirtschaft* wird dieses Ziel durch die Vergrößerung der Anbaufläche angestrebt. Dabei wird bisher nicht landwirtschaftlich genutzte Fläche in den Produktionsvorgang einbezogen, um die schlechte oder sich weiter verschlechternde Versorgungslage zu verbessern. In ariden und semi-ariden Regionen wird dabei der Ackerbau auf Gebiete ausgedehnt, die für den Regenfeldbau ungünstig sind und oftmals traditionellerweise von nomadischen Viehzüchtern genutzt werden. Dadurch entstehen Nutzungskonflikte um knappe Ressourcen (Bächler 1994; Mohamed Salih 1992; Moorehead 1992). Die Ackerbau- und Dauerkulturflächen in den Sahel-Ländern Äthiopien, Burkina Faso, Mali, Mauretanien, Niger, Senegal, Sudan und Tschad haben zwischen 1973 und 1988 um insgesamt 9 925 ha oder 25 % zugenommen (Krings 1993), während die Waldflächen im gleiche Zeitraum abnahmen. In humiden und semi-humiden Regionen kommt es hauptsächlich zu Rodungen von Wäldern für Anbauzwecke. Auch in dieser Variante können Konflikte mit traditionellen Nutzergruppen der Wälder (Jäger, Sammlern, Wanderfeldbauern, etc.) die Folge sein. Die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf erosionsgefährdete Hanglagen ist in beiden klimatischen Varianten möglich und stellt z. B. in der Dominikanischen Republik (Hellstern 1993) und in Nepal (de Boer 1989) ein großes Problem dar.

Je nach naturräumlichen Gegebenheiten (Aufwand der Erweiterung angesichts von Lage, Flächenprofil etc.), nach sozioökonomischen (z. B. Besitzverhältnisse) oder politischen (z. B. Grenzen) Verhältnissen sowie nach Kapitalausstattung und Motivation der Akteure wird eher die Intensivierungs- oder eher die Ausweitungsoption gewählt, wobei auch Kombinationen auftreten. Die Anfälligkeit des landwirtschaftlichen Produktionssystems und der von ihm abhängigen Menschen für anthropogene Degradationen sowie für Naturkatastrophen nimmt damit zu. Hierbei kommt es oft zu einer Situation, die seit Hardin (1968) als „*Allmende-klemme*“ (*Tragedy of the Commons*) bekannt ist und als „übermäßige Nutzung gemeinsamen Eigentums zum privaten Vorteil“ (Leisinger & Schmitt 1992: 71) umschrieben werden kann. Weiden Herden als Familienbesitz und Haupteinkommensquelle auf gemeinschaftlich ge-

nutzten Gebieten, dann erscheint die Vergrößerung der Herden individuell sinnvoll. Da die Gesamtheit dieser sich nur am individuellen Horizont orientierenden Entscheidungen angesichts knapper Weideflächen, vor allem unter Verlust traditioneller Nutzungsbeschränkungen (Hartje 1993, Lenz 1994), aber zur Übernutzung und damit zur Bedrohung der Herden führt, steigern sie die Unsicherheit für alle. Um sich vor dieser selbstinduzierten Unsicherheit zu schützen, gehen die Familien zur weiteren Aufstockung ihrer Herden über und vergrößern damit weiter die kollektive Unsicherheit (Sinn 1988). Zwar könnten alle zusammen die Überweidung verhindern, aber im Rahmen seiner beschränkten Handlungs- und Kommunikationsmöglichkeiten verhält sich der individuelle Viehhirte „rational“. *Ausweitung / Intensivierung* führt zu *Erosion* und *Fertilitätsverlust*, und letztere wieder, auf Grund der Situation der Allmendeklemme, zu ersterem. Allerdings muss hier zwischen freien Gütern, ohne definierte Eigentumsrechte und mit völlig freiem Zugang, sowie verschiedenen Formen des Gemeineigentums unterschieden werden, für welche sehr wohl Zugangsbeschränkungen und Sanktionsmechanismen bei illegitimer oder Übernutzung existieren. Das für das SAHEL-SYNDROM typische Problem besteht in solchen Gebieten meist nicht darin, dass freies Land durch Private übernutzt wird, sondern dass die traditionellen Regulierungsmechanismen unter Druck geraten und zusammenbrechen. Die beiden Haupttriebkkräfte dabei sind die Modernisierung, die zu einem Prozess der Normerosion führt, sowie die Politik der Nationalstaaten, die den Gruppen vor Ort sukzessive die Kontrolle über ihre Ressourcen zu entziehen sucht, ohne funktionale Äquivalente für die traditionellen Formen der Nutzungsbeschränkung bereitstellen zu können (Kirk 1994). Dies geschieht z. B. durch die Unterstellung von Waldgebieten unter zentralstaatliche Kontrolle, die erzwungene Sesshaftmachung von Nomaden oder die Beschränkung ihrer traditionellen Nutzungsgebiete. In diesen Fällen ist die *Tragedy of the Commons*, ein Kernstück des SAHEL-SYNDROM Teufelskreises, ein *Produkt* staatlicher Politik. In Anlehnung an eine neuere Publikation Hardins (1994) kann man hier von der Tragödie falsch oder nicht gemanagter „*Commons*“ sprechen.

Die *Zunahme nationaler Disparitäten*, also die wachsende Diskrepanz zwischen der sozioökonomischen und politischen Lage verschiedener Bevölkerungsgruppen, spielt als ein weiteres Kernsymptom eine wichtige Rolle. Während *Armut / Verarmung* auf eine absolute Dimension menschlichen Lebens und Handelns zielt, wird hier die relative Lage von Menschen zueinander verstanden. Das wachsende Machtgefälle, dass über die Zugänglichkeit von Ressourcen entscheidet, übt einen zusätzlichen Druck auf arme bzw. ärmere Gruppierungen aus. Wirtschaftliche oder politische Macht entscheidet im Allgemeinen auch über leichteren Zugang zu besseren Umweltkompartimenten und -funktionen. Sauberes Wasser, gute Böden, intakte Umwelten etc. stehen in aller Regel eher den Bessergestellten als den Schlechtergestellten zur Verfügung. Im Falle einer Ressourcenverknappung, z. B. bei zunehmenden Bevölkerungsdruck, oder Wachsenden Ansprüchen, setzt ein Verdrängungswettbewerb ein, den die machtloseren Gruppierungen tendenziell verlieren. Sie werden auf schlechtere Flächen abgedrängt, müssen mit schlechterem oder weniger Wasser vorlieb nehmen, müssen mit höheren Umweltbelastungen leben etc. Daher führt eine *Zunahme nationaler ökonomischer und politischer Disparitäten* auch unabhängig vom Übernutzungsdruck der *Armut* zu einer *Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche* bzw. zu einer *Erhöhung*

der Intensität landwirtschaftlicher Produktion. Innerhalb des Syndromkerns (Abbildung 24) wird die Disparitätenzunahme durch den Trend der Verarmung angetrieben: Je mehr zusätzliche Arme es gibt, desto größer wird meist die „Schere“ zwischen arm und reich, desto disparater auch die soziopolitische Struktur eines Landes. Durch die Berücksichtigung beider Trends kann man einer Forderung der entwicklungspolitischen Armutsforschung nachkommen, die auf die Bedeutung der relativen Position armer Schichten im Macht- und Tauschgefüge einer Gesellschaft abstellt (Sen 1981).

Die Zunahme der Kinderzahl stellt eine weitere Handlungsoption armer bzw. verarmender Bevölkerungsgruppen dar, die zu einem verstärkten *Bevölkerungswachstum* führt. Mehr Kinder zu haben bedeutet in diesen Fällen zum einen mehr aktuelle Arbeitskraft für den Anbau, Brennholzsammeln oder Wasserbeschaffung, zum anderen eine Absicherung gegen die Risiken von Krankheit und Alter. Eine größere Familie erweist sich als anpassungs- und überlebensfähiger als eine kleine oder gar als ein einzelnes Individuum (Dasgupta 1995). In der Gesamtsicht erhöht allerdings das Wachstum der Bevölkerung den Nutzungsdruck auf natürlichen Ressourcen. Das *Bevölkerungswachstum* kann nicht als exogene Größe in den relevanten Veränderungsprozessen betrachtet werden. Medizinische und hygienische Fortschritte haben dieses Wachstum in den letzten Jahrzehnten deutlich ansteigen lassen. Die Geburtenraten haben sich, folgt man dem Theorem des demographischen Übergangs, dem Rückgang der Mortalitätsraten aus verschiedenen Gründen noch nicht angepasst. Insbesondere die untergeordnete soziale Stellung der Frauen und ihr mangelndes Mitspracherecht bei der Familienplanung verzögert diesen Übergang. Dem entsprechend wirkt weltweit feststellbare verstärkte *Emanzipation der Frau* (Randzio-Plath & Mangold-Wegner 1995) abschwächend auf das *Bevölkerungswachstum*.

Die *Intensivierung* und *Ausweitung der Landwirtschaft* führen, ohne hinreichende Vorsorgemaßnahme, wie z. B. Erosionsschutz, Einhaltung von Brachezeiten oder angepasste Fruchtfolge, zu einer *verstärkten Erosion* der Böden. Angesichts der Lage und der Kapitalausstattung der syndrom-typischen Akteure können diese Vorsorgemaßnahmen meist nicht oder nur kaum ergriffen werden. Die Verkürzung von Brachezeiten etwa reduziert die Regeneration der Böden und erhöht die Rate des Bodenabtrags durch Wind- oder Wassererosion. Dadurch kommt es wiederum zu einer mehr oder weniger schnell eintretenden Verschlechterung der landwirtschaftlichen Erträge. Die anthropogene *Zunahme der Erosionsrate* bedingt eine weitere *Verarmung* bzw. die Fortdauer von Armut. Damit hat sich der syndromtypische Teufelskreis geschlossen und der Übernutzungsdruck nimmt weiter zu.

Als syndromabschwächende Elemente wirken die *Emanzipation der Frau* und die Einführung bodenschonender Bewirtschaftungsformen durch *Wissens- und Technologietransfer*. Die *Emanzipation der Frau* beschreibt Veränderungen der Geschlechterverhältnisse, die zu einer verbesserten wirtschaftlichen, sozialen und politischen Stellung der Frau führen. Neben einer generellen Entlastung von Reproduktionsaufgaben, nach Schätzungen zufolge sind Frauen in Afrika für 75 % der Nahrungsversorgung zuständig (Awumbila & Momsen 1995), führt die damit einhergehende höhere Entscheidungsbefugnis über die Kinderzahl zu einer Verringerung des Bevölkerungswachstums. Die Einführung bodenschonender Bewirtschaftungsformen umfasst neben agrartechnischen Aspekten, wie Agroforstwirtschaft, Legumino-

senanbau oder Erosionsschutzmaßnahmen, auch ökonomische, wie verbesserte Kredit-chancen für Kleinbauern, sowie politische Maßnahmen, wie eine verbesserte Bildungspolitik für Bauern. Der *Wissens- und Technologietransfer* schwächt bodenzerstörenden Wirkungen landwirtschaftlicher Produktionsveränderungen ab. Hier sind bereits erste positive Erfahrungen gesammelt worden (Leisinger & Schmitt 1992), die oft an traditionelle Bewirtschaftungsformen anschließen können (IFAD 1992).

5.2.3 Bedeutung des Syndroms für die globale Entwaldungsproblematik

Die Waldkonversion an marginalen Standorten mit nachfolgender Subsistenznutzung stellt den überwiegenden Beitrag des Syndroms zur Entwaldung dar. So ist z. B. die in Afrika vorherrschende Transformation geschlossener Waldflächen über Zwischenstadien der Nutzung zu Gebüsch und Brache vor allem der Ausweitung von Subsistenzlandwirtschaft unter ländlichem Armuts- und Bevölkerungsdruck geschuldet (FAO 1997). Dieser in geringerer Stärke auch in Asien und Lateinamerika auftretende Mechanismus kann als Ausdruck des SAHEL-SYNDROMS identifiziert werden (WBGU 1996, 1988; Schellnhuber et al. 1997; Petschel-Held et al. 1999).

In humiden und semi-humiden Regionen stellt vor allem die Konversion von Wäldern in Folge von Rotationsfeldbau mit Brandrodung durch Kleinbauern oder armen Neusiedlern die dominante Entwaldungsform dar. Nach Expertenschätzung ist sie für 20 - 60% der weltweiten Regenwaldzerstörung verantwortlich (Furley 1994; Herkendell & Pretzsch 1995). Die Erschließung neuer landwirtschaftlicher Nutzfläche führt direkt über die Flächenkonversion, sowie indirekt über die Degradierung der verbleibenden Wälder in der Kontaktzone, zur Entwaldung und Waldschädigung. Diese *Ökosystemkonversionen* hat über die *Veränderung des Oberflächenabflusses* Auswirkungen auf die Hydrologie und über eine Zunahme der Niederschläge mit folgender *Verstärkung von Bodenerosion* auf die Pedosphäre. Beim Verbrennen und Verrotten des ungenutzten Holzes werden über die *Verstärkung biosphärischer Quellen* große Mengen an CO₂ frei, wodurch über einen *verstärkten Treibhauseffekt* zur *regionalen und globalen Klimaveränderung* beigetragen wird, was zu einer negativen Beeinflussung der lokalen Ernteerträge und einer weiteren *Süßwasserverknappung* führen kann. Die *Konversion von natürlichen Ökosystemen* bedeutet einen meist deutlichen Verlust an Biodiversität in Form von *Gen- und Artenverlusten*, die in den betroffenen tropischen Feuchtwäldern als besonders hoch eingeschätzt wird (Smith et al. 1995; Manshard & Mäckel 1995).

Im Falle des brasilianischen Amazonasgebiets lässt sich deutlich der syndromverschärfende Einfluss der einer unangepassten nationalen Politik erkennen. In den 60er Jahren wurde das Gebiet als Wachstumsregion, als neue „*frontera*“ der nationalen Expansion, gesehen und seine Inwertsetzung geplant. Straßen wurden gebaut, Konzessionen für Minen- und Forstwirtschaft erteilt, Staudämme gebaut und die Besiedlung durch staatliche Programme aktiv gefördert. Die *Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche* ist hier auch eine direkte Folge staatlicher Planungsaktivitäten gewesen. Dabei waren es zum einen die „offiziell“ angesiedelten Kleinbauern, die, unter verschärftem ökonomischem Druck, meist über den Pfad der Intensivierung ihre Ressourcengrundlage übernutzt haben, zum anderen die „inoffiziell“ zu-

gewanderten, ehemals Landlosen, die die Nischen der Siedlungspolitik nutzen und meist entlang von neuen Straßen Wanderfeldbau betreiben. Die Zuwanderungsbilanz in diesem Zeitraum war für das Amazonasgebiet positiv (Smith et al. 1995). Rund 60 % aller ländlichen Kleinbewirtschafter sind ohne eigenes Land (Furley 1994). Für das gesamte Amazonasgebiet rechnet Fearnside (1993) ca. 30 % der Entwaldung kleinbäuerlichen Bewirtschaftungsformen zu. Auch in den Waldgebieten Borneos (Ostkalimantan) lässt sich der Syndrommechanismus aus Verarmung, Migration und Übernutzung feststellen. Auch hier wurden im Rahmen des Transmigrasi-Programms landlose und arme Kleinbauern, entlang der von der indonesischen Regierung geförderten Erschließungsinfrastruktur, angesiedelt (Potter et al. 1995). Die Dynamik des Kernmechanismus nimmt hier, bedingt durch die andere naturräumliche Situation, eine etwas andere Gestalt an. Das Niederbrennen und Kultivieren von Regenwald wirft in den ersten Jahren hohe Erträge ab. Bedingt durch die besonderen Bodeneigenschaften gehen die Erträge aber nach wenigen Jahren deutlich zurück (Douglas 1994). Ohne entsprechende bodenschonende Maßnahmen, wie z. B. Düngung, Mischbepflanzung oder Agroforstwirtschaft, sind die Akteure zur *Ausweitung* auf neue Flächen gezwungen, um ihre Erträge zu erhalten. Dieser Prozess wiederholt sich dann auch am neuen Standort und verengt den Zeithorizont und die Handlungsalternativen weiter. Der nach wenigen Jahren unangepasster Bewirtschaftung eintretende Fertilitätsverlust der Böden führt über Ertragseinbußen zu einer weiteren Verarmung, was ein Weiterziehen und neue Rodungen nach sich zieht (Schröder & Heuveldop 1995). In manchen Fällen folgt das Syndrom dabei dem RAUBBAU-SYNDROM (Kap. 5.1) und bereitet das DUST-BOWL-SYNDROM vor, das seinerseits wieder das SAHEL-SYNDROM verstärken kann (Neugebauer 1995).

Der zweite dominante Beitrag des Syndroms zur Entwaldungsproblematik in ariden bzw. semi-ariden Klima- und Vegetationszonen ist die durch *Armut* und *Bevölkerungswachstum* getriebene *Übernutzung der Vegetation* in Form von Brennholzeinschlag. Die Mehrzahl der Bevölkerung in diesen Regionen verfügt nicht über ausreichende Mittel, um den eigenen Energiebedarf, z. B. zum Kochen, durch den Kauf von Gas, Öl oder sonstigen importierte Energieträgern zu decken. Die lokal verfügbaren Busch- und Baumbestände werden infolgedessen übernutzt, was wiederum das Erosionsrisiko erhöht. Brennholz stellt für viele ländliche und städtische Haushalte mittlerweile eine knappe Ressource und einen beachtlichen Kostenfaktor dar.

5.2.4 Disposition des SAHEL-SYNDROMS

Der Dispositionsraum wird durch die generellen natur- und sozialräumlichen Bedingungen unter denen die Interaktionen zwischen den Symptomen des Syndromkerns überhaupt auftreten können, beschrieben:

1. **Die naturräumliche Dimension der Disposition:** Die *Intensivierung* oder *Ausweitung der Landwirtschaft* führt, neben anfänglichen Ertragsteigerungen, mittel- bis langfristig zu Naturdegradationserscheinungen (*Bodenerosion / Fertilitätsverlust*), was letztlich in landwirtschaftlichem Produktivitätsrückgang und Ertragseinbußen resultiert. Hierbei ist die Intensivierung bei geringem Kapitalinput und die Ausweitung auf wenig produktive

Flächen zu betrachten. Damit die für das Syndromgeschehen notwendige Wirkung dieser Landnutzungsänderungen unter den genannten Bedingungen wahrscheinlich ist, muss es sich um eine naturräumlich marginale Region handeln.

2. **Die sozioökonomische Dimension der Disposition:** Der Produktivitäts- und Ernterückgang führt zur *Verarmung* der Bauern, die zur weiteren *Intensivierung* und *Ausweitung* ihrer landwirtschaftlichen Aktivitäten gezwungen sind, da ihnen keine Alternativen zur Existenzsicherung zur Verfügung stehen.

5.2.4.1 Die Dispositionsfaktoren

Jede menschliche Aktivität, die Auswirkungen auf das natürliche Umgebungssystem haben soll, muss Teil dieses Systems. Sucht man nach landwirtschaftlich marginalen Standorten, dann ist es als erste Hypothese naheliegend, auf solche naturräumlichen Faktoren zu achten, die das Wachstum von nutzbaren Pflanzen, zum einen als direkte Nahrungs- oder Ressourcenquelle, aber auch zu Futterzwecken für Tiere, bestimmen bzw. begrenzen. Hierbei spielen vor allem die Klima- und Bodeneigenschaften als limitierende Faktoren eine entscheidende Rolle. Es besteht allerdings die generelle Möglichkeit, naturräumlich marginale Produktionsstandorte durch einen höheren Input an Arbeit, Kapital oder sonstigen Ressourcen zu verbessern. Limitierende Naturfaktoren können, in Grenzen und oft unter weiteren Nebenfolgen, kompensiert werden. Ein Beispiel ist die Kompensation einer Temperaturbegrenzung durch Gewächshäuser und Energiezufuhr. Je nach limitierendem Faktor können so Strategien der Kompensation gewählt werden, um eine natürliche Marginalität auszugleichen, wie z. B. Fertilitätsdefizite durch Düngung, Hangneigung durch Terrassierung, Aridität durch künstliche Bewässerung etc. In den für das SAHEL-SYNDROM typischen, wenig kapitalintensiven Bewirtschaftungsmethoden, soll nur eine Form der Kompensation natürlicher limitierender Faktoren berücksichtigt werden: Die Reduzierung der Ariditätsbegrenzung bei sehr leichtem Zugang zu Oberflächenwasser. Ohne diese Möglichkeit wäre das Entstehen der frühen agrarisch basierten Hochkulturen in den eher trockenen Regionen Mesopotamiens und am Nil nicht möglich gewesen.

Ausgegangen wird in einem quantitativen Teil der Bestimmung der naturräumlichen Dispositionsfaktoren von einer, mit Hilfe eines Neuronalen Netzes aus klimatischen Basisindikatoren berechneten Abschätzung der Nettoprimärproduktion (NPP) der natürlichen Vegetation (Lüdeke et al. 1999; Moldenhauer & Lüdeke 2001). Die hierfür verwendeten klimatischen Basisindikatoren (Temperatur, Einstrahlung, Niederschlag) stellen eine 30 jährige Mittelung von 1931 bis 1960 dar. Diese Klimatologie (CLIMATE 2.1, W. Cramer, pers. Mitteilung³⁵) ist auch Grundlage eines Modells zur Berechnung des jährlichen globalen Gleichgewichtsoberflächenabfluss bei mittlerem Klima, MEGARUS (Lüdeke et al. 1999), dass zusammen mit einem globalen Höhenmodell eine Abschätzung der Wasserversorgung und der Bewässerungspotentials eines Standorts liefert. Diese beiden modellbasierten Basisindikatoren liefern eine Abschätzung für „*nicht-ausreichende* klimatischen Verhältnisse“ für das Pflanzen-

³⁵ CLIMATE 2.1, verbesserte Version der CLIMATE Datenbank von Leemans & Cramer (1991).

wachstum, die eine Unterscheidung einer Ariditäts- und Temperaturlimitierung erlaubt. In solcherart charakterisierten Regionen ist nicht zu erwarten, dass gute landwirtschaftliche Erträge ohne großen Aufwand zu erreichen sind. Solche Regionen sind damit Kandidaten für landwirtschaftlich marginale Standorte (Cassel-Gintz et al. 1997).

Im qualitativen, Fuzzy-Logik basierten Teil der Dispositionsbestimmung werden weitere Indikatoren für die naturräumliche Dimension der Disposition des Syndroms zugefügt. Neben „*nicht-ausreichenden* klimatischen Verhältnissen“ gibt es weitere das Pflanzenwachstum bestimmende Elemente. Die tropischen Regenwaldgebiete weisen zwar die höchsten NPP-Werte weltweit auf, sind allerdings langfristig gesehen für landwirtschaftliche Nutzung eher ungeeignet. Hier sind meist die Böden der limitierende Faktor. Die hohe natürliche Biomasseproduktion wird durch schnelles Rezyklieren der Nährstoffe ermöglicht. Die Abholzung der ursprünglichen Vegetation mit nachfolgender Bepflanzung mit Kulturpflanzen trifft auf relativ nährstoffarme und schnell auslaugbare Böden. Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sind hier deutlich aufwendiger als etwa in Schwarzerdegebieten mit hoher Bodenmächtigkeit. Zur Darstellung dieses Sachverhalts wird mit Hilfe der FAO Bodenkarte (FAO 1994) und einer Abschätzung der Fertilität verschiedener Bodentypen (Leemans & van den Born 1994) die „*schlechten* Böden“ bestimmt. Einer dieser beiden Faktoren, d. h. der klimatische oder der Fertilitätsfaktor, reicht aus, um „*ungünstige* Wachstumsbedingungen“ zu bestimmen. Ein „*hohes* Erosionsrisiko“, zu dessen Indizierung die Hangneigung genutzt wird, stellt einen weiteren wichtigen Aspekt der naturräumlichen Limitierung landwirtschaftlicher Nutzung dar. Das Erosionsrisiko kann die sonstigen günstigen Wachstumsbedingungen nicht komplett negieren, aber beeinträchtigen. Diese Basisindikatoren bestimmen eine „*hohe* naturräumliche Disposition“ für das SAHEL-SYNDROM. Eine ausführliche Beschreibung der Elemente der naturräumlichen Dimension der Disposition und ihrer Verknüpfung miteinander ist in Cassel-Gintz et al. (1997) und Lüdeke et al. (1999) gegeben.

Die sozialräumliche Dimension des Dispositionsraums misst die Wahrscheinlichkeit, dass verarmende Bauern gezwungen sind, auf geringem Kapitalniveau den Anbau oder die Viehhaltung zu intensivieren oder die genutzte Fläche auszudehnen, um ihre Existenz zu sichern. Um die spezifischen sozialräumlichen Bedingungen hierfür zu ermitteln, werden zentralen Aspekte herausgegriffen. Bezeichnend für die sozioökonomischen Bedingungen unter denen das Syndrom aktiv werden kann, ist zum Einen eine naturnahe und zugleich kapitalarme Wirtschaftsweise, die als Subsistenzwirtschaft³⁶ bezeichnet wird. Für die Beschaffung der zum Überleben notwendigen Dinge sind die Menschen zum allergrößten Teil auf die Nutzung der unmittelbaren Naturressourcen angewiesen. Der Anbau von Lebensmitteln zum primär persönlichen Verbrauch sowie das Sammeln pflanzlicher und tierischer Rohprodukte, ohne wesentliche Überschüsse zur Steigerung des Lebensstandards und zu Investitionszwecken gewinnen zu können, sind typische Kennzeichen dieser Form der Subsistenzwirtschaft. Zum anderen ist das Fehlen ökonomischer Alternativen zur Landwirtschaft unter den genannten schlechten Bedingungen eine wichtige Bedingung. Da

³⁶ Der hier genutzte Subsistenzbegriff beschreibt keine reine Subsistenz. Er schließt einen geringen Anteil von monetärem Wirtschaften ein. Subsistenz im strikten Sinne des Wortes ist global fast nicht mehr feststellbar.

Angaben über Subsistenzwirtschaft in den verschiedenen internationalen Statistiken (FAO, WRI, UN) zum größten Teil nicht enthalten sind, muss eine geeigneter Indikator zur Bestimmung der Subsistenzwirtschaft gefunden werden. Ausgehend von einer Nahrungsmittelbilanzrechnung wird mit Hilfe von verschiedenen Statistiken (WRI 1997; FAOSTAT 1997) das Marktdefizit des Nahrungsmittelangebots berechnet. Sollten nun für den Fall einer hohen Differenz zwischen lokalem Kalorienbedarf und Nahrungsmittelangebot keine Hungersnöte auftreten, muss der fehlende Nahrungsmittelanteil anders, also subsistent, gedeckt werden. Ein hohes Marktdefizit für das Nahrungsmittelangebot stellt einen Indikator für einen „*hohen* Anteil von Subsistenzlandwirtschaft“ dar. Über den Anteil der Beschäftigten in der Landwirtschaft kann nun das „*Fehlen* von Alternativen“ im ökonomischen Bereich abgeleitet werden. Treten diese beiden Faktoren gleichzeitig auf, so ist das ein Hinweis auf eine „*hohe* sozioökonomische Disposition“ für das SAHEL-SYNDROM (QUESTIONS 1998).

Ist nun in einer Region sowohl eine „*hohe* naturräumliche Disposition“ sowie eine „*hohe* sozioökonomische Disposition“ gegeben, liegt eine „*hohe* Disposition“ für das SAHEL-SYNDROM vor.

5.2.4.2 Verschneidung und Fuzzyifizierung der Dispositionsfaktoren

Zunächst wurden die Ausgangsvariablen Netto-Primär-Produktion (NPP), Bodenfruchtbarkeit und Geländesteigung, in Bezug auf ihren Beitrag zur landwirtschaftlichen Marginalität bezogen, d. h. fuzzyifiziert (Cassel-Gintz et al. 1997). Die NPP stellt die generelle Begrenzung der landwirtschaftlichen Aktivität wegen geringer natürlicher pflanzlicher Produktion dar. Sie wird aus einer mit Hilfe eines neuronalen Netzes erzeugten NPP (Moldenhauer & Lüdeke 2001) gewonnen (Abbildung 25a). Diese modellbasierte potentielle pflanzliche Produktion kann nun als Indikator für die klimatische Begrenzung möglicher landwirtschaftlicher Tätigkeit dienen, wobei die Parameter der Fuzzyifizierung auf einer Expertenabschätzung (Cassel-Gintz et al. 1997) beruhen.

Zusammen mit „*schlechten* Böden“ (*B*; Böden geringer Fruchtbarkeit; Abbildung 25b) wird der Indikator für die „*schlechten* klimatischen Bedingungen“ (*N*; niedrige NPP) nach dem Prinzip des begrenzenden Faktors durch ein nicht-kompensatorisches fuzzy-ODER (\vee ; Maximumsoperator) zu „*ungünstigen* Wachstumsbedingungen“, *W*, verknüpft (Gleichung 9).

$$\mu_{\text{schlecht}}^{\text{Wachstum}} = \mu(N \vee B) = \max\{\mu_{\text{niedrig}}^{\text{NPP}}, \mu_{\text{schlecht}}^{\text{Böden}}\} \quad \text{Gleichung 9}$$

Bei weiterer Verknüpfung der „*ungünstigen* Wachstumsbedingungen“ mit einem „*hohen* Erosionsrisiko“, *E* (Abbildung 25c), kann ein Kompensationseffekt, wie bei den Hängen des ostafrikanischen Bergregenwalds auftreten, die wegen ihrer großen Fruchtbarkeit und guten klimatischen Bedingungen relativ unproblematisch landwirtschaftlich genutzt werden können. Dieser Zusammenhang wird durch folgende asymmetrisch-kompensatorische ODER-Verknüpfung ($\tilde{\vee}$, gewichteter γ -Operator für $\gamma = 1$, $\delta_1 = 0.85$, $\delta_2 = 0.4$; Gleichung 10) erfasst:

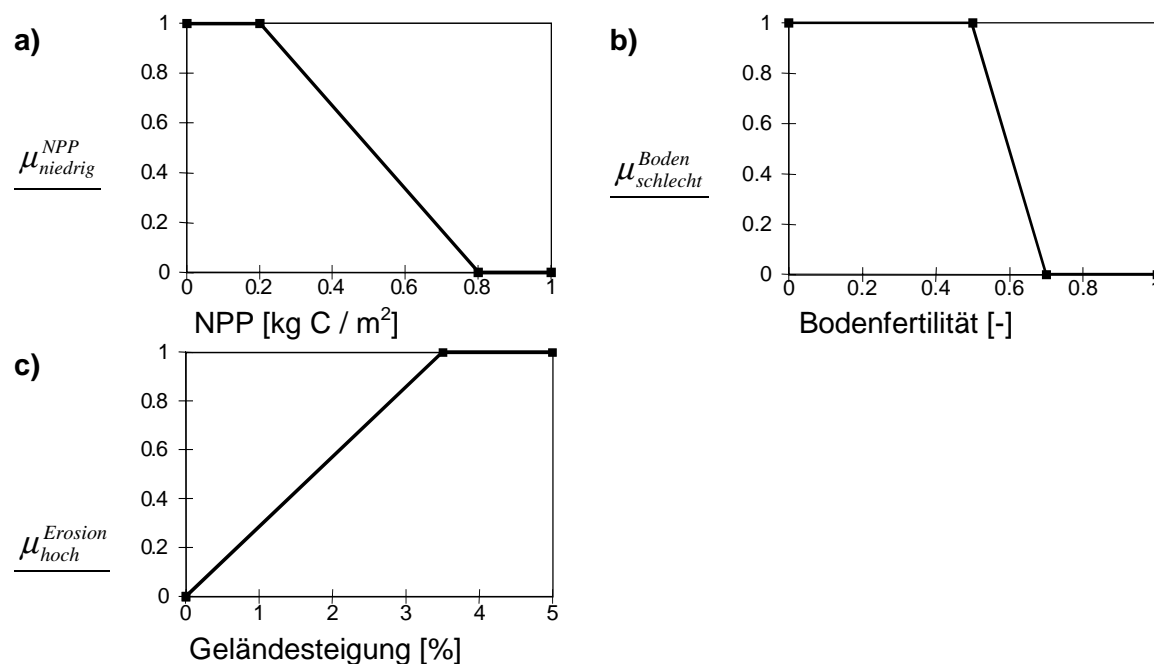


Abbildung 25: Fuzzifizierung der Ausgangsvariablen der naturräumlichen Dimension der SAHEL-SYNDROM Disposition.

$$Variable1 \tilde{\vee} Variable2 = \left\{ 1 - \left(1 - \mu^{Variable1} \right)^{\delta 1} \cdot \left(1 - \mu^{Variable2} \right)^{\delta 2} \right\}^{\gamma} \cdot \left\{ \left(\mu^{Variable1} \right)^{\delta 1} \cdot \left(\mu^{Variable2} \right)^{\delta 2} \right\}^{1-\gamma} \quad \text{Gleichung 10}$$

wobei: $\mu^{Variable1} = \mu_{schlecht}^{Wachstum} = \max\{\mu_{niedrig}^{NPP}, \mu_{niedrig}^{Fertilität}\}$ und $\mu^{Variable2} = \mu_{hoch}^{Erosion}$

$\delta 1$ und $\delta 2$ wurden hier so gewählt, dass für kleine und mittlere Erosionsrisiken nur eine geringe zusätzliche Marginalisierung erfolgt, während ein sehr hohes Erosionsrisiko (starke Hangneigung) auch durch ansonsten sehr günstige Bedingungen nicht mehr kompensiert werden kann. Als Endresultat erhält man Wahrheitswerte für die Zugehörigkeit zu Standorten „hoher naturräumlicher Marginalität“ (Gleichung 11).

$$\mu_{hoch}^{nat.Mrg.} = \mu(W \tilde{\vee} E) = \max\{\mu_{niedrig}^{NPP}, \mu_{schlecht}^{Boden}\} \tilde{\vee} \mu_{hoch}^{Erosion} \quad \text{Gleichung 11}$$

Werte nahe 1 bedeuten, dass es an diesen Orten eines sehr großen Aufwands bedarf, um nachhaltig gute landwirtschaftliche Erträge zu erzielen. Solche Standorte entsprechen dem naturräumlichen Marginalitätskriterium. Im oberen Teil von Abbildung 27 ist noch einmal zusammenfassend die Argumentationskette des vorgestellten Algorithmus graphisch dargestellt. Die Bewertung eines „hohen Anteil Subsistenzlandwirtschaft“ erfolgt auf Basis einer Nahrungsmittelbilanzrechnung. Die in den Produktionsstatistiken ausgewiesene Agrarproduktion (P) eines Landes setzt sich hauptsächlich aus den kommerziell gehandelten Gütermengen zusammen. Dabei handelt es sich um Güter, die für den Weiterverkauf und Konsum im Inland oder für den Export (E) bestimmt sind. Unter Berücksichtigung von zusätzlichen Importen (I) und einer unter Umständen vorhandenen Lagerhaltung (C) lässt sich dann die im Land zur Verfügung stehende Lebensmittelmenge (L) bilanzieren:

$$L = P - E + I \pm C \quad \text{Gleichung 12}$$

Unter der Annahme, dass sich die Lagerhaltung im Jahresmittel nicht wesentlich verändert, ist C vernachlässigbar. Die Messung von Produktion und Handelsströmen erfolgt nicht in

monetären Größen, sondern als Menge (Tonnen) von Getreideäquivalenten. In Kalorien umgerechnet ergibt L das zur Verfügung stehende Kalorienangebot eines Landes. Die Konkurrenzgröße dazu ist die „untere Kaloriengrenze“ von durchschnittlich $K = 2000$ kcal pro Kopf (ISÖ 1994), die den notwendigen Mindestbedarf für das Überleben eines Menschen kennzeichnet. Multipliziert mit der Zahl der Bewohner N ergibt sich der Nahrungsbedarf eines Landes. Die Größe X ist dann die Differenz aus L und $N \cdot K$:

$$X = L - N \cdot K \quad \text{Gleichung 13}$$

Wenn die gesamte im Inland verbleibende Nahrungsmenge von den dort lebenden Menschen aufgebraucht würde, wäre $X = 0$. Ein Teil von L wird allerdings nicht diesem Zweck zugeführt. Die verfügbare Nahrungsmittelmenge (FAOSTAT 1997) wird in der Realität auch noch typischerweise durch die Verwendung für Saatgut, Futtermittel oder Treibstoffproduktion, sowie Verschwendung (Abfall) und Verluste bei der Nahrungsmittelzubereitung verringert, was die über den Markt zur Verfügung gestellte Kalorienmenge schmälert. Sollte X für ein Land negativ werden und erkennbar keine Hungersnot auftreten, so kann gefolgert werden, dass sich ein Teil der Bevölkerung durch den privaten, nicht marktorientierten Anbau subsistent versorgt haben muss (Abbildung 26a). Damit wäre X ein quantitatives Maß für die Wahrscheinlichkeit eines vergleichsweise „hohen Anteils Subsistenzlandwirtschaft“. Je größer die negative Differenz, desto größer der Anteil an Subsistenzwirtschaft.

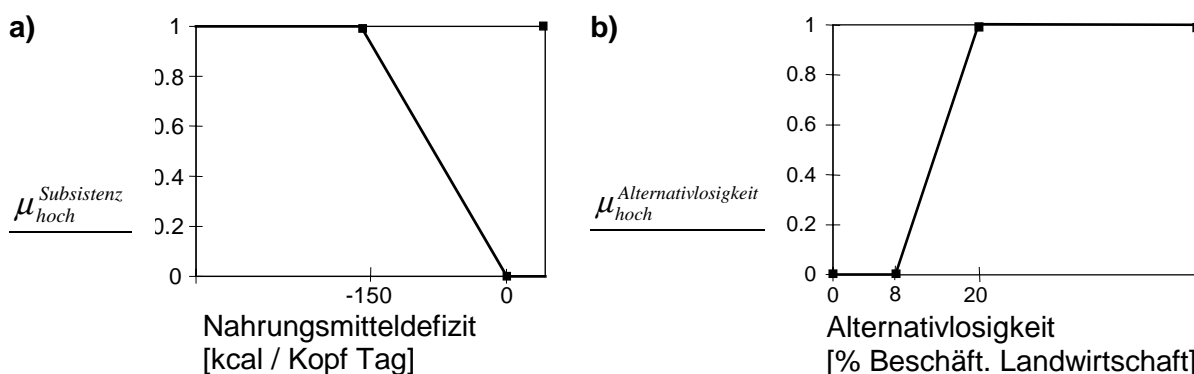


Abbildung 26: Fuzzyfizierung der Ausgangsvariablen für die sozioökonomische Dimension der SAHEL-SYNDROM Disposition.

Die Alternativlosigkeit zur Landwirtschaft wird über den Anteil der Beschäftigten in der Landwirtschaft bestimmt. Der Zugehörigkeitswert $\mu_{hoch}^{Alternativlosigkeit}$ zur „hohen Alternativlosigkeit“, A , wird mit Hilfe der Rampe in Abbildung 26b erzeugt. Je höher der Anteil der beschäftigten in der Landwirtschaft, desto niedriger ist die Möglichkeit der Beschäftigung in alternativen Sektoren zu bewerten. Eine „hohe sozioökonomische Marginalität“ ist gegeben wenn sowohl ein „hoher Anteil von Subsistenzlandwirtschaft“, S , als auch das Fehlen von Alternativen, gegeben ist, was durch eine fuzzy-UND Verknüpfung (\wedge , Minimumsoperator; Gleichung 14) charakterisiert wird.

$$\mu_{hoch}^{soz.Mrg.} = \mu(S \wedge A) = \min\{\mu_{hoch}^{Subsistenz}, \mu_{hoch}^{Alternativlosigkeit}\} \quad \text{Gleichung 14}$$

5.2.4.3 Bestimmung der Gesamtdisposition

Die bisherige Argumentation zur Dispositionsbestimmung ist in Abbildung 27 noch einmal in Form eines logischen Bewertungsbaums zusammengefasst. Die bisher bestimmten Zugehörigkeitswerte einzelner Orte zur Menge der „*hohen* naturräumlichen Disposition“, $\mu_{hoch}^{nat.Mrg.}$, bzw. „*hohen* sozioökonomischen Disposition“, $\mu_{hoch}^{soz.Mrg.}$, sollen zur Identifikation der Gesamtdisposition kombiniert werden. Aus der Konstruktion der beiden Komponenten geht hervor, dass sowohl die naturräumliche Fragilität gegenüber der *Intensivierung* und *Ausweitung der Landwirtschaft*, als auch die Alternativlosigkeit der (möglicherweise) *verarmenden Landbevölkerung* zur Ausweitung ihrer landwirtschaftlichen Aktivitäten notwendig für die SAHEL-SYNDROM-Disponiertheit einer Region sind. Damit muss für die Gesamtdisposition eine Form der UND-Verknüpfung verwendet werden. Die spezielle Wahl wird dadurch bestimmt, dass ein schwacher Kompensationseinfluss berücksichtigt werden soll. Bei mittlerer sozialräumlicher Marginalität und gleichzeitig sehr starker naturräumlicher Marginalität soll die Gesamtmarginalität etwas größer sein als im Falle ebenfalls nur mittlerer naturräumlicher Marginalität. Dies ist am besten durch den γ -Operator (\checkmark) (siehe Appendix I) in symmetrischer Form ($\delta 1 = 1, \delta 2 = 1$) nahe am booleschen-UND ($\gamma = 0.2$) zu beschreiben,:

$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{Disposition} &= \mu(nat.Mrg. \hat{\wedge} soz.Mrg.) \\ &= \left\{ 1 - (1 - \mu(nat.Mrg.))^1 \cdot (1 - \mu(soz.Mrg.))^1 \right\}^{0.2} \cdot \left\{ \mu(nat.Mrg.)^1 \cdot \mu(soz.Mrg.)^1 \right\}^{0.8} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 15}$$

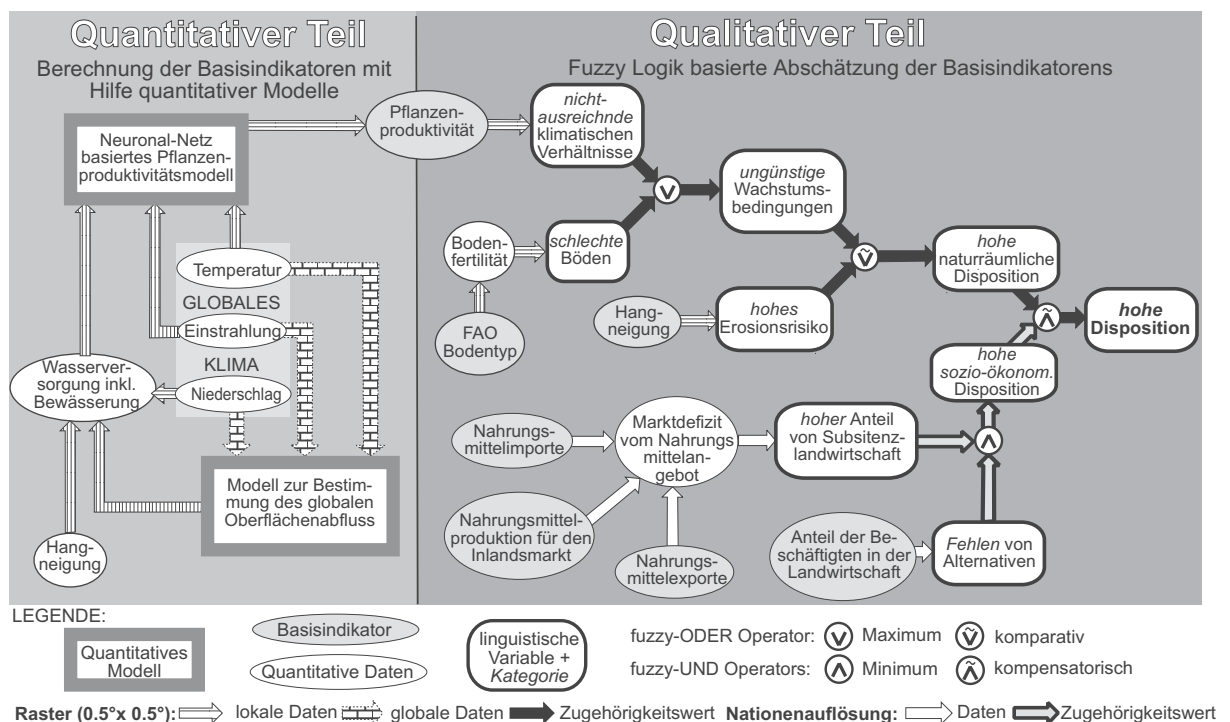


Abbildung 27: Aus quantitativen Modelldaten und qualitativen Variablen erzeugter Bewertungsbaum der SAHEL-SYNDROM Disposition (Cassel-Gintz et al. 1997; Lüdeke et al. 1999).

Die Karte in Abbildung 28 zeigt die gegenüber dem SAHEL-SYNDROMS disponierten Gebiete. In Kombination mit der geographischen Intensitätsverteilung, welche schon „befallenen“ Regionen identifiziert und in der Stärke ihres „Befalls“ abschätzt, ist es möglich, Regionen zu

identifizieren, in denen der Ausbruch des Syndroms droht, aber durch geeignete Maßnahmen unter Umständen zu verhindern ist.

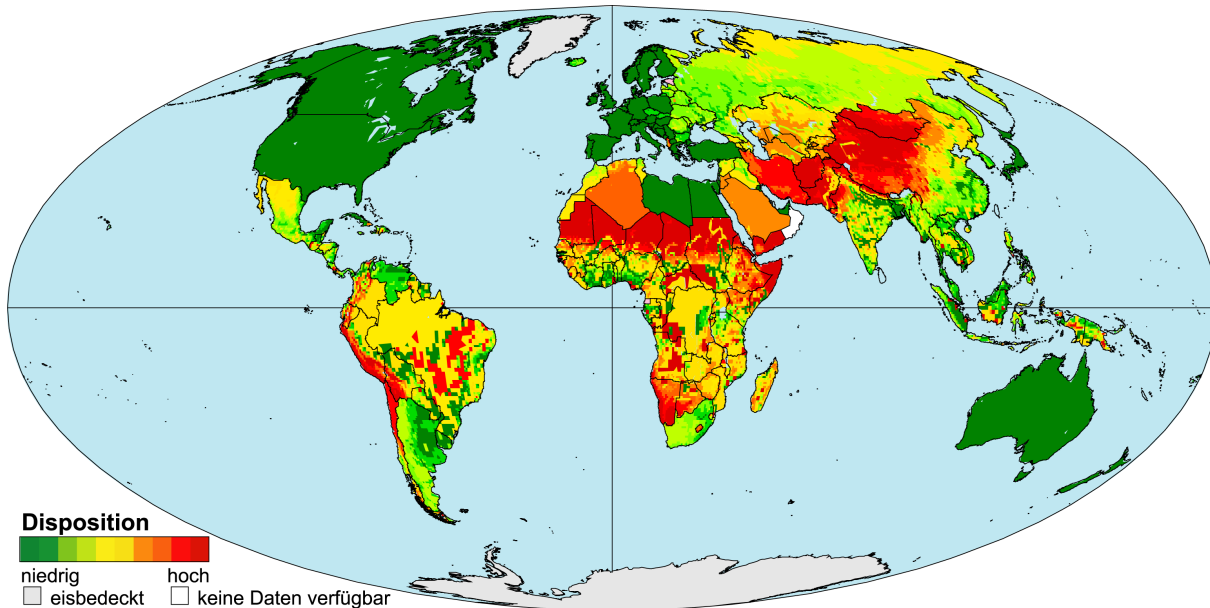


Abbildung 28: Disposition gegenüber dem SAHEL-SYNDROM.

5.2.4.4 Interpretation der räumlichen Verteilung des Dispositionsraum

Afrika verfügt über einen relativ hohen Anteil von Ländern mit einer relativ hohen Disposition für das SAHEL-SYNDROM. Neben den Ländern der namensgebenden Sahel-Region, ist eine starke Disposition auch in den Ländern Südwest-Afrikas (Botswana, Namibia und der südliche Teil von Angola), den Maghrebländern (Marokko, Algerien und Tunesien), dem Horn von Afrika, Zentralafrika (im Grenzgebiet Angolas, der Demokratischen Republik Kongo, dem Kongo) sowie in Teilen Madagaskars gegeben.

Die wesentlichen disponierten Regionen Asiens umfassen den Altweltlichen Trockengürtel (die ariden und semi-ariden Regionen der Arabischen Halbinsel, Irak, Iran, Afghanistan, Pakistan bis hin zu den chinesischen Gobi- und Mongolei). Die Tatsache, dass hier die zentralasiatischen GUS-Staaten, Turkmenistan, Kasachstan, Tadschikistan, Usbekistan und Kirgistan, als nicht disponiert erscheinen, ist auf die inkonsistente Datenlage zurückzuführen. Die sozioökonomischen Daten sind noch für die Sowjetunion erhoben und gemittelt, was das Bild verzerrt. In Indien erscheinen neben dem hoch disponierten Rajasthan vor allem Teile von Andhra Pradesh und Madhya Pradesh als disponiert. Die indizierten Gebiete in Südostasien und den südostasiatischen Inselstaaten können auf eine unzureichende Bodenfruchtbarkeit und eine hohe Steigungsmarginalität zurückgeführt werden.

Neben dem hoch disponierten Kordillerenstreifen erscheinen hauptsächlich die trockenen Gebiete Nordost-Brasilien und die für Brandrodungswanderfeldbau genutzten Regionen Amazoniens als hoch anfällig.

Mit Ausnahme von kleineren Teilen des Balkans erscheint Europa, Nordamerika sowie Australien, auf Grund der meist vorhandenen naturräumlichen Gunstlage aber vor allem auf Grund der ökonomischen Alternativen, als nicht-disponiert für das SAHEL-SYNDROM.

5.2.5 Intensität des SAHEL-SYNDROM

Durch den Vergleich der geographischen Verteilung disponierter Regionen mit solchen einer hohen SAHEL-SYNDROM Intensität werden folgende Analyseoptionen eröffnet:

- Die Identifikation disponierter Regionen, in denen das Syndrom noch nicht ausgebrochen ist (wichtig für ein globales Management).
- Die Identifikation von Inkonsistenzen, falls das Syndrom in nicht dafür disponierten Region anzutreffen sein sollte.

Eine weitere Möglichkeit zur Identifikation von Inkonsistenzen stellt der direkte Vergleich des berechneten Intensitätsmaßes mit Expertenwissen und Fallstudien über die im Detail beobachtete Präsenz des syndromtypischen Ursache-Wirkungsmusters dar.

Die Existenz der Symptome des Syndromkerns (Abbildung 24) mit ihren syndromspezifischen Wechselwirkungen in einer Region wäre eine hinreichende und notwendige Bedingung für das Auftreten des Syndroms. Der Nachweis von Wechselwirkungen gestaltet sich aber weitaus schwieriger als der von Trends. Bei letzteren ist man mit prinzipiell lösbaren Problemen wie dem Abgleich unterschiedlicher Datenerfassungsmethoden, mangelnder räumlicher und zeitlicher Auflösung oder Lückenhaftigkeit der Datenbasis konfrontiert. Der Nachweis von Wirkungsbeziehungen dagegen kann meist nur indirekt geführt werden. Der schwächste Hinweis auf einen Wirkungszusammenhang ist das gemeinsame Auftreten von Symptomen. Ein schwerwiegenderes Indiz ist gefunden, wenn es gelingt, aus der Form der Verknüpfung der Symptome Aussagen über die dynamischen Eigenschaften des Syndromkerns abzuleiten, deren Auftreten dann anhand der vorhandenen Daten überprüft werden kann. Allerdings ist es meist möglich, alternative Wechselwirkungsnetzwerke anzugeben, die ähnliche dynamische Eigenschaften aufweisen. Daher stellt dieses Verfahren zur Syndromidentifikation keine hinreichende, sondern nur eine notwendige Bedingung dar (Petschel-Held et. al 1999). Es erlaubt jedoch die weitere Annäherung an die Verortung des Syndroms.

Eine explizite mathematische Formalisierung der Beziehungsgeflechtdynamik liegt derzeit noch nicht vor, man kann jedoch unter der Annahme, dass eine solche auf der physikalischen Prozess-Vorstellung (der Systemzustand ändert sich in der Zeit und diese Änderung hängt vom jeweiligen Systemzustand ab) beruhen dürfte, zur Herleitung qualitativer dynamischer Eigenschaften „modellhaft“ auf ein Differentialgleichungssystem zurückgreifen. Als erste Annäherung an eine Intensitätsmessung wird ein vereinfachter Syndromkern ohne externe Triebkräfte angenommen. Um eine Vorstellung von den qualitativen dynamischen Eigenschaften dieses Systems zu erhalten, wird ein Differentialgleichungssystem entwickelt, dass die im Syndromkern beschriebenen gegenseitigen Verstärkungen mathematisch formalisiert. Bezeichnet man den Bodenabtrag seit einem Referenzzeitpunkt t_0 mit $B(t)$, die

absolute Zahl der auf dem Lande lebenden Menschen, deren Einkommen unter einer definierten Armutsgrenze („poverty line“) liegt, mit $A(t)$ und mit $N(t)$ ein Maß für die Bewirtschaftungsintensität der derzeit landwirtschaftlich genutzten Fläche, dann bedeutet dB/dt die derzeitige *Erosionsrate*, dA/dt die *Verarmung der ländlichen Bevölkerung* und dN/dt die *Ausweitung / Intensivierung der Landwirtschaft*. Es lassen sich nun für das SAHEL-SYNDROM folgende Zusammenhänge konstatieren:

- (existentielle) Armut bedingt eine Flächenausdehnung / Intensivierung
- die landwirtschaftliche Nutzung einer Fläche bedingt eine Erosionsrate
- die Armut ist, über den Ertrag, eine Funktion des Bodenzustands und der landwirtschaftlichen Aktivität

$$\frac{dN}{dt} = f_1(A); \quad \frac{dB}{dt} = f_2(N); \quad A = f_3(N, B) \quad \text{Gleichung 16}$$

$$\text{mit: } \frac{\partial f_1}{\partial A} > 0; \quad \frac{\partial f_2}{\partial N} > 0; \quad \frac{\partial f_3}{\partial B} > 0; \quad \frac{\partial f_3}{\partial N} < 0$$

Aus Gründen der Vereinfachung und der unzureichenden Datenverfügbarkeit wird f_i als linear angenommen. Durch Ersetzen von A in Gleichung 16 kann das System vereinfacht werden:

$$\frac{dN}{dt} = f_1(f_3(N, B)) = g(N, B) = g_1N + g_2B + g_3; \quad \frac{dB}{dt} = c_1N + c_2 \quad \text{Gleichung 17}$$

Wobei $g_1 < 0$, $g_2 > 0$, $c_1 > 0$ und c_2, g_3 nicht weitergehend determiniert sind (Petschel-Held et. al 1999). Durch einfache Integration folgt:

$$N(t) = K_0 e^{\alpha_+ t} + K_1 e^{\alpha_- t} - \frac{c_2}{c_1} \quad t \gg 0 \quad \approx K_0 e^{\alpha_+ t} \quad \text{Gleichung 18}$$

$$B(t) = \frac{K_0 c_1}{\alpha_+} e^{\alpha_+ t} + \frac{K_1 c_1}{\alpha_-} e^{\alpha_- t} + K_2 \quad t \gg 0 \quad \approx \frac{K_0 c_1}{\alpha_+} e^{\alpha_+ t}$$

wobei K_i bestimmt ist durch die Ausgangsbedingungen und

$$\alpha_{\pm} = \left(g_1 \pm \sqrt{g_1^2 + 4g_2c_1} \right) / 2.$$

Da aber weder die Ausgangsbedingungen noch die Parameter g_i und c_i bekannt sind, kann eine direkte Überprüfung der Validität des Systems durch einen Vergleich mit gemessenen Daten nicht erfolgen. Andererseits ergibt sich für $t \gg 0$:

$$\frac{dN/dt}{N} = \frac{dB/dt}{B} = \frac{dA/dt}{A} = \text{konstant} = \alpha_+ \quad \text{Gleichung 19}$$

Dies bedeutet, dass aus der Spezifikation des vorgeschlagenen Mechanismus in Gleichung 16 und seiner linearen Realisierung folgt, dass die relativen temporären Änderungen a) gleich und b) konstant über die Zeit sind. Für die Überprüfung von Bedingung a) werden Daten für (B, N, A) zu mindestens 2 verschiedenen Zeitpunkten (t_1, t_2) benötigt um die zeitliche Ableitung numerisch zu bestimmen. Für Bedingung b) wären mindestens 3 Zeitpunkte notwendig, was die derzeitige globale Datenlage überschreitet.

Unter der Bedingung einer kompletten Aktivität der Syndromdynamik, d. h

- die Syndromdynamik war hinreichend lange aktiv, so dass der Einfluss der Anfangsbedingungen nicht mehr wesentlich ist („für große Zeiten t^* “),
- die Syndromdynamik war noch nicht solange aktiv, dass die Existenzbedingungen der Syndromentwicklung nicht mehr vorliegen,

sollte die Konstanz und Gleichheit der logarithmischen Ableitungen erfüllt sein. Unter den oben genannten einschränkenden Bedingungen stellt die Linearisierung der monoton steigenden Funktionen eine ausreichende Näherung dar. Diese soweit hergeleitete systemare Eigenschaft des SAHEL-SYNDROM-Teufelskreises wird zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Syndromintensität verwendet (Petschel-Held et. al 1999).

5.2.5.1 Messung der Symptome des Teufelskreises

Verarmung

Das Ausmaß der Übernutzung der natürlichen Ressourcen von der absoluten Anzahl der Menschen abhängt, die aus Überlebensgründen auf die Ausdehnung bzw. die Intensivierung ihrer landwirtschaftlichen Tätigkeiten angewiesen sind, stellt im Syndromzusammenhang die absolute Anzahl der Armen in ländlichen Regionen ein geeignetes Armutsmaß dar. Zur Messung der Anzahl der Armen wird eine Armutsgrenze definiert, unterhalb derer die überlebensnotwendige Versorgung mit Nahrungsmitteln und sonstigen Gütern wie Kleidung und Unterkunft nicht gewährleistet ist. Die Anzahl der Menschen, deren Einkommen unterhalb dieser Armutsgrenze liegt („*Headcount Index*“), wird durch meist landesweite Erhebungen abgeschätzt, wobei Natural- und Geldeinkommen berücksichtigt werden. Wünschenswert wären nun weltweite, auf Verwaltungseinheiten unterhalb der Staatenebene bezogene Zeitreihen dieses ländlich Armutsmaßes. Aus vielerlei Gründen (großer Aufwand bei der Erhebung, nur geringes Interesse an der Veröffentlichung dieses Sozialindikators, etc.) ist die derzeitige Datenlage jedoch sehr schlecht. Es liegt eine Sammlung von länderweiten Daten über die ländliche Armut in den 80er Jahren und im Jahr 1992 seitens der UNDP (1994) vor, die jedoch in Bezug auf die Armutsentwicklung teilweise Inkonsistenzen aufweist. Eine weitere länderweite Datensammlung zur ländlichen Armut liegt seitens der ILO (1994) für etwa dieselben Zeitpunkte vor, wobei hier bei der Auswahl der Studien besonders auf Konsistenz bezüglich der Trendabschätzung in den einzelnen Ländern Wert gelegt wurde. Beide Datensammlungen beziehen Industrieländer nicht ein und sind auch für die Entwicklungsländer lückenhaft. Diese Datenlücken sind nicht mit Abschätzungen unter Verwendung von derzeit zugänglichen flächendeckend erhobenen Indikatoren zu füllen. Umfangreiche Versuche zur Reproduktion der erhobenen Armutsdaten mit Hilfe mehrdimensionaler Regressionen (verwendet wurden: BIP / Kopf [PPP \$], durchschnittliche Lebenserwartung, Kindersterblichkeit, Analphabetenrate, Einschulungsrate, etc.) ergaben neben großen Fehlern in der Schätzung (r bestenfalls 0.6, teilweise auch kontraintuitive Koeffizienten vorzeichen wie „*Analphabeten verringern die Armut*“), auch stark veränderte Rankings. Der wesentliche Grund für die Unmöglichkeit, Armutsdaten aus obigen Indikatoren abzuschätzen, liegt sicherlich darin, dass die existentielle Armut mindestens genauso von Verteilungsaspekten

wie von der durchschnittlichen Situation der Gesellschaft abhängt, erstere aber aus vielerlei Gründen meist nicht quantifiziert zur Verfügung stehen.

Auf Basis der zugänglichen, auf Erhebungen beruhenden Armutsdaten wurde die durchschnittliche jährliche relative Änderung der ländlichen Armut $(dA/dt) / A$ für den Zeitraum von 1985 bis 1992 wie folgt angenähert:

$$\frac{dA/dt}{A} = \frac{n_a(1992) - n_a(1985)}{3.5 \cdot (n_a(1992) + n_a(1985))} \quad \text{Gleichung 20}$$

wobei: $n_a(t)$ = Anzahl der Landbevölkerung unterhalb der Armutsgrenze im Jahr t .

Bodendegradation

Eine globale Erhebung von Bodendegradationsarten, -Ausdehnungen, -Intensitäten und Raten durch ISRIC (International Soil Reference and Information Center; Oldemann 1990³⁷) stellt die Grundlage dieser Abschätzung dar. Die räumliche Auflösung wird durch die Flächen gleichen Bodentyps auf Basis der FAO-Bodenkarte (FAO 1994) bestimmt. Die Datensammlung bezieht sich auf die späten 80er Jahre und passt damit zum Zeitraum der Armutserhebungen. Zur Charakterisierung des Zustands der Bodendegradation wird auf die Variable „*Severity*“, die für jede Fläche die Ausdehnung und den Grad der Degradationserscheinungen zusammenfasst, zurückgegriffen. Für die augenblickliche Rate der Bodendegradation steht eine Expertenschätzung zur Verfügung (Petschel-Held et al. 1999). Da bei der Schätzung der Rate der Bezug zur Zustandsschätzung nicht fixiert war, ist die relative Bodendegradationsrate $(dB/dt)/B$ aus dem ISRIC-Datensatz nur bis auf einen Faktor f zu entnehmen:

$$\frac{dB/dt}{B} = \frac{f \cdot \text{Rate}}{\text{Severity}} \quad \text{Gleichung 21}$$

Zur Bestimmung von f wurden quantitative Schätzungen herangezogen, wie sie etwa Pimentel et al. (1995) für die USA angibt. Hiernach nahm die durchschnittliche Dicke des fruchtbaren Oberbodens von 23 cm zum Ende des 18. Jahrhunderts auf heute etwa 15 cm ab. Die derzeitige durchschnittliche Erosionsrate liegt bei etwa 15 mm pro Jahr, was eine durchschnittliche relative Rate von etwa 2 % / a bedeutet. f wurde nun so gewählt, dass die entsprechende durchschnittliche Rate mit den ISRIC-Daten reproduziert wurde.

Ausdehnung / Intensivierung der Landwirtschaft

Ausdehnung und *Intensivierung der Landwirtschaft* werden auf Grund ihrer funktional identischen Rolle im Syndromteufelskreis zu einem Maß zusammengefasst. Neben der Ausdehnung der ackerbaulich genutzten Fläche stellt die Erhöhung des Viehbestandes eine typische Landnutzungsänderung bei relativ geringer Kapitalintensität dar. Als Datenbasis zur Bestimmung dieses Symptoms wird auf länderweite Zeitreihen des Kamel- (n_K [cap.]), Rinder- (n_R [cap.]), Schaf- (n_S [cap.]) und Ziegenbestandes (n_Z [cap.]) sowie des ackerbaulich

³⁷ Siehe auch die Karte zum GW Kernproblem Bodendegradation in Kap. 2.

genutzten Landes („*arable land*“, a [ha]) des WRI (1994) zurückgegriffen. Zunächst wird ein Nutzungsmaß N auf Basis dieser Größen definiert:

$$N(t) = n_K(t) + 0.5 \cdot n_R(t) + 0.1 \cdot n_S(t) + 0.1 \cdot n_Z(t) + 3.0 \frac{\text{cap.}}{\text{ha}} \cdot a \quad \text{Gleichung 22}$$

Die Gewichtung der Viehbestände untereinander beruht auf Angaben von Lamprey (1983) und ist am typischen Lebendgewicht der Tiere als Näherung ihres Futterbedarfs und Nutzens (Milch-, Fleischproduktion) orientiert. Die ackerbaulich genutzte Fläche wurde auf der Basis des Ernteertrages mit den Viehbeständen vergleichbar gemacht. Hierzu wurde auf Lampreys Daten zur minimalen Herdengröße für die subsistente Ernährung einer Familie sowie auf typische Hektarhirseerträge (Franke 1992) im Vergleich zum Kalorienbedarf eines Menschen zurückgegriffen³⁸. Die mittlere relative Ausweitung / Intensivierung für den Zeitraum von 1985 bis 1992 wurde danach wie folgt bestimmt.

$$\frac{dN/dt}{N} = \frac{N(1992) - N(1985)}{3.5 \cdot (N(1992) + N(1985))} \quad \text{Gleichung 23}$$

5.2.5.2 Bestimmung der Präsenz des Syndromteufelskreises

Nach der Bestimmung der relativen Änderungen der am vereinfachten Syndromteufelskreis beteiligten Symptome, muss zur Auswertung ein Maß für die Erfülltheit der notwendigen Bedingungen definiert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Symptome vorhanden sein müssen, d. h. alle relativen Änderungen größer 0 sind. Für diesen Fall wurde die Summe der absoluten Differenzen zwischen den relativen Änderungen als Maß für die Teufelskreispräsenz, T_{sahel} , des SAHEL-SYNDROMS bestimmt:

$$T_{\text{sahel}} = \left(c - \left[\left| \frac{dN/dt}{N} - \frac{dB/dt}{B} \right| + \left| \frac{dN/dt}{N} - \frac{dA/dt}{A} \right| + \left| \frac{dA/dt}{A} - \frac{dB/dt}{B} \right| \right] \right) / c \quad \text{Gleichung 24}$$

Mit dieser Definition ist für $T_{\text{sahel}} = 1$ die Präsenz des Teufelskreises am wahrscheinlichsten. T_{sahel} wird auf die linguistische Variable $\mu_{\text{hoch}}^{\text{Präsenz}}$ für die Zugehörigkeit zu einer „*hohen* Präsenz des Teufelskreises“, abgebildet (Abbildung 29a). Für $T_{\text{sahel}} \rightarrow 0$ nimmt $\mu_{\text{hoch}}^{\text{Präsenz}}$ immer weiter ab. Der systemare Indikator T_{sahel} misst allerdings nicht die Stärke der Symptome, sondern nur die Wahrscheinlichkeit, dass die angenommenen *Wechselwirkungen* vorliegen. Damit ist in einer Region, in der alle drei Trends stark, aber mit sehr unterschiedlichen relativen Raten auftreten, weniger mit dem SAHEL-SYNDROM zu rechnen als in einer Region, in der die Symptome schwach, aber mit genau gleichen relativen Raten ausgeprägt sind. Im ersten Fall kann es dann als sehr wahrscheinlich angesehen werden, dass die Trends durch Beziehungen angetrieben werden, die nichts mit dem SAHEL-SYNDROM-Mechanismus zu tun haben.

5.2.5.3 Bestimmung des Intensitätsmaß

Um nun zu einem Indikator für die Intensität des SAHEL-SYNDROMS zu gelangen, muss neben dem Indikator für die Präsenz des grundlegenden Mechanismus noch ein Maß für die Stärke

³⁸ In Realität dominieren natürlich gemischte Ernährungsweisen.

des Auftretens des Mechanismus berücksichtigt werden. Als ein geeigneter Indikator für die Stärke des Mechanismus wird die maximale relative Änderungsrate aus den drei Teilen des Präsenzindikators (Gleichung 25) genutzt.

$$S_{Sahel} = \max \left\{ \frac{dN/dt}{N}, \frac{dB/dt}{B}, \frac{dA/dt}{A} \right\} \quad \text{Gleichung 25}$$

Überschreitet die maximale relative Änderungsrate, S_{Sahel} , die durchschnittliche Rate des Bevölkerungswachstums von etwa 3 %, wird die „Stärke“ des Teufelskreises als „hoch“ angesetzt (Abbildung 29b).

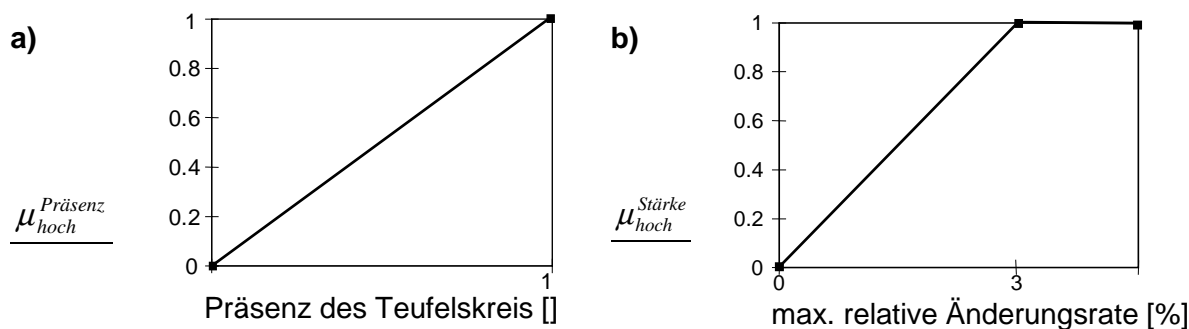


Abbildung 29: Fuzzifizierung der Elemente der SAHEL-SYNDROM Intensität.

Um eine Intensität für das Syndrom angeben zu können, müssen nun beide Bedingungen, eine „hohe Präsenz des Teufelskreises“ und eine „hohe Rate der Verschlechterung“ einer der Variablen, vorliegen, was formal durch eine fuzzy-UND Verknüpfung (Minimum; Gleichung 26) erreicht wird.

$$\mu_{hoch}^{Sahel} = \mu (Präsenz \wedge Stärke) = \min \{ \mu_{hoch}^{Präsenz}, \mu_{hoch}^{Stärke} \} \quad \text{Gleichung 26}$$

Der Zugehörigkeitswert μ_{hoch}^{Sahel} stellt einen komplexen Indikator dar, welcher Regionen ausweist, in denen es auf Grund des SAHEL-SYNDROM-Teufelskreises zu einer Verstärkung entweder der Verarmung, Bodendegradation oder Intensivierung der landwirtschaftlichen Aktivität im Zeitraum zwischen 1985 und 1992 gekommen ist (Abbildung 30). Die räumliche Auflösung der Ausgangsdaten ist bei der *Intensivierung* und *Ausweitung der Landwirtschaft* sowie bei der *Verarmung* der Landbevölkerung länderweit, während die relative *Bodendegradationsrate* in feinerer Auflösung vorliegt. Damit wird für die nur länderweit bekannten relativen Änderungen Homogenität über die gesamte Landesfläche angenommen. Ausführliche Darstellungen der einzelnen Zwischenschritte der Intensitätsmessung sind in QUESTIONS (1996, 1988) gegeben.

5.2.5.4 Diskussion des berechneten Intensitätsmusters

Zunächst soll mit Hilfe der oben eingeführten Bewertungsfunktion die Konsistenz der Intensitäten mit den berechneten Dispositionswerten diskutiert werden. Eine Konsistenz ist nur dann gegeben wenn eine Intensität mit einer hohen Disposition zusammentrifft. Fälle in denen eine Intensität aber keine Disposition berechnet werden sind als inkonsistent anzusehen. Das Resultat dieser Konsistenzauswertung ist in Abbildung 31 dargestellt, wobei

dunkle Flächen auf lokale Inkonsistenzen hinweisen. Insgesamt lässt sich feststellen, dass nur relativ wenige Regionen der Inkonsistenz auftauchen, so dass eine gegenseitige Bestätigung der unabhängigen Dispositions- und Intensitätsbestimmungen zu konstatieren ist.

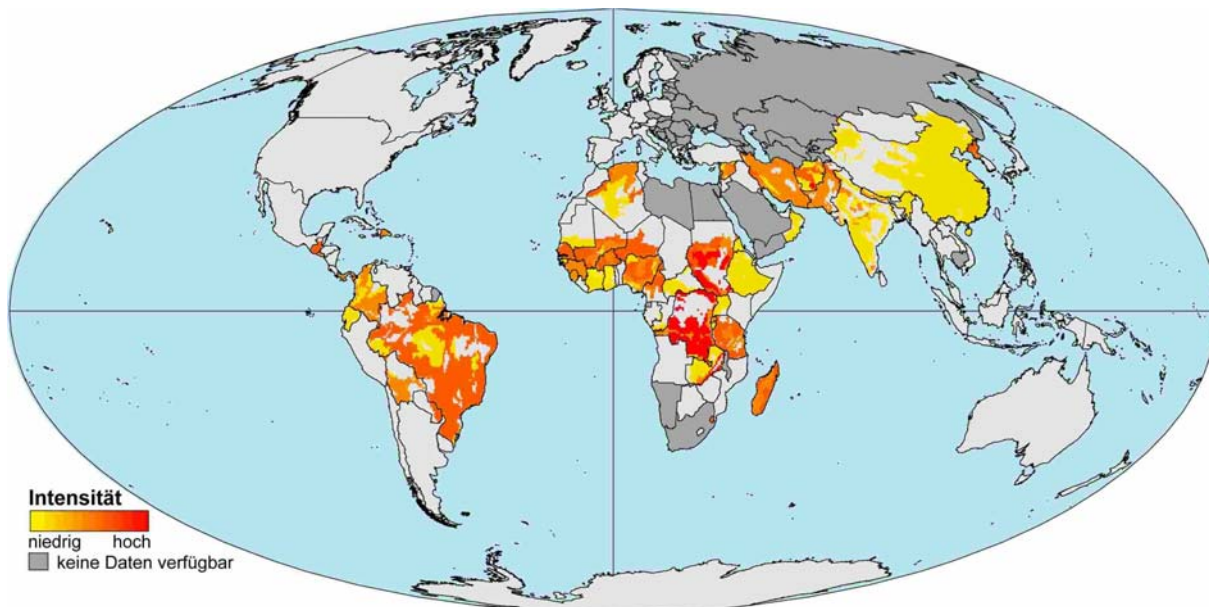


Abbildung 30: Intensität des SAHEL-SYNDROMS für den Zeitraum von 1985 - 1992. weiß = Syndrom nicht aktiv; grau = keine ausreichenden Daten.

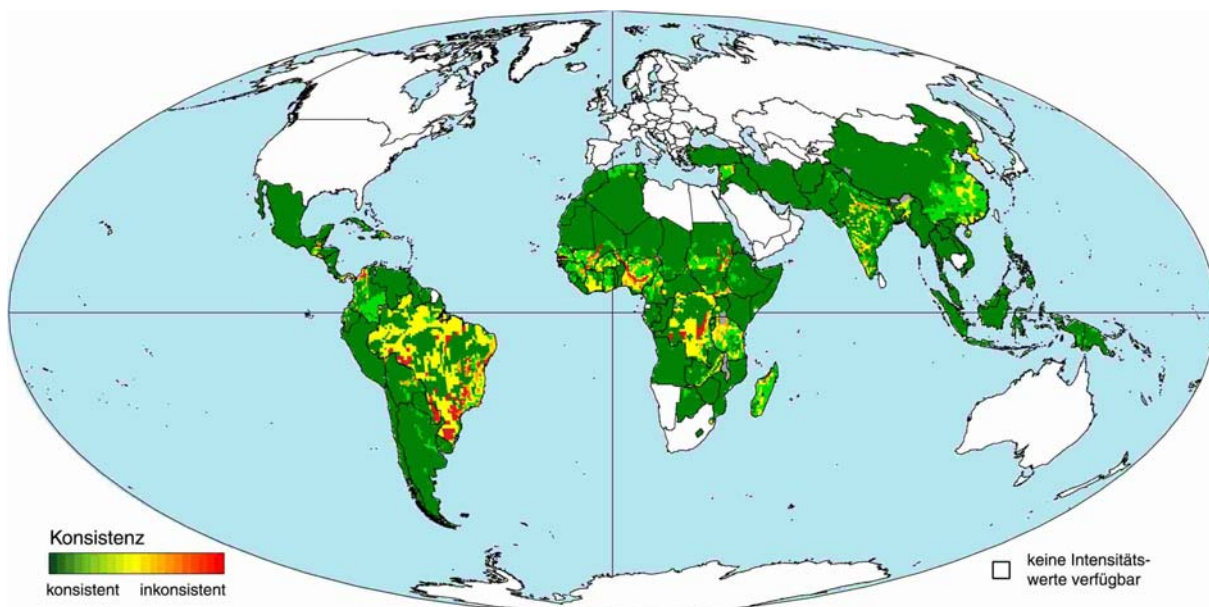


Abbildung 31: SAHEL-SYNDROM Konsistenzabschätzung. Inkonsistenzen bezeichnen Regionen für die bei niedriger oder nicht vorhandener Disposition eine Intensität indiziert wird.

Interessant bei der Interpretation der dennoch auftretenden Unstimmigkeiten ist die relativ hohe Inkonsistenz am Niger. Hier scheint die Disposition auf Grund der angenommenen Bewässerungsmöglichkeit als zu niedrig eingestuft. Die ausgedehnten Überschwemmungsgebiete sind landwirtschaftlich nur sehr eingeschränkt nutzbar. Die zu geringe Auflösung von

Armut- und Landnutzungsdaten scheint der Grund für die Inkonsistenzregionen in der Demokratischen Republik Kongo zu sein. Des Weiteren werden der Süden und Nordosten Brasiliens, sowie Teile des Amazonasgebietes als inkonsistent angezeigt. Auch hier macht sich die schlechte Auflösung der Armutsdaten, sowie die räumliche Überlagerung mehrerer anderer Syndrome deutlich (z. B. mit Prozessen des FAVELA-SYNDROMS). In Nord-Korea liegt eine Fehldetektion vor. Hier treten alle drei Symptome des Teufelskreis mit nahezu exakt gleicher und hoher relativer Rate ($\approx 3\% / a$) auf (QUESTION 1996), während die SAHEL-SYNDROM Disposition als nur gering bestimmt wird (Abbildung 28). Es kann als sicher angenommen werden, dass im Nord-Korea der 80er Jahre keine kleinbäuerliche bzw. die individuelle Subsistenz sichernde Übernutzung stattgefunden hat, sondern im Wesentlichen fehlgehende zentrale Planung der landwirtschaftlichen Produktion zu Bodenübernutzung und Armut der ländlichen Bevölkerung geführt haben. Seit 1958 gibt es in Nord-Korea keine private Landwirtschaft mehr, etwa 90 % des Ackerlandes werden gegenwärtig von Kooperativen, der Rest von Staatsbetrieben bewirtschaftet. Die im Beobachtungszeitraum festgestellte Verarmung der Landbevölkerung, die bis zu Hungersnöten reichte, fand trotz Flächenausweitung und verstärktem Kapitaleinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion statt (Pohl 1994). Hier liegt also der Fall vor, dass vom SAHEL-SYNDROM verschiedene Wirkungszusammenhänge im betrachteten Zeitraum zufällig eine Trenddynamik produzieren, die auch im SAHEL-SYNDROM möglich wäre. Dies zeigt noch einmal deutlich, dass die Bedingung in Gleichung 24 zwar notwendig, aber nicht hinreichend für die Existenz des SAHEL-SYNDROMS ist.

In Indien zeigt sich, dass auch an naturräumlichen Gunststandorten stellenweise das SAHEL-SYNDROM detektiert wird. Das größte zusammenhängende Gebiet dieser Art ist der Bundesstaat Assam. Obwohl hier 55 % der indischen Teeproduktion hauptsächlich auf großen Plantagen stattfindet, ist diese Nutzung sowohl vom Flächenbedarf als auch von der Anzahl der Beschäftigten her nicht dominierend. Im Wesentlichen wird die hohe regionale Bodendegradationsrate durch Reisanbau in kleinbäuerlicher Struktur (durchschnittliche Betriebsgröße > 1 ha) verursacht, von dem die Versorgung des größten Teils der Bevölkerung abhängig ist. Es handelt es sich hier nicht um den SAHEL-SYNDROM Mechanismus, sondern um das ähnlich gelagerte GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM (WBGU 1997), bei dem durch das Zugänglichmachen von Hohertragsorten und Dünger die Erträge erhöht werden. Dies geschieht allerdings oft um den Preis einer nicht-nachhaltigen Bewirtschaftung und der Verarmung weiter Teile der kleinbäuerlichen Bevölkerung.

5.2.5.5 Konsistenz der Intensitätsabschätzung mit Expertenbewertungen

Mit Hilfe einiger qualitativen Experteneinschätzungen und Fallstudien wird beispielhaft die für den Zeitraum von 1985 bis 1992 berechnete Intensität des SAHEL-SYNDROMS (Abbildung 30) überprüft und diskutiert. Betrachtet man die nach Gleichung 26 berechnete Intensität zunächst in der namensgebenden Sahel-Region, so findet man hohe Intensitätswerte in Senegal, Mali, Burkina Faso, Niger und Sudan. In diesen Ländern tritt das typische Problemmuster der ariden Variante der armutsbedingten Bodendegradation auf (Krings 1993; Lachenmann 1992).

In der Dem. Rep. Kongo hat eine unausgewogene Wirtschaftspolitik während des Messzeitraums³⁹ („urban bias“, geringe Erzeugerpreise), zu einem weitgehenden Rückzug der Landbevölkerung in die Subsistenzproduktion geführt. Die soziale Lage der Mehrheit der Landbevölkerung (ca. 90 %) ist als sehr schlecht zu bezeichnen. Sie lebt in „absoluter Armut“ (Körner 1993) und überlebt nur durch informelle Ökonomie, Familiennetzwerke, etc. Die berechnete Präsenz des Syndroms deckt sich weitgehend mit der landwirtschaftlichen Nutzzone. Der tropische Regenwald wird weitgehend nicht als vom Syndrom betroffen ausgewiesen, im Gegensatz zu den Zonen des tropischen Feldbaus, der mehrheitlich subsistenzwirtschaftlich und unter ungünstigen Rahmenbedingungen betrieben wird.

Im Falle Irans bestätigt die verfügbare Expertise die Aktivität des SAHEL-SYNDROMS. Die hohe naturräumliche Disposition des Landes (> 10 % der Landesfläche ist landwirtschaftlich nutzbar), wird durch ökonomische, soziale und politische Triebkräfte noch verschärft. Schätzungen zufolge soll die Desertifikation in Iran mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 m² pro Stunde voranschreiten. 1984 / 85 sind ca. 57 Mio. ha Boden durch Erosion verloren gegangen (WRI 1997). Rund 20 % aller Familien auf dem Land galten 1992 als extrem arm und etwa 40 % leben in ärmlichen Verhältnissen ohne eigenes Land oder mit Landbesitz > 2 ha (Internetveröffentlichung des Landwirtschaftsministeriums, 1994). Als verschärfender Expositionsfaktor kann der Krieg zwischen Iran und Irak (1980 - 1988) angesehen werden, der die iranische Wirtschaft stark belastet hat. Das Bevölkerungswachstum (1990: 3.6%) stellt einen syndrominternen Antriebsfaktor dar, der das Land vor enorme Entwicklungsprobleme stellt. Es kommt zur Migration in die Städte, allen voran Teheran. Auf Grund wirtschaftlicher und wirtschaftspolitischer Probleme stellt jedoch die städtische Ökonomie aus Industrie und Dienstleistungen aller Wahrscheinlichkeit nach in Zukunft nicht genügend Arbeitsplätze zur Verfügung, um die bereits jetzt schon hohe Arbeitslosigkeit zu beseitigen. In Iran kann damit die häufig auftretende Syndromkopplung zwischen SAHEL-SYNDROM und FAVELA-SYNDROM bestätigt werden.

Der Tschad fällt ohne Syndrompräsenz aus der Reihe der übrigen Sahel-Staaten heraus. Dies ist auf die im Messzeitraum leicht rückläufige ländlichen Armutsentwicklung zurückzuführen. Generell muss im Tschad auf die bedeutende Rolle von Krieg, Bürgerkrieg und nachfolgender politischer Instabilität für den hohen Grad an Unterentwicklung hingewiesen werden. Seit 1987 erfolgt mit Hilfe von IWF und Weltbank ein Wiederaufbauprogramm, dass als eine mögliche Ursache für die hier konstatierte Reduktion der Armut angesehen werden könnte. *Verarmung* könnte also (a) früher existent, aber stark durch Bürgerkrieg etc. bedingt sein und (b) könnte der Rückgang der ländlichen Armut durch die Beseitigung der Kriegsfolgen bedingt sein. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich also, dass die Nicht-Detektion des Syndrommechanismus im Tschad der 80er Jahre zwar plausibel ist, aber der realen Situation nicht entspricht.

In Amazonien, speziell in den Bundesstaaten Rondônia und Mato Grosso (Sangmeister 1992), findet eine mehr oder weniger unkontrollierte Agrarkolonisation entlang vieler Er-

³⁹ Die hier beschriebenen Prozesse beziehen sich auf das damalige Zaire im Messzeitraum Intensitätsmessung von 1985 - 1992. Die Auswirkungen des späteren Bürgerkriegs sind hier nicht berücksichtigt.

schließungsstraßen statt. Eine der Hauptakteursgruppen sind Migranten aus anderen Bundesstaaten. Wöhlcke (1994) sieht im Amazonasgebiet einen neuen „*Pol der Unterentwicklung*“, der im Wesentlichen von Einwanderern aus dem Süden und Nordosten des Landes gespeist wird. Diese Hinweise seitens landeskundlicher Experten, deuten darauf hin, dass in den genannten Bundesstaaten das SAHEL-SYNDROM vorliegt. Diese Annahme wird durch die indizierte Syndromintensität (Abbildung 30) gut reproduziert.

Der Syndrommechanismus tritt im Osten Kalimantanans (Indonesien) und in der malaysischen Provinz Sarawak auf (Potter et al. 1995), wird aber vom vorgestellten Algorithmus nicht detektiert, da bei landesweiter Betrachtung in beiden Ländern die absolute Anzahl der Armen zurückgeht. Hier ist anzunehmen, dass bei besserer regionaler Auflösung der Armuts- und Landnutzungsdaten das Syndrom indiziert werden könnte.

Es lässt sich zusammenfassend konstatieren, dass das hier vorgestellte Verfahren zur Intensitätsmessung des SAHEL-SYNDROMS sowohl bezüglich der Konsistenz mit der Dispositionsraumbestimmung als auch bezüglich des Vergleichs mit unabhängigen Expertenabschätzungen zur Präsenz des Syndrommechanismus plausible Resultate liefert. Es ist anzunehmen, dass die auftretenden Widersprüchlichkeiten, im Falle höherer und einheitlicher räumlicher Auflösung wesentlich verringert werden. Das Problem der Formulierung einer notwendigen, aber nicht hinreichenden Bedingung zu Erstellung des SAHEL-SYNDROM Intensitätsindikators, führte nur im Fall Nord-Koreas zur Fehldetektion. Dies weist darauf hin, dass nicht mit alternativen, die gleichen Symptome und Dynamiken enthaltenden, funktionalen Mustern zu rechnen ist, welche die oben hergeleiteten dynamischen Eigenschaften des SAHEL-SYNDROM Teufelkreises „simulieren“.

5.3 Nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern - Das DUST-BOWL-SYNDROM

5.3.1 Allgemeine Charakterisierung des Syndroms

Dieses Syndrom ist definiert als die nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern. Es beschreibt die naturräumlichen Folgen einer industrialisierten Landwirtschaft, die sich im Rahmen der Entwicklung nationaler und internationaler Märkte herausgebildet hat. Hier wird der Ursachenkomplex von Umweltschädigungen durch die nicht-nachhaltige Nutzung von Böden oder Gewässern als Produktionsfaktoren für Biomasse, welche unter hohem Energie-, Kapital- und Technikeinsatz erfolgen, angesprochen. Diese Form der Landwirtschaft ist gekennzeichnet durch das Streben nach größtmöglichem Flächenertrag. Häufig werden diesem kommerziellen Ziel die mittel- und langfristig wichtigen Umweltaspekte untergeordnet, die aber auch entscheidend für den langfristigen Erhalt der Produktionsgrundlage sein können. Im Allgemeinen bilden Hohertragssorten, Agrochemikalien und Mechanisierung die Grundlage für die moderne industrielle Biomasseproduktion. Kennzeichnend für solche Agrarsysteme sind hochtechnisierte und automatisierte Betriebe mit meist nur wenigen Beschäftigten wie in der Massentierhaltung oder modernen Bewässer-

ungssystemen. Typisch für das Syndrom ist die Dominanz der nationalen bzw. regionalen Landwirtschaftspolitik durch die internationalen Märkte. Im Fall von Entwicklungsländern tritt oft eine Kontrolle von lokalem Anbau und internationalem Marktpreis durch die von den entwickelten Ländern des Nordens dominierten globalen Absatzmärkte auf. Bei der nicht-nachhaltigen Wirtschaftsweise und auf Grund der relativ großflächigen Verbreitung dieses Syndroms ergeben sich weitreichende Folgen für die Ökosphäre. Beträchtliche Umweltschäden wie die Konversion von Primärwäldern, der Verlust von Ökosystem- und Artenvielfalt, die genetische Erosion, die Freisetzung von CO₂, Bodendegradation, die Belastung des Grundwassers mit Pestiziden und Nährstoffen, die Eutrophierung der Oberflächengewässer, die Übernutzung fossiler Grundwasserressourcen sowie die Veränderung der Abflussverhältnisse und der Grundwasserneubildung, treten auf.

Das DUST-BOWL-SYNDROM umfasst auch ähnlich motivierte Formen der Forstwirtschaft, wie z. B. Kahlschlag und die nachfolgend Pflanzung schnell wachsender Monokulturen ohne Rücksicht auf Verluste an Bodenqualität oder Biodiversität, oder Formen der Aquakultur, wie z. B. Lachsfarmen, in denen Eutrophierung und Zerstörung von Küstenökosystemen, als schwere Umweltfolgen auftreten (QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

5.3.2 Der Mechanismus des DUST-BOWL-SYNDROMS

Der Ausdruck „*Dust Bowl*“ entstand in den frühen 1930ern in den USA. Die namensgebende Region umfasst Teile der „*Great Plains*“ und reicht über das südöstliche Colorado, das südwestliche Kansas, die „*Panhandles*“ von Texas und Oklahoma, bis zum nordöstlichen New Mexico. Bis zum ersten Weltkrieg wurde die Region fast ausschließlich als Weideland genutzt. Danach, in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts kam es zur Einführung von Getreideanbau in großen Monokulturen mit mechanisierten Bodenbearbeitungsformen. In den folgenden Jahren der Übernutzung kam es Anfang der 30er Jahre zu einer längeren Dürre. Die in Folge der unangepassten Anbauweise (mechanisierte Bearbeitung von großen Monokulturen) offenliegenden Böden wurden durch die jährlichen Frühjahrsstürme erodiert. Die resultierenden großen Erosionsereignisse und Staubstürme hatten katastrophale naturräumliche und soziale Folgen für die Region. Tausende von Familien verloren ihren Lebensunterhalt und mussten die Region verlassen (ECB 1997). Dieses nicht-nachhaltige Zivilisation-Natur-Interaktionsmuster fungiert als namensgebendes Ereignis für das Syndrom. Doch nicht alle Erscheinungsformen des Syndroms folgen diesem Muster. Auch Formen von nicht-nachhaltig bewirtschafteten Aquakulturen sind diesem Syndrom zuzurechnen. Das DUST-BOWL-SYNDROM tritt sowohl in industrialisierten Ländern auf, in denen der Aspekt der Freisetzung von in der Landwirtschaft gebundenen Arbeitskräften durch Vergrößerung der Arbeitsproduktivität eine große Rolle spielt, als auch in Entwicklungs- und Schwellenländern, wo es im Zusammenhang mit dem Erbe des Kolonialismus zu sehen ist (vgl. allein die Rolle der „Kolonialwaren“ wie Kaffee, Tee, etc.).

Im Kontext der globalen Entwaldungsproblematik spielt das Syndrom hauptsächlich auf zwei verschiedene Arten eine bedeutende Rolle. Die erste umfasst die Konversion von bestehenden Wäldern in landwirtschaftliche Nutzflächen in Form von Äckern und Weiden. Hier sind

besonders die im Rahmen des DUST-BOWL-SYNDROMS vorgenommenen Brandrodungen zur Gewinnung landwirtschaftlicher Nutzfläche, speziell zum Anbau von „cash-crops“, zu nennen. Beispiele dafür sind auch die in der letzten Dekade Schlagzeilen machenden, außer Kontrolle geratenen Flächenwaldbrände in Indonesien, die zum Großteil durch Brandrodungen für die Anlegung von Ölpalmlantagen entstanden sind sowie die Konversion von Waldgebieten zu intensiver Weidenutzung in Lateinamerika mit einem besonderen Schwerpunkt in Amazonien. Diese Ereignisse wurden in den letzten Jahren des 20. Jahrh. in ihren Folgen durch mehrere starke ENSO-Ereignisse (El Niño Southern Oscillation), sowie durch das Ausbleiben des Monsuns oder saisonaler Regenfälle und die dadurch verursachten Dürren noch verstärkt. Die zweite Art des Syndromauftretens im Kontext der Entwaldung umfasst verschiedene Formen der kommerziellen Forstwirtschaft, wie z. B. die Pflanzung schnellwachsender Monokulturen mit nachfolgendem Kahlschlag ohne Rücksicht auf Bodendegradation oder das Ökosystem nachhaltig schädigende Biodiversitätsverluste.

5.3.2.1 Der Syndromkern

Voraussetzung für den kommerziellen Erfolg der landwirtschaftlichen Tätigkeiten ist das Zusammenwirken der Faktoren Kapital, „know-how“ und gesellschaftspolitischer Unterstützung, wie z. B. durch Flurbereinigung oder Maßnahmen zur Verbesserung der Standortbedingungen. Der zentrale Mechanismus des Syndroms ist demnach der fortgesetzte technologisch innovative Wettbewerb um regionale und zunehmend auch globale Märkte für Agrarprodukte (QUESTIONS 1998; WBGU 1998). Gefördert wird das Syndrom durch hohe Subventionen auf Energie, Roh- und Betriebsstoffe, wie in der Europäischen Union oder Nordamerika, oder nationale Bodenrechtsformen wie in Brasilien (siehe Kap. 5.1). Neben einer nicht-nachhaltigen Wirtschaftsweise trägt vor allem die großräumigen Flächenkonversionen von Waldgebieten zu landwirtschaftlichen Nutzflächen zu den oft beträchtlichen Umweltschäden in diesem Muster bei.

Zentrales Element des Syndrommechanismus (Abbildung 32) ist die *Intensivierung und Ausweitung der Landwirtschaft*, die über Auswirkungsgarben in die Pedosphäre (*Überdüngung* und durch die Bewässerung hervorgerufene *Versalzung*), in die Hydrosphäre (*Veränderung der Wasserqualität* durch die Einleitung von Düngemitteln und Pestiziden, einer *Veränderung der lokalen Wasserbilanz* durch die Änderung der Vegetationsdecke, sowie einer *Veränderung des Grundwasserspiegels* durch die Bewässerung), in die Atmosphäre (ein *Verstärkter Treibhauseffekt* durch die Emission von treibhauswirksamen Gasen wie CO₂ und Methan) und in die Biosphäre (eine *Degradation natürlicher Ökosysteme* durch Fragmentierung und Auswirkungen von Düngung und Pestizid- und Herbizidgaben sowie die *Konversion natürlicher Ökosysteme* für die Gewinnung neuer Nutzflächen) zu einer Degradation der natürlichen Produktionsgrundlagen führen. Angetrieben werden diese Prozesse durch ökonomische Entwicklungen, wie *Industrialisierung* und *Globalisierung der Märkte*, die in den Entwicklungs- und Schwellenländern mit einer *Anspruchssteigerung* und der *Ausbreitung westlicher Konsum- und Lebensstile* begleitet werden (WBGU 1998; QUESTIONS 1998).

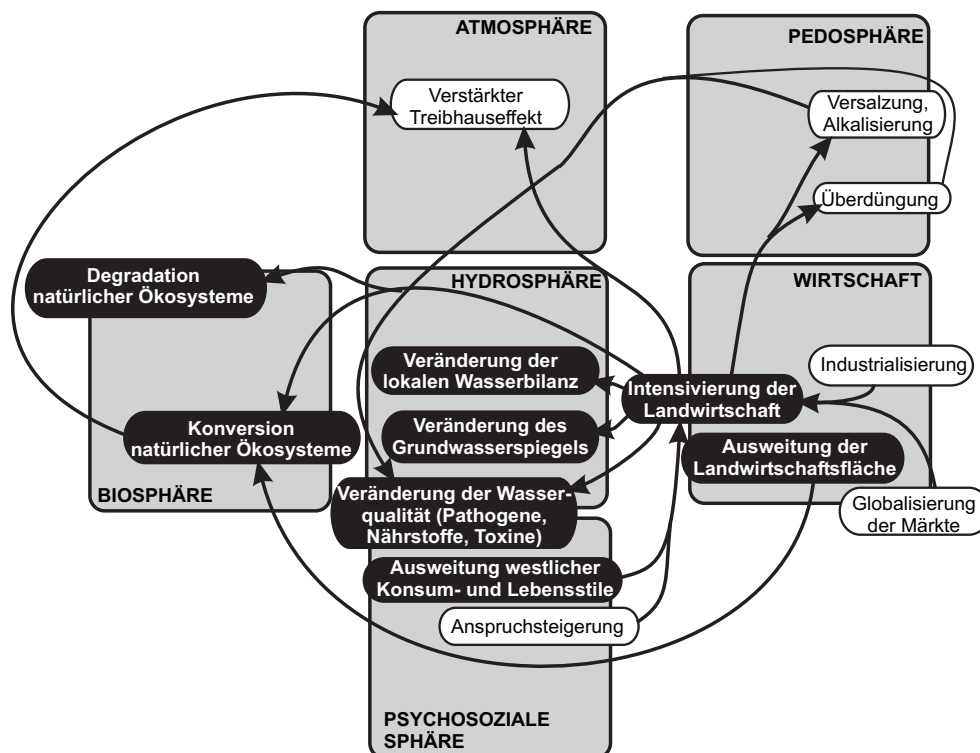


Abbildung 32: Kern des DUST-BOWL-SYNDROMS mit wichtigen negativen naturräumlichen Folgen. Schwarz unterlegte Symptome wurden für die Intensitätsabschätzung verwendet.

Wirtschaftliche Interessen, repräsentiert durch die *Bedeutungszunahme nationaler wirtschaftspolitischer Strategien*, die *Globalisierung der Märkte*, *internationale Verschuldung* und *Industrialisierung* der Landwirtschaft, führen gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern im Zusammenspiel mit einer *Anspruchsteigerung* und *der Ausbreitung westlicher Konsum- und Lebensstile* zu einer *Intensivierung* und *Ausweitung der Landwirtschaft*. Diese Verstärkung landwirtschaftlicher Aktivität läuft oftmals unter Einwirkung von *technologischem Fortschritt* und *Wissenstransfer (Biotechnologie, Mechanisierung)* ab. Die vielfältigen dabei auftretenden Schädigungen reichen im Bereich der Hydrosphäre von der *Veränderung der lokalen Wasserbilanz*, der *Veränderung des Grundwasserspiegels* zur *Veränderung der Wasserqualität*, was als direkte Folgen zu nachfolgenden *Gesundheitsschäden* über Pathogene und Toxine, zu einer *Süßwasserverknappung* und einer *Veränderung der Stofffrachten* führt. Weitere Folgen liegen im Bereich der Böden, der eigentlichen Produktionsgrundlage der Landwirtschaft. Durch den übermäßigen Einsatz von Düngemitteln kommt es zu einer *Kontamination* und *Überdüngung* der Böden. Im Zuge des verstärkten Maschineneinsatz bei Bodenbearbeitung und Ernte kommt es zur großflächigen *Bodenverdichtung*, *Erosion* sowie einem damit einhergehenden *Fertilitätsverlust*. Die durch die Intensivierung verursachte verstärkte Bewässerung führt zur *Versalzung* der Böden, mit mittel- bis langfristigen Verlust der Anbaufläche. Für die Entwaldungsproblematik sind die wichtigsten biosphärischen Auswirkungen wie *Konversion* und *Degradation von Ökosystemen*, die *zunehmende Übernutzung der biologischen Ressourcen* und die *Degradation natürlicher Ökosysteme* als direkte Folgen zu nennen. Diese Formen der Schädigungen, Störungen und sogar Zerstörungen von Ökosystemstruktur und Zusammensetzung führen zu Gen- und Artenverlusten und einem *Verlust von biosphärischen Senken*. Die durch die Brandrodung

aus Böden freigesetzten und durch die Massentierhaltung erzeugten, treibhauswirksamen Gase (CO₂, CH₄) führen zu einer *Verstärkung der biosphärischen Quellen*. Zusammen tragen diese Symptome zu einem *verstärkten Treibhauseffekt* und damit zum *globalen und regionalen Klimawandel* bei. Ein weiterer, immer häufiger zu beobachtender Trend ist eine verstärkte *Resistenzbildung* durch die hohen Pestizid- und Herbizidgaben.

Insgesamt führen diese vielfältigen Schädigungen der Ökosphäre zu einem *Rückgang der Nahrungsmittelproduktion*, was der ursprüngliche Intention einer *Steigerung* entgegenläuft. Ein weiteres kontraproduktives Element sind die *Gen- und Artenverluste*, die mögliche Entwicklungen in der Verwertung der genetischen Ressourcen für *Fortschritte in der Bio- und Gentechnologie* verhindern. Die negativen Auswirkungen im Bereich der Hydrosphäre führen auch zu *zunehmenden Gesundheitsschäden* beim Menschen (Alloway & Ayres 1993). Ein Beispiel ist die Anreicherung des Insektizids DDT⁴⁰ in der Muttermilch, was zum Verbot des Einsatz dieser Mittel in den meisten entwickelten Ländern führte. Allerdings ist auch weiterhin die Produktion dieser Substanzen, sowie der Export zum Einsatz im „cash-crop“ Anbau in Entwicklungs- und Schwellenländern, bei uns erlaubt. Über den Import von so erzeugten Nahrungsmitteln aus diesen Ländern schließt sich dann auch dieser Kreis wieder und die Insektizide kehren an ihren Produktionsort zurück.

5.3.3 Dispositionsmessung

Zur Abschätzung der gefährdeten Regionen wurde eine der Indizierung der Disposition entwickelt, die auf globalen Abschätzungen von Gunststandorten (Cassel-Gintz et al. 1997) und der für die landwirtschaftliche Nutzung wesentlichen Erreichbarkeit naturräumlicher Ressourcen (Cassel-Gintz 1997; Kap. 5.1) beruht. Als Grundannahme wird davon ausgegangen, dass dem Handeln der Akteure ein rationales, gewinnorientiertes Verhalten zu Grunde liegt. Dies verlangt die Auswahl landwirtschaftlicher Gunststandorte um die Erträge zu maximieren sowie eine gute Erreichbarkeit der Nutzflächen um die Transportkosten zu potentiellen Märkten zu minimieren. Ausgehend von dem im Zuge der SAHEL-SYNDROM Disposition (Kap. 5.2) beschriebenen Modell zur Pflanzenproduktion (Lüdeke et al 1999), werden Zugehörigkeitswerte μ_{hoch}^{NPP} für die „günstigen klimatischen Bedingungen“, zur Pflanzenproduktivität bestimmt (Abbildung 33a). Diese werden mit den „fruchtbaren Böden“, d. h. Böden mit hoher Fertilität (Abbildung 33b), durch min-max-Kompensations-Operator (K_{0,5}-Operator) zu den „günstigen Wachstumsbedingungen“, $\mu_{gut}^{Wachstum}$, verknüpft (Gleichung 27).

$$\begin{aligned} \mu_{gut}^{Wachstum} &= \mu(\text{hohe NPP} \wedge \text{hohe Fertilität}) \\ &= K_{0,5}(\mu_{hoch}^{NPP}, \mu_{hoch}^{Fertilität}) \\ &= (\min\{\mu_{hoch}^{NPP}, \mu_{hoch}^{Fertilität}\})^{1-0,5} \cdot (\max\{\mu_{hoch}^{NPP}, \mu_{hoch}^{Fertilität}\})^{0,5} = \sqrt{\mu_{hoch}^{NPP} \cdot \mu_{hoch}^{Fertilität}} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 27}$$

Der K_{0,5}-Operator wurde gewählt um auszudrücken, dass in Kombinationen, in denen einer der beiden Komponenten Klima oder Bodenfertilität relativ schlecht bewertet ist, dieses auf Grund der syndromtypischen kapitalintensiven Anbauweise kompensiert werden kann.

⁴⁰ DDT = Dichlordiphenyl Trichlorethan (C₁₄H₉Cl₅)

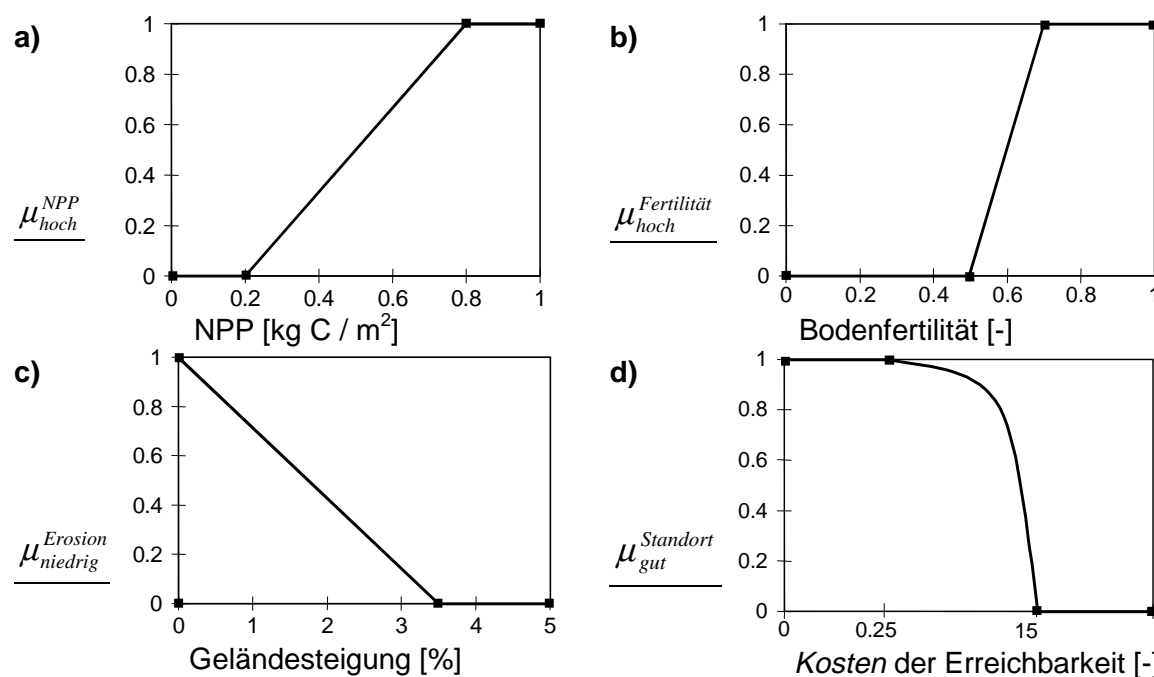


Abbildung 33: Fuzzyfizierung der Ausgangsvariablen für die günstigen, naturräumlichen Landwirtschaftsbedingungen zur Bestimmung der DUST-BOWL-SYNDROM Disposition.

Die „günstigen Wachstumsbedingungen“ werden durch den $K_{0,5}$ -Operators mit einem „niedrigen Erosionsrisiko“, (Abbildung 33c) verbunden (Gleichung 28), um die Zugehörigkeit zur Menge der potentiellen „günstigen Landwirtschaftsstandorte“, $\mu_{gut}^{Landwirtschaft}$, zu identifizieren.

$$\begin{aligned} \mu_{gut}^{Landwirtschaft} &= \mu (\text{Wachstum} \hat{\wedge} \text{niedrige Erosion}) \\ &= K_{0,5} (\mu_{gut}^{Wachstum}, \mu_{niedrig}^{Erosion}) = \sqrt{\{\mu_{gut}^{Wachstum} \cdot \mu_{niedrig}^{Erosion}\}} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 28}$$

Die Zugehörigkeit zur Menge der „gut erreichbaren Standorte“, $\mu_{gut}^{Standort}$, die potentiell für eine landwirtschaftliche Nutzung in Frage kommen, wurden aus einer topographisch gewichteten Kostenoberfläche zu vorhandener Verkehrsinfrastruktur erzeugt (Kap. 5.1). Die landwirtschaftlichen Gunststandorte, $\mu_{gut}^{Landwirtschaft}$, werden mit einem min-max-Kompensations-Operator ($K_{0,5}$ -Operator; Gleichung 29) mit den „gut erreichbaren Standorte“, (Abbildung 33d) zur Zugehörigkeit zur Menge der „hohe Disposition“ für das DUST-BOWL-SYNDROM, $\mu_{hoch}^{Disposition}$, verknüpft.

$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{Disposition} &= \mu (\text{gute Landwirtschaft} \hat{\wedge} \text{gute Standorte}) \\ &= K_{0,5} (\mu_{gut}^{Landwirtschaft}, \mu_{gut}^{Standort}) = \sqrt{\{\mu_{gut}^{Landwirtschaft} \cdot \mu_{gut}^{Standort}\}} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 29}$$

Der gesamte Prozess ist nochmals in dem fuzzy-logischen Bewertungsbaum zur Erzeugung einer DUST-BOWL-SYNDROM Disposition in Abbildung 34 dargestellt.

Das Resultat in Abbildung 35 zeigt die von dem DUST-BOWL-SYNDROM gefährdeten Regionen an. Solche Regionen sind die Regenwaldgebiete Brasiliens, Venezuelas, der mittelamerikanischen Staaten, Mexikos und Papua-Neuguineas. In Afrika sind es vor allem die Küstenregionen südlich des Sahel in Nigeria, Ghana und der Elfenbeinküste sowie Teile des Kongobeckens. Weiterhin drohen einige Länder, im Wesentlichen Indien, Indonesien,

Bangladesch, Sri Lanka, Vietnam und Myanmar, die als vom GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM betroffen identifiziert sind (Lüdeke 1997; WBGU 1997), in das DUST-BOWL-SYNDROM überzugehen.

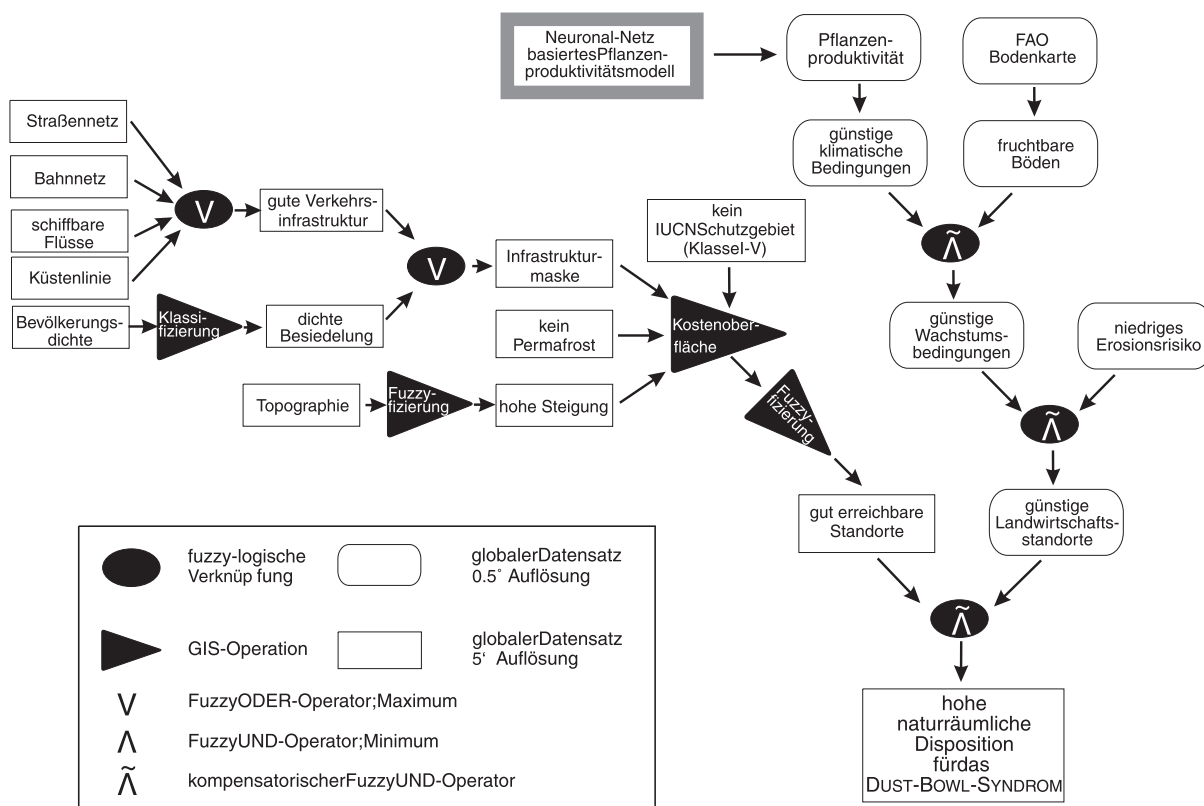


Abbildung 34: Aus quantitativen Modelldaten und qualitativen, fuzzy-logischen Variablen erzeugter Bewertungsbaum zur Erzeugung einer DUST-BOWL-SYNDROM Disposition.

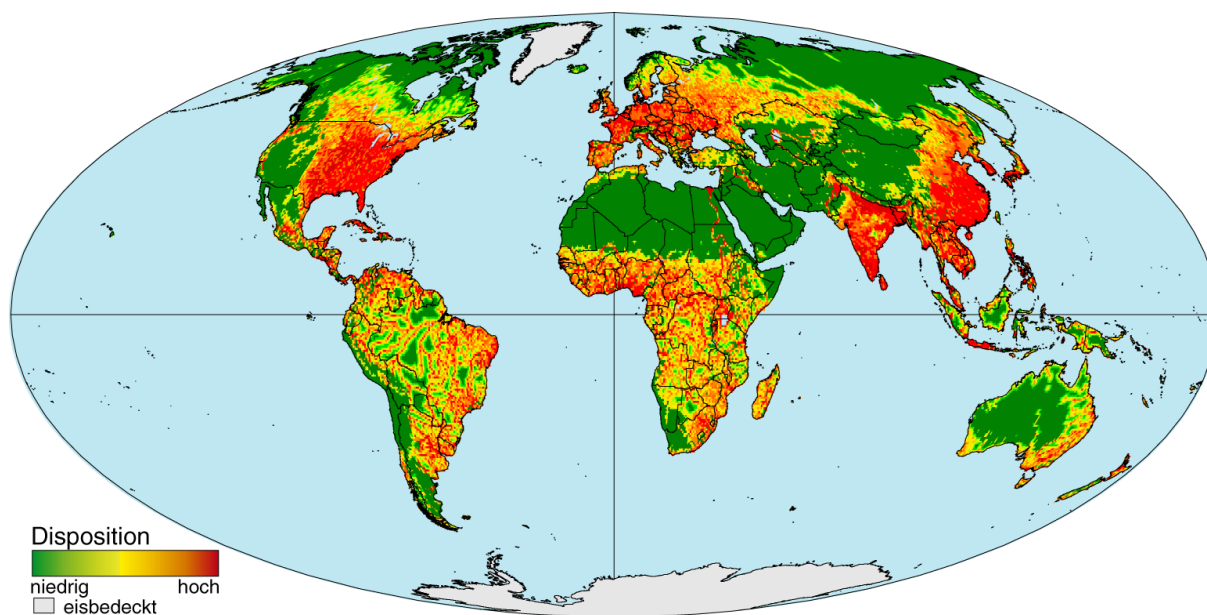


Abbildung 35: Disposition gegenüber dem DUST-BOWL-SYNDROM (modifiziert nach QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

5.3.4 Intensitätsbestimmung

Ein komplexer Indikator, welcher die Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS abschätzt, wird in WBGU (1998) vorgestellt. Basierend auf verschiedenen Basisindikatoren, die den

- 1) Grad der Degradation durch Ackerbau, den
- 2) Grad der Degradation durch Viehzucht, sowie den
- 3) Grad der landwirtschaftlichen Arbeitsproduktivität und der Weltmarktorientierung angeben,

wird ein Intensitätsmaß abgeschätzt. Trifft einer der beiden ersten Punkte und gleichzeitig der dritte Punkt vollständig zu, indiziert dies ein massives Auftreten des Syndrommechanismus (WBGU 1998; QUESTIONS 1998). Auch in diesem Fall wurden die das Syndrom beschreibenden qualitativen Zusammenhänge mit Hilfe des Fuzzy-Logik-Konzept formalisiert. Die im Detail verwendeten Indikatoren und deren Verknüpfung sind in Abbildung 36 in Form eines hierarchischen Fuzzy-Logik-Bewertungsbaumes dargestellt.

Eine „hohe ackerbaulichen Schädigung“, $\mu_{hoch}^{Ac\ ker}$, kann als gegeben angesehen werden, wenn entweder der hoher Grad der Mechanisierung, ein hoher Grad der Chemisierung oder eine starke Bewässerung der landwirtschaftlich genutzten Flächen vorliegt (QUESTIONS 1998; WBGU 1998; Gleichung 30).

$$\begin{aligned}\mu_{hoch}^{Ac\ ker} &= \mu (Mechanik \vee Chemie \vee Bewässerung) \\ &= \max \left\{ \mu_{hoch}^{Mechanik}, \mu_{hoch}^{Chemie}, \mu_{hoch}^{Bewässerung} \right\}\end{aligned}\quad \text{Gleichung 30}$$

Mit Hilfe von geeigneten Indikatoren für die *Industrialisierung* und die *Anspruchssteigerung*, zweier antreibender Elemente des syndromspezifischen Beziehungsgeflechts, wird die Zugehörigkeit zu „Dust Bowl“-typischen Ländern, $\mu^{Dust-Bowl}$, bestimmt. Ausgehend von der *Konversion und Degradation natürlicher Ökosysteme* und der *Übernutzung natürlicher Ökosysteme* wird ein Indikator für die Zugehörigkeit zur Menge der von „hoher Weideschädigung“, μ_{hoch}^{Weide} , betroffenen Regionen bestimmt. Hat eine Region nun entweder eine „hohe ackerbaulichen Schädigung“, und entspricht das Land dem „Dust Bowl“ Profil, oder die Region hat eine „hohe Weideschädigung“, und gleichzeitig ein „Dust Bowl“ Profil, so ist die Zugehörigkeit zur Menge „hohe Intensität“ des DUST-BOWL-SYNDROM gegeben. Diese Argumentation wird mit einem fuzzy-ODER Operator (Addition; Gleichung 31) umgesetzt, was zur Folge hat dass sich die Intensitäten für die Weide- und Ackerausprägung des Syndroms quasi addieren. Ist also an einem Ort sowohl eine Intensität des Syndroms in Bezug auf Weidewirtschaft als auch auf Ackerbau gegeben, so ist diese Rasterzelle stärker von dem Syndrom betroffen, als eine, in der nur jeweils eine Ausprägung aktiv ist.

$$\begin{aligned}\mu_{hoch}^{Intensität} &= \mu (Acker \wedge "Dust - Bowl") \vee \mu (Weide \wedge "Dust - Bowl") \\ &= \left[\min \left\{ \mu_{hoch}^{Ac\ ker}, \mu^{Dust-Bowl} \right\} + \min \left\{ \mu_{hoch}^{Weide}, \mu^{Dust-Bowl} \right\} \right] / 2\end{aligned}\quad \text{Gleichung 31}$$

Um das Resultat auf die tatsächlich nutzbaren Landwirtschaftsflächen zu beschränken, wird die Disposition mit einer Maske landwirtschaftlicher Nutzflächen verschnitten. Aus einem globalen Modell der terrestrischen biologischen Produktivität (CARAIB; Warnant et al. 1995) wird für jedes Rasterelement (0.5°x 0.5°) der Flächenanteil Ackerfläche und Weidefläche

bestimmt. Je höher der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche in einem Rasterelement, desto stärker wird die Intensität auf diese Zelle abgebildet. Das Resultat ist in der Karte der derzeitigen Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS (Abbildung 37) dargestellt.

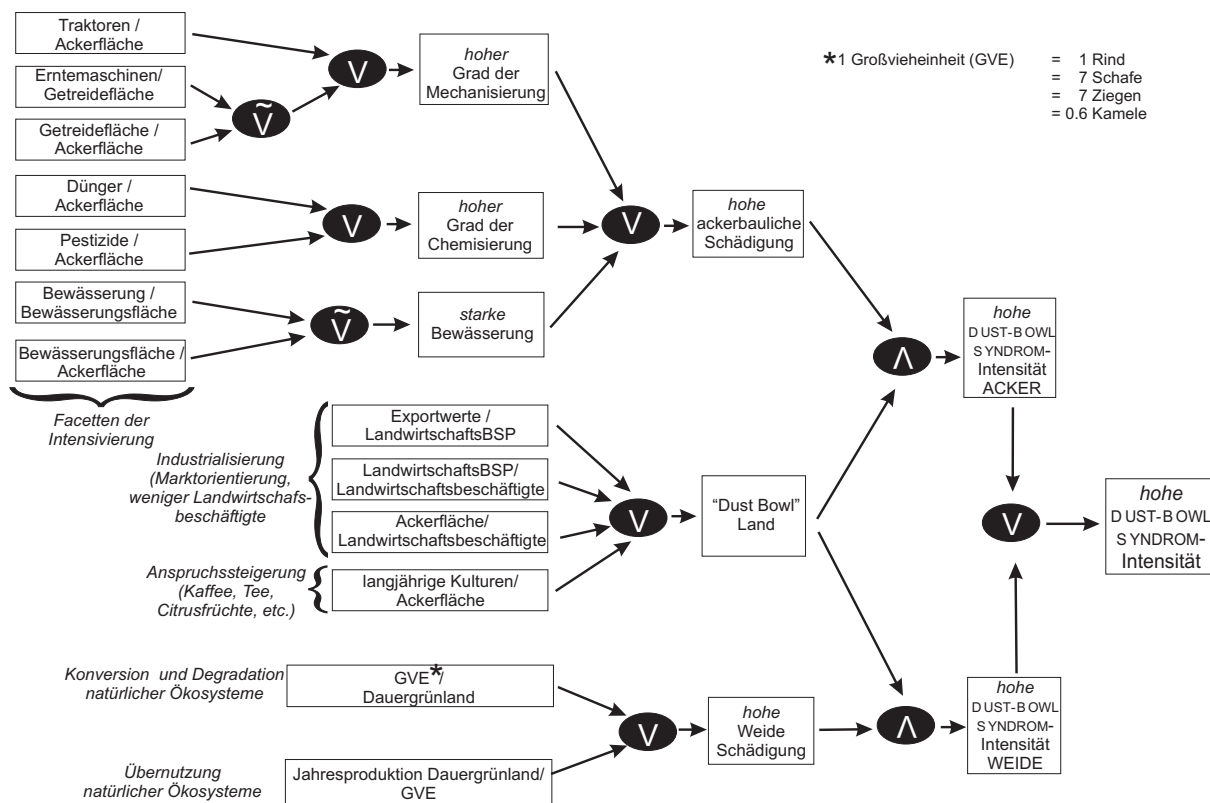


Abbildung 36: Fuzzy-logischer Bewertungsbaum zur Bestimmung der Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS (modifiziert nach QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

5.3.4.1 Diskussion des berechneten Intensitätsmusters

In Nordamerika erscheint neben der Ostküste vor allem auch der mittlere Westen und die namensgebende Dust-Bowl Region als stark von dem Syndrommechanismus befallen. Dieser Gürtel landwirtschaftlicher Nutzfläche erstreckt sich bis in die südlicheren Bereiche der kanadischen Prärieprovinzen. Ein weiter Gürtel hochintensiver Landwirtschaft in dem das Syndrom aktiv ist, erstreckt sich vom südlichen Ontario, entlang der großen Seen und des St. Laurent Stroms bis zu den Atlantikprovinzen. An der Westküste finden sich einige Regionen mit einer hohen Intensität, die Kalifornische Küstenregion, mit ihrem hohen Bewässerungsbedarf, der trockene Teil des Nordwestens der USA, und das kanadische *Okanagan Valley*, der Obstgarten der kanadischen Westküste mit intensivem Anbau am Rande der klimatischen Möglichkeiten.

In Lateinamerika werden vor allem die Pampa, der *Gran Chaco*, das Tiefland des *Rio Paraná* bis zum *Rio de la Plata* als stark vom Syndrom betroffen ausgewiesen. In Brasilien sind es die südlichen Landesteile und der trockene Nordosten. Hanglagen der Westkordillere Kolumbiens und Ecuadors werden mit einer mittleren Intensität indiziert. In den Mittelamerikanischen Staaten erscheinen vor allem die von den großen amerikanischen Firmen

(Dole, United Fruit, etc.) für Monokulturplantagen genutzten Hanglagen als hoch intensiv. Diese Regionen zeichnen sich vor allem durch hohe Erosionsraten aus.

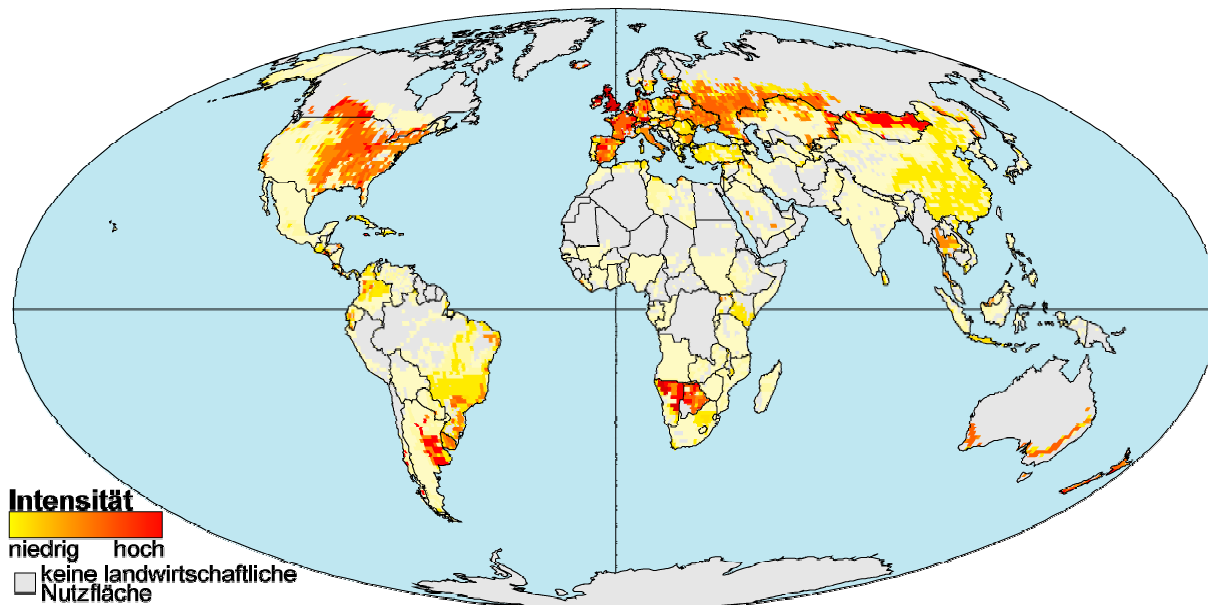


Abbildung 37: Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS (modifiziert nach QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

Europa erscheint mit Ausnahme von Portugal, der Tschechischen Republik, den nördlichen Waldregionen Fennoskandiens, Rumänien und dem ehemaligen Jugoslawien mit einer hohen Intensität. Die restlichen landwirtschaftlich genutzten Regionen erscheinen mit einer mittleren Intensität. Vor allem in den Ländern der EU gibt es erhebliche Probleme mit Überdüngung und dem erhöhten Eintrag von Nährstoffen und Toxinen aus Pestiziden und Insektiziden. Im Zuge von Flurbereinigung und der monokulturellen Anbauweise kommt zu Biodiversitätsverlusten und Bodendegradation.

Im westlichen Teil Asiens ist das Syndrom entlang des Schwarzerdegürtels der GUS Staaten und der kasachisch-chinesischen Grenzregion aktiv. Als sehr stark vom Syndrom betroffen erscheinen der nördlichen Teil der Mongolei und einige Regionen entlang der russisch-chinesischen Nordgrenze. Das landwirtschaftlich stark genutzte Chinesische Tiefland wird mit einer mittleren Intensität angezeigt.

In südlichen Afrika erscheinen das Ovamboland und Okavangoland Namibias sowie das artenreiche Okavangobecken Botswanas als stark vom Syndrom befallen. Ansonsten taucht nur ein Teil des ostafrikanischen Berglandes mit einer niedrigen bis mittleren Intensität auf.

In Australien erscheinen die Anbauflächen entlang der Darlingkette, nördlich von Perth, sowie die Anbauggebiete an der Ostküste, vor allem auf der Westseite des Australischen Berglands, sowie Neuseeland als stark von dem DUST-BOWL-SYNDROM befallen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Indizierung der Stärke dieses Musters noch verbesserungswürdig ist. Es erscheint ratsam für zukünftige Untersuchungen das Syndrom stärker in Subtypen zu zerlegen, die dann gesondert besser indiziert werden könnten. Eine Trennung in typische Subsyndrome für den „cash-crop“ Anbau in Entwicklungs- und

Schwellenländern, für die stark mechanisierte, auf Monokulturen ausgerichtete Ausprägung der Nordamerikanischen Landwirtschaft sowie für die Subventionslandwirtschaft der EU bietet sich hier als eine funktionale Teilung an.

5.4 Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke - Das MASSENTOURISMUS-SYNDROM

Die Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke wird im Rahmen des Syndromkonzepts als das MASSENTOURISMUS-SYNDROM bezeichnet. Es werden Umweltschäden beschrieben, die durch die stetige Zunahme des globalen Tourismus in den letzten Dekaden hervorgerufen wurden. Wirksame Triebkräfte in diesem Muster sind vor allem steigende Einkommen in den Industrieländern sowie sinkende Transportkosten bei gleichzeitig immer kürzer werdenden Arbeitszeiten und einem verändertem Freizeitverhalten (WBGU 1997). Brennpunkte sind die touristischen Küstengebiete und Bergregionen. Hauptfolgen dieses Syndroms sind die Zerstörung von naturnahen Flächen durch den Bau touristischer Infrastruktur sowie die Schädigung oder gar der Verlust von fragilen Berg- und Küstenökosystemen. Zudem trägt die stark zunehmende Anzahl von Flugfernenreisen in den letzten Jahren stark zur Belastung der Atmosphäre durch Luftschadstoffe bei.

Ein Beispiel für die Entwaldungskomponente des MASSENTOURISMUS-SYNDROMS stellt die Rodung von Bergwäldern für die Ski- und Freizeitindustrie in den Alpen dar. Wie sich in den letzten Jahren immer stärker zeigt, treten hier starke Folgeschäden durch die Entfernung der Vegetationsdecke und durch die Bodenverdichtung auf. Es kommt verstärkt zu Erosionserscheinungen, Muren nach Starkregenereignissen und, auf Grund der fehlenden Schutzfunktion der Bergwälder, zu einer weiträumigen Lawinengefährdung in den Tourismuszentren der alpinen Bergtätern. Neben diesen primär auf den Menschen einwirkenden Folgen der Entwaldung, tritt auch eine nicht zu vernachlässigende Gefährdung der Artenvielfalt in Folge einer Veränderung der Vegetationsdecke auf. Diese Habitatverluste wurden vor allem in tropischen Ferienregionen beobachtet, wo große Waldgebiete für die Errichtung touristischer Infrastruktur geopfert wurden (z. B. Dominikanische Republik oder Costa Rica).

5.5 Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten - Das ARAL-SEE-SYNDROM

Das ARALSEE-SYNDROM beschreibt Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten. Das Scheitern großflächiger, umfassender Umgestaltungen von naturnahen Bereichen, bis hin zu ganzen Landschaften, steht im Mittelpunkt dieses Syndroms. Mit hohem Kapitaleinsatz wird bewusst und planmäßig in die Natur eingegriffen, oftmals unter ungenügender Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten. In der Regel geht es dabei um die Erreichung strategischer Ziele, die im nationalen oder auch

internationalen Rahmen festgelegt und dann mit Hilfe einer zentralen Planung in Form von Großprojekten umgesetzt werden. In vielen Fällen handelt es sich dabei um die Errichtung großtechnischer Anlagen (Staudämme, Bewässerungsprojekte), bei denen auf Grund von mangelndem Systemverständnis die Auswirkungen nicht genügend bedacht werden, was zu Umweltdegradationen und oftmals auch zu erheblichen sozialen Verwerfungen führen kann. Es gibt allerdings aber auch Ausprägungen, bei denen ohne die Errichtung von Großbauwerken eine Landschaft nach Effizienz Gesichtspunkten an die mechanisierte landwirtschaftliche Nutzung angepasst wird, z. B. durch großflächige Flurbereinigung. Das gemeinsame Element ist die Unfähigkeit der Planer, die Folgen von Großprojekten einzuschätzen bzw. sie zu beherrschen. Am Aralsee ist dieses Syndrom in voller Ausprägung zu beobachten. Dieser See war einmal der viertgrößte Süßwassersee der Erde. In einer ehemals fruchtbaren, wald- und artenreichen Region wurden Fischfang und Landwirtschaft betrieben. Seit 30 Jahren werden die Zuläufe des Aralsees angezapft (nur noch etwa 10 % erreichen den See) und einem gigantischen Bewässerungssystem der Baumwollproduktion zugeführt. Die Oberfläche des Aralsees schrumpfte um die Hälfte, das Volumen ging um zwei Drittel zurück. Der ehemalige Seeboden ist nun eine Salzwüste, von welcher der Wind jährlich 40 bis 150 Mio. t Salz und Sand auf das fruchtbare Land des Amu Darya Delta verfrachtet. Sämtliche 24 Fischarten sind heute ausgestorben, 60.000 Fischer haben ihre Beschäftigung verloren. Für eine nur kurzfristig mögliche Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion wurden durch die ökologischen Folgeschäden weite Teile der Region verwüstet. Als weitere Beispiele lassen sich hier auch große Staudammprojekte anführen (z. B. Hoover, Assuan, Narmada, Bakun Damm, das Drei Schluchten Projekt am Yang Tse), bei denen vielfach ein kurzfristiges Denken dazu führte, dass die sozialen und ökologischen Auswirkungen fehlerhaft eingeschätzt, beziehungsweise ganz vernachlässigt wurden (WBGU 1997).

Dieses Syndrom trägt auf drei verschiedenen Arten Beiträge zur Entwaldungsproblematik bei: Als erstes ist der Einfluss über die direkte Überschwemmung von Wäldern zu nennen. Im Allgemeinen werden die im Überschwemmungsbereich des Staudamms liegenden Wälder nicht oder nur teilweise gerodet. Über die verrottenden Holzreste gelangen hohe treibhausrelevante Methanemissionen in die Atmosphäre (WBGU 1997; QUESTIONS 1998). Der zweite maßgebliche Beitrag erfolgt über die Änderungen der Ökosystemkomponenten, wodurch große Eingriffe in den lokalen Wasserhaushalt, z. B. Wasserableitungen für die Bewässerungslandwirtschaft, Änderungen der lokalen Vegetationsdecke hervorgerufen werden. Im Falle einer Verschlechterung der Wachstumsbedingungen von Wäldern, z. B. der Veränderung des Grundwasserspiegels, erfolgt eine Vegetationsänderung über die schleichende Umwandlung von Wäldern hin zu einer Steppenvegetation. Die dritte, vor allem im tropischen Lateinamerika anzutreffende Form der Entwaldung durch das ARAL-SEE-SYNDROM, umfasst die Erschließung bisher nicht oder nur schwer erreichbarer Regionen, über den zur Errichtung der Staudämme notwendigen Straßenbau (WBGU 1997; QUESTIONS 1998; Cassel-Gintz et al. 1999). Wie bereits im Rahmen des RAUBBAU-SYNDROMS beschrieben führt die Erschließung einerseits zu einem Zuzug von landlosen Kleinbauern, die über Brandrodungswanderfeldbau Wälder zerstören, andererseits aber auch zur Konversion von Wäldern als Spekulationsobjekte durch reiche Großgrundbesitzer.

So erhält man nach brasilianischen Recht durch die Konversion von Wälder zur land- oder viehwirtschaftlichen Nutzung einen Landtitel für die „kultivierten“ neuerschlossenen Flächen. Dadurch werden große Regionen Brasiliens in immer stärkeren Maße durch einige wenige Großgrundbesitzer kontrolliert. Das ARAL-SEE-SYNDROM wirkt in diesem Zusammenhang als ein Auslöser, also als ein Expositionsfaktor, für das SAHEL-SYNDROM, das die Transformation geschlossener Waldflächen durch die die Ausweitung von Subsistenzlandwirtschaft unter ländlichem Armuts- und Bevölkerungsdruck beschreibt, und für das DUST-BOWL-SYNDROM, dass die großflächige Umwandlung von Waldflächen zu landwirtschaftlichen Nutzflächen mit anschließender gewinnorientierter „Cash-Crop-“ (z. B. Ölpalmpflanzungen) oder intensiver Weidenutzung beschreibt.

5.6 Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen - Das HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM

Das Syndrom beschreibt eine anthropogenen Nutzung der Ökosphäre als Senke für verteilbare Schadstoffe. Es beschreibt die Fernwirkung von stofflichen Emissionen nach Entsorgung in die Umweltmedien Wasser und Luft (WBGU 1997). Die Umweltdegradation erfolgt über weiträumige, diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen mit der Intention einer Diffusion der Schadstoffe in den Umweltmedien Luft und Wasser, wodurch die Toxizität auf eine unschädliches Maß reduziert werden soll. So werden durch Schornsteine Luftschadstoffe nicht beseitigt, sondern das Problem lediglich auf andere, industriefernere Bereiche verlagert. Dies gilt in einem ähnlichem Maße für die „Entsorgung“ von Produktionsrückständen und Schadstoffen über den Abwasserpfad und vor allem die Emission von Treibhausgasen. Die emittierten Schadstoffe wirken dann in anderen Regionen direkt auf Lebensgemeinschaften oder reichern sich im Ökosystem an. In der Umweltwirkung kann grundsätzlich unterschieden werden, ob die Schadstoffe nach Verteilung in der Umwelt direkte Wirkungen auf die Lebensgemeinschaften entfalten, oder ob sie sich über Bioakkumulation anreichern. Da dieses Muster weltweit verbreitet ist und für verschiedene Umweltmedien gleichzeitig gilt, kommt ihm eine relativ hohe globale Relevanz zu. Beispiele sind die Verteilung von Luftschadstoffen durch den Bau von hohen Schornsteinen oder auch die Einleitung von flüssigen Schadstoffen in Meere oder Fließgewässer.

Diese Prozesse führten im Bereich der Mittel- und Osteuropäischen Wälder, aber auch in Industrieregionen Chinas und Russlands (z. B. die Region Norilsk) zu großen Schäden. Dabei werden Ökosysteme über eine Verminderung der biologischen Vielfalt im Zug von Schwefelemissionen in ihrer ökologischer Struktur und Leistung beeinträchtigt, was zu einer Reduktion von Wäldern und Feuchtgebieten führt. Dieses, in der Öffentlichkeit als „Saurer Regen“ bekannte Phänomen (EK 1994), führte Anfang der 70er Jahre zu einem ersten spürbaren Erwachen des Umweltschutzgedankens in Deutschland. Die Bilder über die kahlen Gipfel des Erzgebirges hatten eine signalgebende Wirkung auf die Perzeption von Umwelt in der deutschen Öffentlichkeit. Die Waldschädigungen, die durch dieses Syndrom hervorgerufen werden, erfolgen vor allem über die Bioakkumulation von Schwefel- und Stickstoffverbindungen aus dem Ferntransport von Schadstoffen. Entscheidend ist hier das

Phänomen der *Bodenversauerung*. Säuren und Säurebildner, die in Folge von Troposphärenverschmutzung und der Verschmutzung von Fließgewässern durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen eingetragen werden, bewirken im Boden Nährstoffverluste durch verstärkte Auswaschprozesse und die Freisetzung von ökotoxischen Stoffen. Die wichtigsten Bereiche für die anthropogenen Emissionen dieser Stoffe sind die Energiewirtschaft mit ihren Kraft- und Fernheizwerken, der Verkehr sowie die Landwirtschaft. Zudem trägt die Zufuhr der säurebildenden Nährstoffe Ammonium und Nitrat zur Eutrophierung durch ein Stickstoffüberangebot bei.

5.7 Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer

Ressourcen - Das KATANGA-SYNDROM

Dieses Muster ist eng mit Bergbau und Prospektion verbunden und beschreibt die Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen (WBGU 1994, 1997) und ist eines der ältesten Schädigungsmuster. Der Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen über- und untertage gehört seit der Eisenzeit zu den typischen wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen, die lokal und regional zu Ökosystemzerstörungen führte. Der Name des Syndroms leitet sich von der Beispielregion für den Syndrommechanismus ab, der Provinz Katanga im Südosten der Demokratischen Republik Kongo. Diese Region gilt als eines der reichsten Bergbaugebiete der Erde mit umfangreichen Vorkommen von Kupfer, Kobalt, Zinn, Uran, Mangan und Steinkohle. Die überwiegend im Tagebau erfolgende Exploitation dieser Bodenschätze führt zu einer größtenteils unwiederbringlichen Zerstörung der beteiligten Ökosysteme.

Beispiele für das Auftreten dieses Syndroms sind weit verbreitet, vor allem in jenen Regionen in denen Kohle und Erze im Tagebau abgebaut werden. Es sind unter anderem hier der Braunkohleabbau in der Niederlausitz oder der Kohletagebau in den östlichen USA (Appalachen) zu nennen. Weitere Beispiele sind Zentren des Erzabbaus wie *Carajás* im brasilianischen Bundesstaat *Pará* (Eisenerz, Aluminium), *Bougainville* in Papua-Neuguinea (Kupfer) und *Bingham Canyon* in Utah, USA (Kupfer). Im Allgemeinen erfolgt der Bergbau zwar meist nur temporär über einige Jahrzehnte hinweg, allerdings hinterlässt er fast überall dauerhafte, zum Teil irreversible Schäden an der Umwelt. Diese Maßnahmen zur Gewinnung von nicht erneuerbaren Rohstoffen (Kohle Öl, Gas, Edelsteine, Erze etc.) tragen in geringerem Ausmaß auch zur weltweiten Waldvernichtung bei. Einerseits wird der „störende“ Wald über den Rohstoffquellen einfach abgeräumt, wobei der möglicherweise erzielte Gewinn aus dem Holzverkauf teilweise noch als ein Nebenprodukt in der ökonomischen Rechnung der Firmen erscheint, und das Ökosystem somit völlig zerstört. Andererseits schlägt auch in diesem Muster die infrastrukturelle Erschließung in einem ähnlichen Ausmaß wie beim ARAL-SEE-SYNDROM durch. Auch hier kommt es vor allem in Entwicklungsländern mit einem hohen Anteil an verarmter, chancenloser Landbevölkerung, zu einer unregelmäßigen landwirtschaftlichen Nutzung der für den Rohstoffabbau erschlossenen Regionen. Da dies auch meist auf marginalen Standorten in tropischen Waldregionen stattfindet, fungiert dieses Muster auch als eine Exposition für das SAHEL- und DUST-BOWL-SYNDROM.

6 Aggregierte Gefährdung der Waldökosysteme

In diesem Kapitel soll die vorgestellte Teildynamik des GW in Form der sieben diskutierten Syndrome genutzt werden, um eine zusammenfassende Gesamtschau einer Gefährdung von Waldökosystemen zu geben. Hierbei erfolgt eine Analyse der Beziehungsgeflechte aller sieben zum Kernproblem beitragenden Ursache-Wirkungsmuster. Eine aggregierte Bewertung der aktuellen Schädigung und zukünftigen Gefährdung der Waldökosysteme wird basierend auf den Dispositions- und Intensitätsbestimmungen der drei Hauptsyndrome vorgenommen. Die resultierenden komplexen Gefährdungsindizes stellen, räumlich explizite, globale Abschätzungen der Schädigungs- und Gefährdungslage der Waldökosysteme dar. Bisherige Untersuchungen betrachteten die Waldökosysteme entweder nur kontinental beschreibend (Herkendell & Pretzsch 1995; FAO 1997, 1999; Brown et al. 1999) oder, wie die Studie der *Frontier Forest Initiative* (WRI 1997), nur auf die Primärwälder bezogen. Des Weiteren liegt eine Fülle von regionalen Fallstudien (Miller 1991; Diem 1993; Heilig 1994; Verissimo et al. 1995; Kahn & McDonald 1995; Wunder 1997; Walker & Homma 1996; Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997; Rudel & Roper 1997; Parayil & Tong 1998; Stone 1998; Soltwedel-Schäfer 1997; Greenpeace 1998; Scholz I. 1999; Nepstad et al. 1999; etc.) vor, die jedoch meist nur eine relativ kleine Region oder nur ein typisches Entwaldungsmuster beschreiben.

6.1 Analyse der Syndrommechanismen

Die Entwaldung hat vor allem auf Grund ihrer die natürlichen Regenerationszeiten überschreitenden Geschwindigkeit eine nicht-nachhaltige Dimension. Neben der bedeutenden Rolle der Wälder in den biogeochemischen Stoffkreisläufen trägt dieses Kernproblem auch durch den großen Biodiversitätsverlust in den tropischen Regionen zu einer nicht-nachhaltigen Entwicklung bei. Durch eine gemeinsame Betrachtung der in den syndromspezifischen Beziehungsgeflechten dargestellten Mechanismen, können die einzelnen, hauptsächlich zu diesem Entwicklungspfad beitragenden nicht-nachhaltigen Subdynamiken im Hinblick auf ihre Auslöser und Triebkräfte untersucht werden. Diese Betrachtung der Beziehungsgeflechte der an der globalen Entwaldung beteiligten Syndrome zeigt, dass der *Anspruchsteigerung* und der *Ausbreitung westlicher Konsum und Lebensstile* eine bedeutende Rolle in diesem Zusammenhang zukommt. Dies führt zu einem *zunehmenden Verbrauch von Energie und Ressourcen* für eine nachholende Entwicklung die in den Entwicklungs- und Schwellenländern. In vielen Fällen führt dies direkt, in anderen Fällen indirekt über eine Erschließung von nicht biotischen Ressourcen (z. B.: Bodenschätze), zu einer *Übernutzung* und *Konversion von Ökosystemen*. Die *Anspruchsteigerung* verursacht in den entwickelten Industrienationen einen *zunehmenden Verbrauch von Energie und Ressourcen* und induziert ein Anwachsen des Konsums mit einem Anstieg des Ressourcenverbrauch, der Verschmutzung von Luft, Wasser und Böden und schließlich einer *Schädigung* und *Konversion von Ökosystemen*.

Eine weitere in verschiedenen Syndrommechanismen auftretende Entwicklung ist das Versagen der politischen Entscheidungsträger: Korruption, die nur sehr kurzfristig ausgerichtete Politik sowie spezielle wirtschaftspolitische Präferenzen (z. B. ein *urban bias*, unangemessene Exportorientierung der Wirtschaft, ein die Ressourcenplünderung förderndes Landrecht, die Nichtberücksichtigung der Rechte von indigenen Völkern und Minderheiten, etc.) konstituieren ein politisches Umfeld das eine *Übernutzung* und *Konversion von Ökosystemen* begünstigt. Diese Prozesse werden zunehmend durch den Einfluss multinationaler Konzerne und ausländischer Regierungen über die zunehmende *Globalisierung der Märkte* noch weiter verstärkt. Oftmals sind die lokalen Regierungen über diesen externen Druck des globalen Marktes und durch *internationale Verschuldung* regelrecht gezwungen, eine die Ressourcen übernutzende Politik zu betreiben. Neben der individuellen Verarmung führt vor allem auch eine Staatsverschuldung, verknüpft mit der *Ausweitung internationaler Disparitäten*, zu einer zunehmenden Ressourcenexploitation. Oftmals kann angesichts der dringlichen, aktuellen Probleme der Entwicklungsländer keine Rücksicht auf mittel- bis langfristige Schädigungen genommen werden.

Neben diesen nicht-nachhaltigen Entwicklungen lassen sich aus den Beziehungsgeflechten aber auch problemabschwächende Mechanismen und Symptome identifizieren. Diese Elemente gilt es zu stärken, um eine Veränderung zu erreichen. In unseren reichen Industrienationen des Nordens ist eine Veränderung des Konsumverhaltens anzustreben. Die Präferenz zertifizierter, also umweltschonend erzeugter und „fair“ gehandelter Ware gegenüber billigen Massenprodukten aus Raubbau oder umwelterstörendem Anbau gilt es zu fördern. Dies erfordert einen grundlegenden Wertewandel in unserer Gesellschaft. Die nicht-nachhaltige Sicht von Natur als ubiquitärem und meist „kostenlosem“ Produktionsfaktor muss über die Einbeziehung von Folgekosten umweltschädlichen Handels in die Produktionskosten grundlegend verändert werden. Ansätze einer Monetarisierung der Ökosystemleistungen, wie z. B über die Berücksichtigung und Bewertung der Senken- und Quellenfunktion der biogeochemischen Stoffkreisläufe (als Beispiel sei hier nochmals auf Costanza et al. [1997] verwiesen), sind hierbei Schritte in die richtige Richtung. Eine öffentliche und wissenschaftliche Debatte zur ethischen und moralischen Bewertung dieser Monetarisierung ist dringend erforderlich. In den von den direkten und indirekten Folgeschäden dieses Handels betroffenen Entwicklungsländern sind neben dem Umweltschutzgedanken und NROs, vor allem demokratische Institutionen und Entwicklungen zu stärken. Allerdings muss hier bedacht werden, dass eine verstärkte Demokratisierung auch die Rolle von Lobbies stärkt, die ökonomische Interessen vor einen ressourcenschonenden Umgang mit der Natur stellen können. Mit Hilfe eines *verstärkten Technologietransfers* neuer, schonender Produktionsverfahren, die die heute eingesetzten, technologisch meist überholten Verfahren ersetzen könnten, dürfte eine Verbesserung der Situation erlangt werden. Zusammen mit einem *Schuldenerlass* könnten diese Entwicklungen zur Verbesserung der ökonomischen Lage der Entwicklungsländer beitragen und einen schonenderen Umgang mit Ressourcen wie den Waldökosystemen führen.

6.2 Syndrombasierte aggregierte Gefährdungsindikatoren

Ausgehend von den im vorhergehenden Kapitel vorgenommenen Syndromanalysen für das RAUBBAU-SYNDROM, das SAHEL-SYNDROM und das DUST-BOWL-SYNDROM wird im Folgenden eine aggregierten Abschätzung der Gefährdungslage globaler Waldökosysteme vorgenommen (Cassel-Gintz & Petschel-Held 2000). Grundlage für der Gefährdungs- und Schädigungsindikatoren sind die Intensitäten und Dispositionen der Syndrome, die in verschiedenen waldgefährdenden Kombinationen bewertet werden.

6.2.1 Die aggregierte Gesamtgefährdung der Waldökosysteme

Die Abschätzung der Gesamtgefährdung von Wäldern ergibt sich aus der Kombinationen der einzelnen Syndrom-Dispositionen. Diese Gesamtgefährdung liefert analog zu der Disposition eines Syndroms eine Bewertung der Möglichkeit, dass einzelne oder mehrere Syndrommechanismen aktiv werden können. Sie umfasst damit sowohl bisher noch nicht geschädigte Regionen, als auch Regionen, in denen eine Schädigung im für die Daten relevanten Zeitraum von ~ 30 Jahren bereits erfolgt ist. Die dieser Abschätzung zu Grunde liegende Frage ist: In welchen Regionen können Wälder prinzipiell durch das mögliche Auftreten eines oder mehrerer Hauptsyndrome der Entwaldung geschädigt werden? Hier wird zunächst nicht unterschieden, ob einzelne Syndrome bereits aktiv sind (siehe Abschnitt 6.2.2) oder durch den Eintritt besonderer Expositionen der Syndromausbruch unmittelbar bevorsteht (siehe Abschnitt 6.2.3).

Analog zur Dispositionsbestimmung für ein einzelnes Syndrom, drückt der aus den aggregierten Dispositionen erzeugte Indikator, GI , die potentielle Anfälligkeit einer Region gegenüber dem Auftreten eines oder mehrerer der drei Haupt-Ursache-Wirkungsmuster der Entwaldung und Waldschädigung aus. Diese indirekte, durch die generelle Möglichkeit der Aktivierung der Syndrommechanismen gegebene Gefährdung liegt vor, wenn, eine hohe Disposition für ein oder mehrere Syndrome vorliegt. Ist eine Region gleichzeitig für mehrere Syndrome disponiert, ist von einer Gefährdung auszugehen, die höher ist als bei der Disposition gegenüber nur einem Syndrom. Allerdings kann der Zugehörigkeitswert zur „hohen aggregierten Gesamtgefährdung“, μ_{hoch}^{GI} , nicht größer 1 sein, d. h. durch die Synergie kann der Gesamtindikator höchstens den Wert 1 annehmen. Der synergistische Effekt wird hier mit Hilfe eines Lukasiewicz-ODER Operators (\vee) formalisiert. Hierbei werden die einzelnen Zugehörigkeitswerte für die Dispositionen addiert, und, sofern die Summe größer ist als 1, abgeschnitten (Gleichung 32). Der resultierende Gesamtgefährdungsindikator GI ist in Abbildung 38 dargestellt.

$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{GI} &= \mu(RD \vee SD \vee DD) \\ \mu_{hoch}^{GI} &= \min \{ \mu_{hoch}^{RD} + \mu_{hoch}^{SD} + \mu_{hoch}^{DD}, 1 \} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 32}$$

wobei: RD = Disposition des RAUBBAU-SYNDROMS, SD = Disposition des SAHEL-SYNDROMS und DD = Disposition des DUST-BOWL-SYNDROMS

6.2.1.1 Diskussion der räumlichen Verteilung des Gesamtgefährdungsindikators – GI

Generell erscheinen fast alle verbliebenen Waldgebiete als indirekt gefährdet durch eines oder mehrere der Hauptentwaldungssyndrome. Ausnahmen in Eurasien bilden die nördliche Baumgrenze Skandinaviens, einige Regionen in Japan sowie die nur schwer zugänglichen Regionen Nord- und Ostsibiriens. Bei letzteren wurden nur sehr geringe Einzeldispositionen indiziert. Nur vom RAUBBAU-SYNDROM ist in diesen Regionen eine geringe bis mittlere Gefährdung angezeigt. Auch die Wälder Nordamerikas sind weniger stark gefährdet. In den schwer zugänglichen und nur bedingt nutzbaren Gebirgs- und nördlichen Permafrostregionen besteht nur eine mögliche Gefährdung durch den Holzeinschlag.

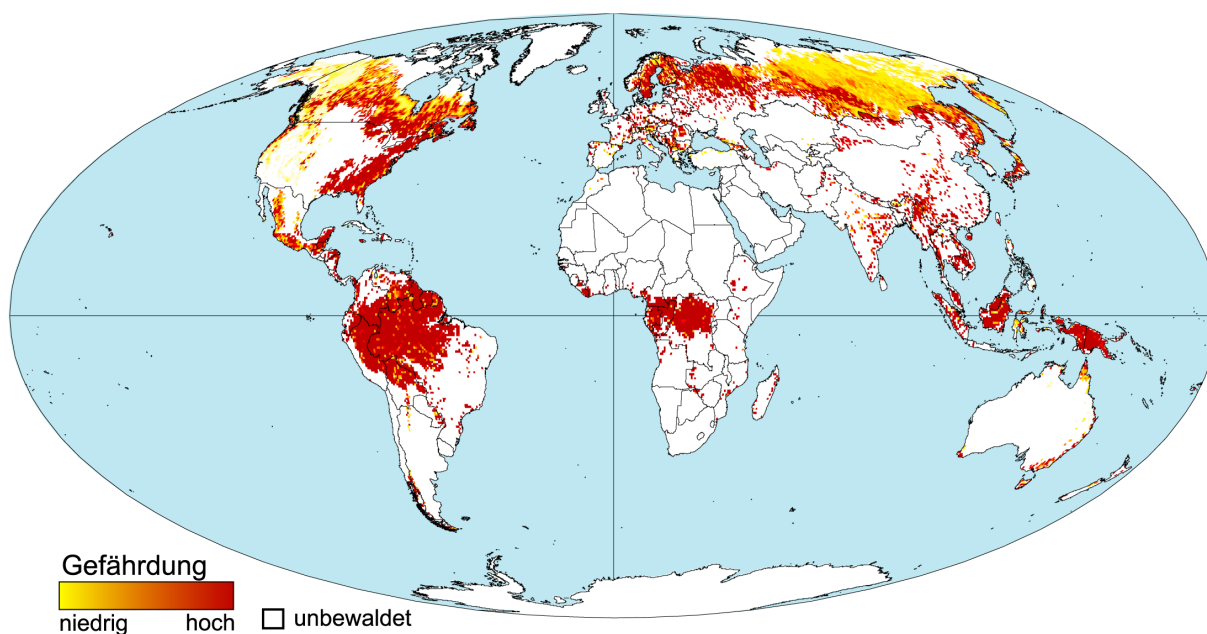


Abbildung 38: GI - indirekter Gesamtgefährdungsindikator durch Hauptsyndrome der Entwaldung.

6.2.2 Abschätzung der aktuellen Schädigung und Gefährdung der Waldökosysteme

Die gegenwärtig in einer Region aktiven, zur Waldkonversion oder Schädigung beitragenden Syndrome erzeugen eine aktuelle Schädigung und Gefährdung der regionalen Waldökosysteme. Hierbei kann auf Grund der zeitlichen (Daten über einen Zeitraum von mehreren Jahren) und räumlichen Auflösung ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$ Raster) nicht unterschieden werden, ob eine Schädigung gerade vonstatten geht oder unmittelbar bevorsteht, d. h. die Waldgebiete einer Region also aktuell gefährdet sind. Diese aktuelle Schädigung und Gefährdung wird über die Einschätzungen der derzeitigen Aktivität der Syndrome ausgedrückt. Die dieser Abschätzung zu Grunde Frage ist: Wo wird aktuell Wald zerstört oder geschädigt?

Die Intensitätsbestimmungen von RAUBBAU-SYNDROM, SAHEL-SYNDROM und DUST-BOWL-SYNDROM stellen die Grundlage zur Erzeugung des aktuellen Gefährdungs- und Schädigungsindikators der Waldökosysteme, AGI, dar.

6.2.2.1 Datenunsicherheit

Auf Grund von Datenlücken konnte für eine Reihe von Ländern keine Berechnungen für die Intensitäten des RAUBBAU- und des SAHEL-SYNDROMS erzeugt werden. In Folge dessen ist der auf den Intensitätsberechnungen basierende aktuelle Schädigungs- und Gefährdungsindikator *AGI* für diese Länder mit einer Unsicherheit versehen. Diese Datenunsicherheit wird beim Fehlen von zwei Ausgangsindikatoren als hoch, beim Fehlen nur eines Elements als mittel angesehen (Abbildung 39). Um trotz dieser Unsicherheit eine Aussage über die aktuellen Gefährdung geben zu können, wird bei dem im Folgenden vorgestellten Indikator *AGI* jeweils eine obere und untere Abschätzung vorgenommen, welche somit die Grenzen des möglichen Intervalls von *AGI* bildet. Für die untere Abschätzung wird anstelle der fehlenden Daten für die einzelnen Syndromintensitäten jeweils kein aktives Syndrom, also Intensitätswert 0, angenommen, für die obere das Maximum der möglichen Syndromintensitäten, der Wert 1. Die auf Grund der Datenlücken in diesen Regionen nicht bestimmbar sinden Syndromintensitäten müssen zwischen diesen Grenzen liegen.

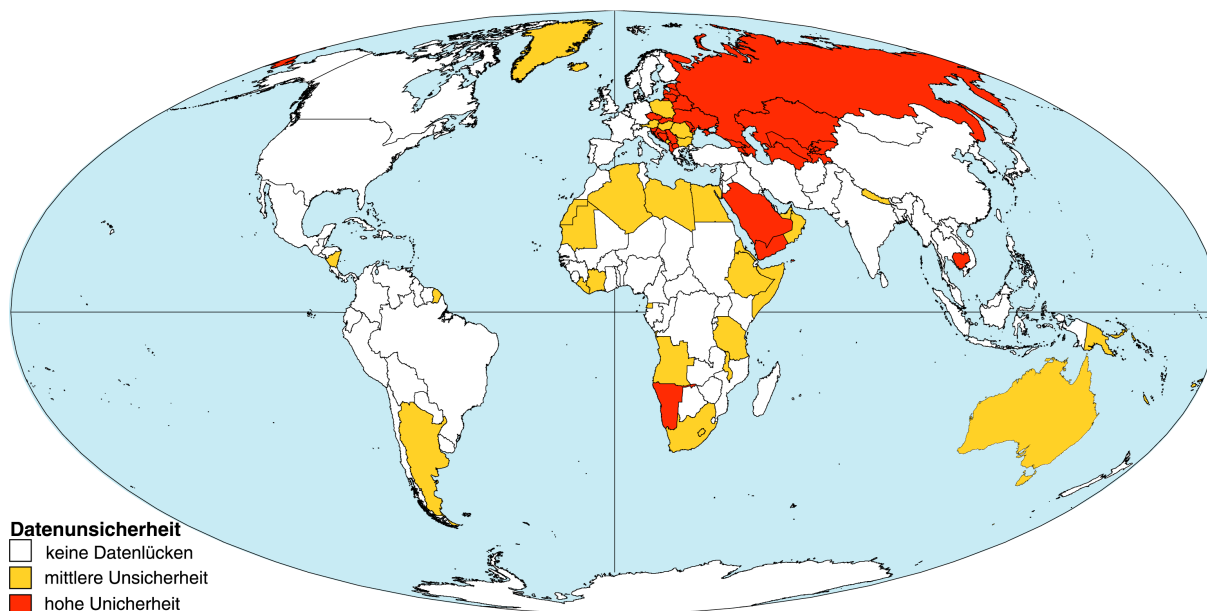


Abbildung 39: Datenunsicherheit des aktuellen Waldgefährdungs- und Schädigungsindicators - *AGI*.

6.2.2.2 Berechnung des aktuellen Gefährdungsindicators - *AGI*

Die Intensitäten der gegenwärtig in einer Region aktiven Syndrome tragen zur aktuellen Schädigung und Gefährdung der Wälder bei. Ist ein Syndrom aktiv, so findet eine aktuelle Schädigung statt. Sind gleichzeitig mehrere Syndrome aktiv, so ist auch hier, analog zum *GI*, von einer Schädigung auszugehen die höher ist als die der einzelnen Intensitäten.

Auch für den Zugehörigkeitswert zur „hohen aktuellen Waldschädigung und -gefährdung“, μ_{hoch}^{AGI} , wird der synergistische Effekt der Gefährdung mit Hilfe eines Lukasiewicz-ODER Operators ($\dot{\vee}$) formalisiert. Dieser verstärkende Effekt beim Auftreten mehrerer Entwicklungsmuster wird auch in der Literatur (z. B. Barber 1998) beschrieben und ist in Gleichung 33 dargestellt.

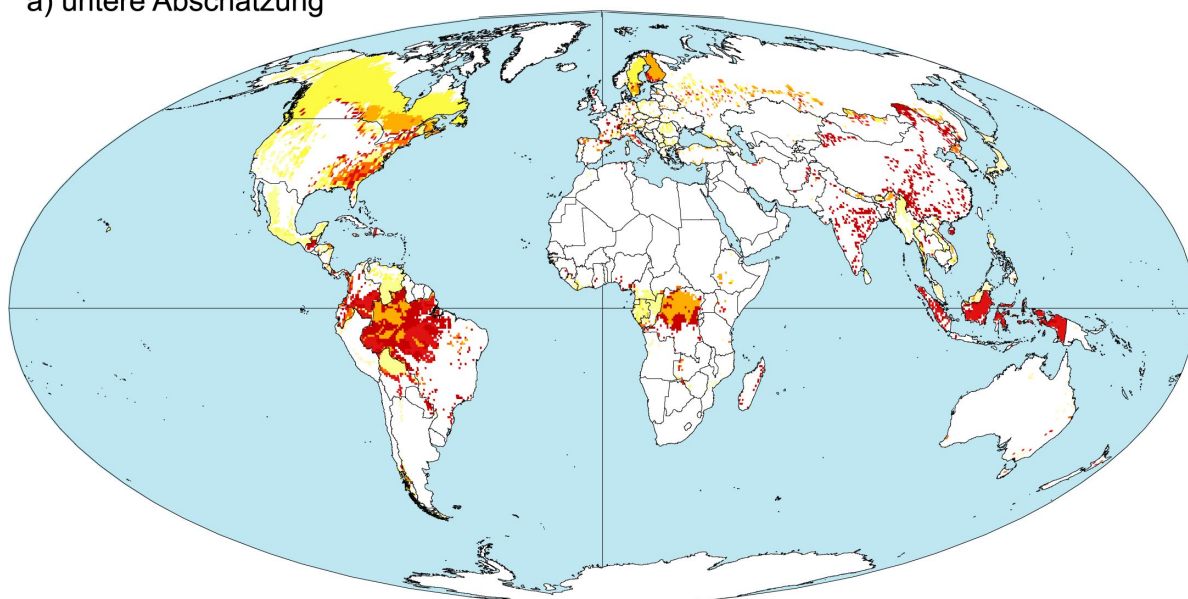
$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{AGI} &= \mu (RI \ddot{\vee} SI \ddot{\vee} DI) \\ &= \min\{\mu_{hoch}^{RI} + \mu_{hoch}^{SI} + \mu_{hoch}^{DI}, 1\} \end{aligned}$$

Gleichung 33

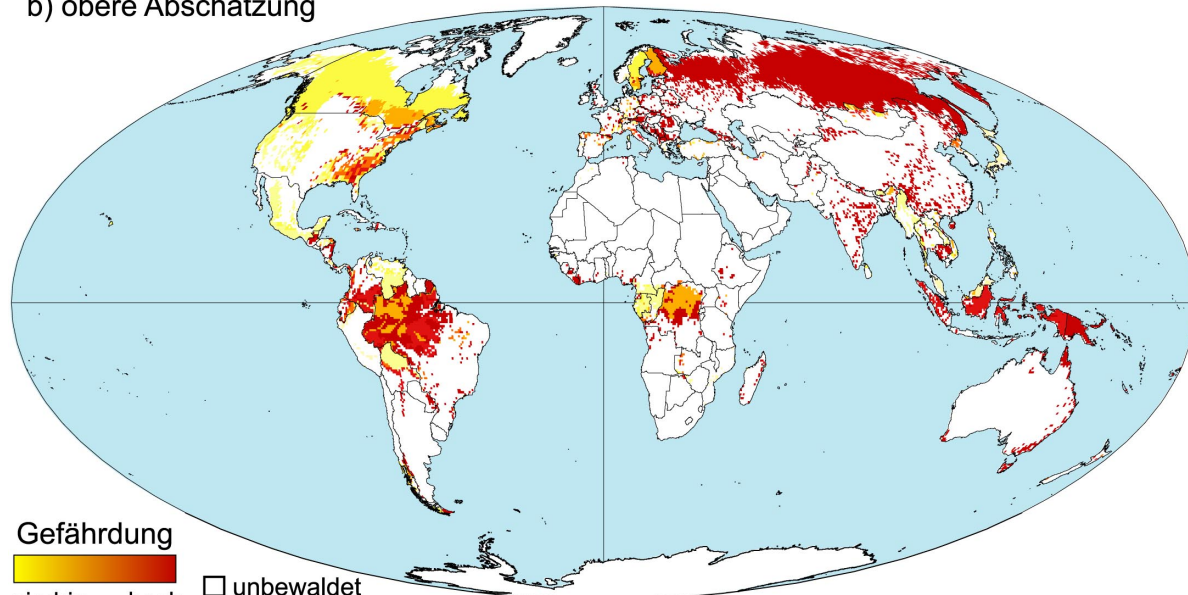
wobei: *RI* = Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS, *SI* = Intensität des SAHEL-SYNDROMS und *DI* = Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS

Der resultierende aktuelle Gefährdungsindikator, *AGI*, ist in den Karten in Abbildung 40 für die untere und obere Abschätzung der aktuellen Waldgefährdung dargestellt. In der unteren Abschätzung werden die Datenlücken mit 0, also kein syndromspezifischer Druck auf die Waldökosysteme, angenommen. Dies führt zu einer optimistischen Bewertung der realen Situation. Die obere Abschätzung stellt, da hier die fehlenden Syndromintensitäten mit dem Wert 1 ersetzt werden, eine pessimistische Einschätzung der Lage der Wälder dar.

a) untere Abschätzung



b) obere Abschätzung




Gefährdung
 niedrig hoch unbewaldet

Abbildung 40: *AGI* - aktueller Schädigungs- und Gefährdungsindikator in Bezug auf die globalen Waldgebiete; a) untere Abschätzung; b) obere Abschätzung.

6.2.2.3 Diskussion der räumlichen Verteilung des aktuellen Schädigungs- und Gefährdungsindikators – AGI

Der syndrombasierte aktuelle Schädigungs- und Gefährdungsindikator für Waldökosysteme wird mit Resultaten aus der Expertenbefragung der *Frontier Forest Initiative* des WRI (1997) zur Gefährdungslage der Primärwälder, FAO-Regionaleinschätzungen und weiteren Fallstudienresultaten verglichen. Die WRI-Befragung regionaler Experten zu Umfang und Gefährdung der global verbliebenen Primärwälder stellt die bisher einzige räumlich explizierte Analyse der Gefährdung von Waldökosystemen auf globaler Basis dar. Die Primärwaldstudie wird aus diesem Grund als Hauptvergleichs- und Verifikationsmöglichkeit für AGI (Abbildung 40) herangezogen. Aus der *Frontier Forest Initiative* entstand die *Global Forest Watch* (GFW) Forschungsgruppe, deren neueste Ergebnisse (GFW 2000) darauf hindeuten, dass der Indikator der *Frontier Forest Initiative* in vielen Regionen die Gefährdung der Primärwälder unterschätzt. Diese aktuellen Einschätzungen wurden mit Hilfe von Satellitendaten gewonnen und GIS-gestützt ausgewertet. Allerdings weisen neuere Forschungsergebnisse aus Amazonien (Nepstad et al. 1999) nach, dass die satelliten- und luftbildbasierte Einschätzung der Entwaldungsprozesse die eigentliche Schädigung der Waldökosysteme durch selektierten Einschlag stark unterbewertet, was diese Form der Datenerhebung nur für Formen der großflächigen Rodung (*clear cut*) anwendbar macht.

Grundlegende Unterschiede in der Einschätzung der verschiedenen Bewertungen der Waldgefährdungen sind die differenziertere Einstufung der Schädigung und Gefährdung im AGI, gegenüber einer teilweise besseren räumlichen Auflösung der WRI-Expertenbefragung. Der größte Nachteil der WRI-Studie liegt in der Tatsache, dass hier nur diejenigen Primärwälder berücksichtigt wurden, die in ihrer Abmessung groß genug sind um natürlichen Störungen Stand halten zu können. Im Gegensatz dazu wird in den syndrombasierten Gefährdungsindikatoren allen als Wald ausgewiesenen Rasterzellen (Auflösung $0.5^\circ \times 0.5^\circ$) eine Gefährdungsabschätzung zugewiesen, d. h. der Blickwinkel wird von den Primärwäldern auf die als zunehmend wichtiger eingeschätzte Entwaldung in den Sekundärwäldern (FAO 1999) ausgeweitet.

Die globale Gefährdungslage der Primärwälder wird in der WRI-Studie (1997) als sehr hoch eingestuft. Wie aus Abbildung 41 ersichtlich, werden ~ 39 % der noch verbliebenen Primärwälder mit einer mittleren oder hohen Gefährdung eingestuft. In der ersten Spaltengruppe des Diagramms wird eine kontinentale und globale Einschätzung des Anteils von Primärwäldern mit einem mittleren und hohen Gefährdungsgrad abgegeben. Gründe für diese Gefährdung werden in den nächsten Spalten angegeben, wobei neben dem direkten Holzeinschlag die landwirtschaftlichen Aktivitäten und die infrastrukturelle Erschließung angeführt werden. In der Kategorie „Andere“ ist vor allem der Brennholzbedarf inklusive der Holzkohlegewinnung enthalten. Die hier angeführten „Entwaldungsgründe“ finden sich auch in den Kausalmustern der Syndrome wieder. In der syndrombasierten Analyse werden sie allerdings hinsichtlich ihrer grundlegenden Voraussetzungen, Triebkräfte und typischen Interaktionen noch genauer aufgelöst.

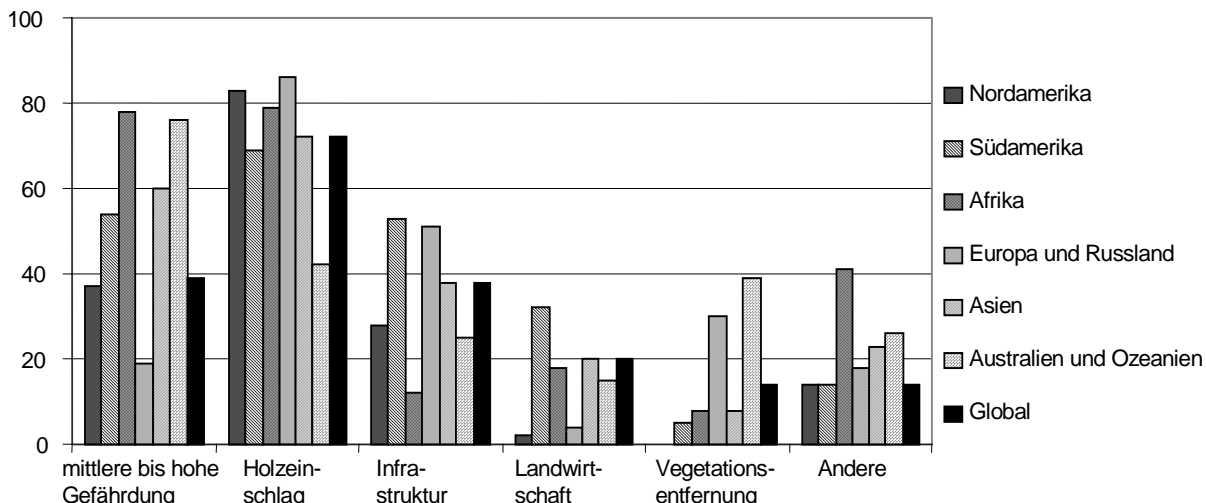


Abbildung 41: Prozentuale Gefährdung der globalen Primärwälder (Daten: WRI 1997).

Europa und Russland

Die Wälder Westeuropas sind als aktuell eher nicht gefährdet einzuschätzen. Das durch die EU - Agrarpolitik bedingte aktive DUST-BOWL-SYNDROM (Kap. 5.3) ist hier nicht als waldgefährdend anzusehen, da es zu keiner neuen Konversion von Waldgebieten kommt. Im Gegenteil: Auf Grund von Flächenstilllegungen in den letzten Jahren ist ein Zuwachs der Waldfläche zu verzeichnen (FAO 1997, 1999). Für das RAUBBAU-SYNDROM wird auch nur für Teile der Region eine Intensität angegeben, die vor allem in den skandinavischen Ländern angezeigt wird (Kap. 5.1). Eine Bedrohung und Schädigung der Wälder geht hier eher von einer von der Forstwirtschaft geförderten Artenverarmung und von der Schädigung durch die Bioakkumulation von Schwefel- und Stickstoffverbindungen durch Ferntransport („Saurer Regen“) aus. Dieser Prozess ist als Teil des HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROMS anzusehen (WBGU 1997). Die stark genutzten Wälder Fennoskandiens sind in noch stärkerem Maße durch die schleichende Konversion zu Monokulturen bedroht (Greenpeace 1998). Hier sowie in den Wäldern Osteuropas und Russlands, ist es auch zu starken Waldschädigungen im Zuge des HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROMS gekommen.

Die Wälder Osteuropas und Russlands sind vor allem auf Grund der schlechten ökonomischen Situation und der hohen Korruption der Verwaltungen von intensivem Holzeinschlag bedroht (Greenpeace 1998; WRI 1997). Die Aussage des *AGI* für Russland und die ehemaligen Comecon-Staaten stellt nur eine obere, pessimistische Abschätzung dar, da in dieser Region aus Datenmangel sowohl für das RAUBBAU- als auch das SAHEL-SYNDROM keine Intensitätsberechnungen vorliegen. Andere Quellen (Greenpeace 1998; FAO 1999) schätzen die Situation der Wälder vor allem in Russland als sehr bedrohlich ein. Die borealen Nadelwälder Sibiriens werden mit Hilfe modernster Harvester-Technik großflächig abgeholzt (Shvidenko et al. 1992; Shvidenko & Nilsson 1994). Hier ist insbesondere auch ausländisches Kapital im Einsatz. Ein zunehmender Teil der Produktion geht nach Japan und Südkorea. Vom jährlichen Einschlag von ~ 4 Mio. ha Taiga pro Jahr entfällt die Hälfte auf industrielles „*Clear Cutting*“, wobei etwa 40 % des geernteten Holzes als Abfall verloren geht. Eine weitere Bedrohung geht von anthropogen verursachten, außer Kontrolle

geratenen Waldbränden aus, die jährlich weitere 1 - 2 Mio. ha Wald vernichten (Shvidenko & Nilsson 1994; IIASA 1994).

Asien

Der syndrombasierte Schädigungs- und Gefährdungsindikator zeigt im kontinentalen Asien vor allem in Afghanistan, Pakistan, Indien, China, Nordkorea und Kambodscha einen hohen Wert an. In diesen Ländern sind alle drei Syndromintensitäten mit mittlerer bis hoher Stärke berechnet (Kap. 5). In Nepal kann durch *AGI* eine mittlere Schädigung und Gefährdung konstatiert werden. Die geringe aktuelle Schädigungs- und Gefährdungseinschätzung der Wälder Malaysias kann darauf zurückgeführt werden, dass die Welle der malaiischen Entwaldung bereits zu Anfang der 70er Jahre massiv einsetzte und zum Zeitpunkt der Bestimmung der Indikatoren nicht mehr, oder nur noch sehr schwach aktiv war (George 1999), was auch durch den niedrigen Intensitätswert des RAUBBAU-SYNDROMS bestätigt wird. Die hohen *AGI* Einschätzung der Waldgebiete Indonesiens lassen sich hier auf einen hohen Wert für das RAUBBAU-SYNDROM und einen mittleren für das DUST-BOWL-SYNDROM zurück führen.

Nach Einschätzungen der FAO (1997) unterliegen die Wälder Asiens zwei verschiedenen Formen der Veränderung von etwa gleicher Stärke, zum Einen eine langsame Konversion durch die Intensivierung und Ausweitung von Wanderfeldbau, hervorgerufen von einem steigenden ländlichen Bevölkerungsdruck und andererseits eine rasche, abrupte Konversion durch zentralgesteuerte Prozesse, wie staatliche Migrationsprogramme und das Anlegen großer Monokulturplantagen. Eine weitere bedeutende Komponente der Entwaldung stellt hier die Brennholznutzung dar (Friedman & Friedman 1988). Die eigentliche Stammholznutzung ist eher in den Hintergrund getreten, da die meisten ökonomisch verwertbaren Wälder bereits ausgebeutet wurden. Die asiatischen Holzkonzerne drängen mittlerweile verstärkt nach Südamerika und Sibirien vor.

Die Wälder Indonesiens waren in den letzten Jahren durch die großen Brände im Blickpunkt der Öffentlichkeit. Ausgelöst wurden diese Waldbrände größtenteils durch illegale Brandrodung für Anbauflächen von „*Cash crops*“, vor allem für große Ölpalmpflanzungen (Barber 1998; George 1999). Weiter verstärkt wurden diese außer Kontrolle geratenen Brände durch langanhaltende, intensive ENSO Ereignisse und die daraus resultierenden Trockenheiten. Nach Angaben der FAO (1999) und der GFW (2000) kam es durch die Waldbrände zu einer Steigerung der Entwaldung von 0.8 % (1980 - 1989) auf über 1 % (1990 - 1995).

Australien / Ozeanien

Fast alle Wälder in dieser Region können als aktuell geschädigt oder hoch gefährdet angesehen werden. Allerdings geht diese Einschätzung auf Grund der unzureichenden Datenlagen nur auf die Intensitätsberechnung des DUST-BOWL-SYNDROMS zurück. Ausnahmen bilden nur einige schlecht zugängliche Wälder minderer Holzqualität im Westen Australiens, sowie einige in den dichter besiedelten Regionen im Süden.

Nord- und Mittelamerika

Der syndrombasierte *AGI* (Abbildung 40), weist vor allem die Wälder der Atlantikküste, entlang des St. Lorenz Stroms sowie um die Großen Seen als aktuell geschädigt oder gefährdet aus. Mit Ausnahme von Mittelamerika ist eine mögliche Schädigung in diesen Regionen nur durch das DUST-BOWL- und RAUBBAU-SYNDROM gegeben. Weitere Regionen mittlerer bis hoher Schädigung oder Gefährdung werden in den nördlichen Waldregionen der kanadischen Prärie sowie an der Westküste angezeigt. Der Indikator des WRI (1997) stuft die Primärwälder dieser Regionen ebenfalls als hoch bedroht ein. Auf Grund der in dieser Region verbliebenen großen Primärwälder kann der WRI-Indikator in dieser Region als Vergleich herangezogen werden. Die Unterschiede in der Gefährdung sind zum Teil ein Problem der Datenauflösung, zum Teil ist nach Angaben der *Global Forest Watch* die Gefährdungseinschätzung des WRI-Indikators in Nordamerika aber auch unterschätzt (GFW 2000).

Die vom *AGI* als hoch geschädigt oder gefährdet indizierten, teilweise noch unberührten Wälder an der Westküste Kanadas werden auch von der Greenpeace Waldkampagne als hoch gefährdet eingestuft und sind Thema einer öffentlichen Debatte über den Holzeinschlag (Soltwedel-Schäfer 1997). Neben den großflächigen „*clear cuts*“, die über 80 % der Holzerzeugungsfächen in Kanada ausmachen (GFW 2000), geht die Gefährdung der Wälder Nordamerikas vor allem von der Verdrängung natürlicher Waldbestände durch strukturell und biologisch verarmte Wälder und Monokulturen aus (Schmidt 1997).

Ein deutlicher Unterschied in der Bewertung der Gefährdung zwischen dem syndrombasierten *AGI* und der WRI-Expertenbefragung (WRI 1997) tritt in Alaska auf. Diese Wälder werden in der syndrombasierten Analyse (Abbildung 40) auf Grund der geringen Biomasse; also ihres geringen ökonomischen Wertes, und der die Exploitation behindernden Permafrostböden als weniger gefährdet angesehen. Diese Einschätzung steht im Widerspruch zur WRI-Expertenbefragung (1997), wobei angenommen werden kann, dass sich hier auch der Einfluss von Minen- und Bergbauaktivitäten (KATANGA-SYNDROM) bemerkbar macht, die nicht in den *AGI* eingegangen sind.

In Guatemala sowie in den Küstenwäldern von Honduras, Nicaragua, Costa Rica und Panama zeigt der *AGI* in Übereinstimmung mit der WRI-Expertenbefragung (WRI 1997) einen hohen Wert an. Diese Regionen weisen jeweils mittlere bis hohe Intensitäten in allen drei der am aktuellen Schädigungs- und Gefährdungsindikator beteiligten Syndrome aus. In den Ländern Mittelamerikas besteht vor allem die Gefahr der Konversion von Wäldern in landwirtschaftliche Nutzflächen. Diese Flächen werden sowohl zum „*Cash crop*“-Anbau durch multinationale und US-amerikanische Konzerne genutzt, die auf eine lange Tradition der Ausbeutung und politischen Dominanz dieser Länder zurückblicken (United Fruit; Dole, etc.), als auch als Weiden für Rindfleisch von eher minderer Qualität für die amerikanische „*Fast Food*“ Industrie (Williams 1990). Letzteres wurde unter dem Namen „*Hamburger Connection*“ (Myers 1981) bekannt.

Südamerika

Der *AGI* (Abbildung 40) zeigt für die meisten Regionen Südamerikas einen hohen Wert an. Für Peru, Suriname und Guyana wird vom *AGI* keine Schädigung angezeigt, da hier auch die Einzelintensitäten als niedrig oder nicht gegeben errechnet wurden. Allerdings ist für Guyana, Suriname und auch Brasilien bekannt, dass malaysische und internationale Holzeinschlagsfirmen in jüngerer Zeit dort Einschlagskonzessionen erwarben (Rudel & Roper 1997), was auf eine aktuell höhere Schädigung oder Gefährdung hinweist und eine Verbesserung der räumlichen Auflösung einer zukünftigen Syndromdetektion für diese Länder notwendig erscheinen lässt. Im Falle Perus sind die in die einzelnen Syndromanalysen eingehenden ökonomischen Daten zu optimistisch um einen wohl bekannten Armutsdruck darzustellen, der zu einer möglichen Übernutzung führen könnte. Die Einschätzung einer hohen Schädigung oder Gefährdung für Französisch Guyana erfolgte unter Datenmangel und stellt nur die obere Einschätzung dar

Die letzten verbleibenden Regenwälder der gemäßigten Zonen Südamerikas in Argentinien und Chile sind als stark bedroht anzusehen. Mit Ausnahme des SAHEL-SYNDROMS zeigen hier auch die Einzelintensitäten mittlere bis hohe Werte an. Bereits 45 % der historischen Bewaldung Chiles wurde in Plantagen umgewandelt (FAO 1999). Hier ist vor allem die Umwandlung der teilweise einzigartigen Wälder zu Pinien- und Eukalyptusmonokulturen eine große aktuelle Schädigung (GFW 2000). Aber auch der Holzbedarf Asiens für die Papiergewinnung übt einen wachsenden Druck auf die Wälder Chiles aus. Nach Angaben der FAO (1999) wird Asien auch weiterhin die einzige Nettoimportregion für Rundholz bleiben.

Die Primärwälder Venezuelas werden auf Grund ihres hohen Artenreichtums als besonders schutzwürdig erachtet. Venezuela liegt an vierter Stelle der pflanzlichen Biodiversität und speziell der Süden des Landes gilt als einer der fünf „*Wilderness Hotspots*“ der Erde, (Iremonger et al. 1997; WCMC 1998; GFW 2000). Hier ist vor allem das RAUBBAU-SYNDROM aktiv (Kap. 5.1) Die jährliche Entwaldungsrate in der letzten Dekade war mit 1.1 % mehr als doppelt so hoch wie in den anderen Ländern Südamerikas. Laut GFW (2000) sind derzeit etwa 1/3 der Wälder Venezuelas von Konversion zu landwirtschaftlicher Nutzfläche, Holzeinschlag oder Minenaktivitäten betroffen.

Die *AGI* Einschätzung für die verbliebenen Wälder Brasiliens ist sehr hoch. In den meisten Regionen sind alle drei Einzelintensitäten mit mittlerer bis hoher Stärke gegeben. Vor allem für das Amazonasgebiet ist eine hohe und multikausale Schädigung und Gefährdung gegeben, die so auch von anderen Quellen gesehen wird (WRI 1997; Fearnside 1993; FAO 1999; Verissimo et al. 1992, 1995, Stone 1998; Parayil & Tong 1998; Nepstad et al. 1999). Aber auch die Reste des Atlantischen Regenwalds, von dem heute weniger als 10 % noch bestehen (Dünckmann & Wehrhahn 1998), sind als hoch geschädigt und gefährdet anzusehen.

Die in Südamerika und speziell in Brasilien häufig zu beobachtenden raschen Umwandlungen von geschlossenen Primärwäldern zu anderen Formen der Landbedeckung sind in vielen Fällen auf staatlich geplante Maßnahmen (z. B. Umsiedlungsaktionen oder den Bau von Staudämmen) zurückzuführen. Dieses Prozesse sind Teil des ARALSEE-SYNDROMS

(WBGU 1997; QUESTIONS 1998). Die im Amazonasgebiet (Fearnside 1993) und im südlichen Brasilien auftretenden großflächige Umwandlung von Waldfläche zu landwirtschaftlicher Nutzfläche mit anschließendem gewinnorientiertem „Cash-Crop-“ Anbau, (vor allem Soja- oder Tabakanbau; Greenpeace 1999) oder intensiver Weidenutzung (Parayil & Tong 1998) ist dem DUST-BOWL-SYNDROM zuzuschreiben. Diese Konversion erfolgt meist durch großflächige Brandrodung und wird als Hauptursache für die häufig außer Kontrolle geratenen Waldbrände angesehen. Im südlichen Brasilien sind große Viehbetriebe angesiedelt worden, um die durch einen veränderten Lebensstil steigende inländische Nachfrage nach Rindfleisch und „Fast Food“ zu befriedigen (Remppis 1999). In geringerem Ausmaß sind auch Maßnahmen zur Gewinnung von nicht erneuerbaren Rohstoffen (Öl, Gas, Edelsteine, Erze etc.) für die Waldvernichtung in Südamerika mit verantwortlich. Zum Einen wird der „störende“ Wald einfach abgeräumt, zum Anderen führt die Erschließung zu weiterer Entwaldung. Dieser Prozess ist Teil des KATANGA-SYNDROMS (siehe Kap. 5.7; WBGU 1997).

Afrika

Fast alle noch verbliebenen Wälder Afrikas sind aktuell als geschädigt oder hoch gefährdet anzusehen (Abbildung 40). Hier sind vor allem das RAUBBAU- und das SAHEL-SYNDROM aktiv. Hohe Intensitätswerte für das DUST-BOWL-SYNDROM werden vor allem in nicht bewaldeten Regionen verzeichnet. Die in Afrika vorherrschende Transformation geschlossener Waldflächen über Zwischenstadien zu Gebüsch und Brache ist vor allem der Ausweitung von Subsistenzlandwirtschaft unter ländlichem Armuts- und Bevölkerungsdruck geschuldet (FAO 1997). Dieser in geringerer Stärke auch in Asien und Lateinamerika auftretende Mechanismus ist Teil des SAHEL-SYNDROMS (Kap. 5.2). Die größten verbliebenen Waldflächen Afrikas im Kongobecken der Dem. Rep. Kongo (ehemals Zaire) werden als gefährdet eingestuft. Auf Grund der anhaltenden militärischen Auseinandersetzungen in dieser Region ist es allerdings nur schwer Aussagen über die Gefährdung und Schädigung dieser Wälder zu treffen.

6.2.2.4 Konsistenzabschätzung des aktuellen Gefährdungsindikators

Durch den Vergleich der regionalen räumlichen Verteilung des aus den Syndromdispositionen erzeugten Gesamtgefährdungsindikator, *GI*, mit solchen einer hohen aktuellen Schädigung oder Gefährdung, *AGI*, werden folgende Analyseoptionen eröffnet:

- Die Identifikation gefährdeter Regionen, in denen die Syndrome noch nicht aktiv sind (wichtig für ein globales Management).
- Die Identifikation von Inkonsistenzen, falls eine aktuelle Gefährdung durch Syndromintensitäten in nicht von dem indirekten, aus den Syndromdispositionen erzeugten Gefährdungsindikator betroffenen Regionen detektiert sein sollte.

Zunächst können aus dem Vergleich der Karten des *GI* (Abbildung 38) und des *AGI* (Abbildung 40) diejenigen Regionen identifiziert werden, in denen eine hohe Gesamtgefährdung besteht, aber noch keine aktuelle Schädigung oder Gefährdung indiziert wird. Diese Regionen umfassen große Teile Skandinaviens, des Kongobeckens, Mexikos, Venezuelas,

das nördliche Bolivien, der nördliche Teil des brasilianischen Amazonas, die Wälder der nordamerikanischen Kordilliere sowie große Teile der kanadischen Wälder. In diesen Regionen ist die aktuelle Schädigung niedriger als die gesamt mögliche, was auf eine potentiell mögliche Steigerung der Gefährdung in diesen Regionen hinweist.

Mit Hilfe der in Gleichung 34 eingeführten Bewertungsfunktion wird die Konsistenz des aktuellen Schädigungs- und Gefährdungsindikators (Abbildung 40) mit dem Gesamtgefährdungsindikator (Abbildung 38) diskutiert. Eine Konsistenz ist nur dann gegeben wenn eine aktuelle Schädigung oder Gefährdung, *AGI*, mit einer hohen Gesamtgefährdung, *GI*, zusammentrifft. Damit würde der erste Term der Klammer in Gleichung 34 größer als 1, womit durch die Minimumsbildung die Konsistenz mit 1 angegeben wird, d. h. volle Konsistenz der Aussagen. Fälle in denen eine aktuelle aber keine indirekte Gefährdung berechnet werden sind als inkonsistent anzusehen. Hier würde der erste Term der Klammer in Gleichung 34 kleiner 1, wodurch dann auch die Konsistenz mit kleiner 1 bewertet wird, d. h. eine Inkonsistenz der Aussagen gegeben ist. Diese Konsistenzabschätzung muss für die obere und die unter Abschätzung der aktuellen Gefährdung vorgenommen werden. Das Resultat dieser Konsistenzauswertung weist nur relativ wenige Regionen der Inkonsistenz aus, so dass eine gegenseitige Bestätigung der unabhängigen aktuellen und Gesamtgefährdungsindikatoren, *AGI* und *GI*, zu konstatieren ist.

$$\text{Konsistenz} = \min\left(1 + \mu_{hoch}^{GI} - \mu_{hoc}^{AGI}, 1\right) \quad \text{Gleichung 34}$$

Mit Ausnahme der Wälder Russlands, für die keine ausreichenden Daten zur Erzeugung des aktuellen Schädigungs- und Gefährdungsindikators vorlagen, erscheinen nur die Wälder Nordamerikas, vor allem die der Yukon-Region Kanadas sowie die Wälder Alaskas, als inkonsistent zum Gesamtgefährdungsindikator, *GI*, mit einer hohen aktuellen Schädigung ausgewiesen (vgl. Abbildung 40 und Abbildung 38). In den Wäldern des Yukons und Alaskas liegt eine Unterschätzung der vorhandenen Biomasse aus dem LPJ-Modell (siehe Kap. 5.1; Sitch, pers. Mitteilung) vor. Das verwendete Modell unterschätzt die eigentliche stehende Biomasse in diesen Wälder, was sich in einer geringeren potentiellen ökonomischen Nutzbarkeit und damit auch in einer geringeren RAUBBAU-SYNDROM-Disposition niederschlägt. Ein weiteres Konsistenzproblem in Nordamerika ist in nur länderweit aufgelösten Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS zu sehen, dass das Hauptgefährdungssyndrom in dieser Region ausmacht. Die mittlere bis hohe aktuelle, intensitätsbasierte Schädigung oder Gefährdung, *AGI* (Abbildung 40), wird in den Ländern als homogen über die Fläche angesehen, während die Dispositionen, die den Gesamtgefährdungsindikator bestimmen, in einer höheren Auflösung (0.5° x 0.5° Raster) vorliegen. Damit werden also schwer zugängliche Regionen mit niedrigen Dispositionen und niedriger Gesamtgefährdung mit einer über die Länder gemittelten intensitätsbasierten aktuellen Schädigung indiziert.

6.2.3 Abschätzung der zukünftigen Gefährdung von Waldökosystemen durch Kopplungsmechanismen

Neben der Gesamtgefährdung, *GI*, und der aktuellen Schädigung oder Gefährdung, *AGI*, die respektive den Syndromdispositionen und Syndromintensitäten entsprechen, gibt es im

Zusammenspiel mehrerer Syndrommechanismen auch die Möglichkeit einer Gefährdung durch Kopplungsmechanismen. Ein gegenwärtig in einer Region aktives RAUBBAU-SYNDROM kann als Auslöser (siehe Kap. 5.1), oder Exposition für das SAHEL-SYNDROM und DUST-BOWL-SYNDROM wirken, die zur weiteren Waldkonversion oder Schädigung beitragen. Diese kurzfristige Gefährdung entsteht durch eine Exposition, die in Form der Kopplung der einzelnen Syndrommechanismen auftritt. Diese Gefährdung ist als unmittelbar anzusehen, da die expositionserzeugenden Mechanismen bereits aktuell aktiv sind. Die dieser Abschätzung zu Grunde Frage ist: Wo tritt eine Exposition eines Entwaldungssyndroms durch die unmittelbare Kopplung zu bereits aktiven Syndrommechanismen auf und führt daher zu einer unmittelbaren Gefährdung der Wälder einer Region?

Die Intensitätsbestimmung des RAUBBAU-SYNDROMS, sowie die Dispositionen und Intensitäten von SAHEL- und DUST-BOWL-SYNDROM stellen die Grundlage zur Erzeugung eines kurzfristigen unmittelbaren Gefährdungsindikators durch Syndromkopplungen, *GIK*, für Waldökosysteme dar.

6.2.3.1 Datenunsicherheit

Die auf Grund von Datenlücken hervorgerufene Unsicherheit in der Berechnung der Intensitäten des RAUBBAU- und des SAHEL-SYNDROMS für eine Reihe von Ländern muss auch bei der Abschätzung einer zukünftigen Gefährdung durch Syndromkopplung berücksichtigt werden. Um trotz dieser Unsicherheit eine Aussage über die zukünftige Gefährdung durch Syndromkopplung geben zu können, wird jeweils eine untere Abschätzung, *UGIK*, und obere Abschätzung, *OGIK*, der zukünftigen Gefährdung durch Syndromkopplung, *GIK*, gegeben. Es wird eine numerische Maximierung in Abhängigkeit der nicht vorhandenen Daten für diejenigen Intensitäten der Einzelsyndrome bestimmt, bei denen der Gesamtindikator, *GIK*, maximiert bzw. minimiert wird. Auf Grund der Tatsache, dass sowohl Aussagen der Art „das Syndrom X ist intensiv“, als auch „das Syndrom X ist nicht intensiv“ in den Indikator eingehen, liegen diese optimierenden Einzelsyndromintensitäten zumeist nicht bei 0 oder 1 sondern eher im mittleren Wertebereich.

6.2.3.2 Berechnung der zukünftigen Gefährdungsindikatoren durch Syndromkopplung – *UGIK* & *OGIK*

Die zukünftige Gefährdung der Wälder durch Syndromkopplung, *GIK*, wird durch die Kopplung von potentiell möglichen Syndrommustern zu bereits aktiven Mechanismen, die als Exposition für Erstere wirken, gegeben. Für die hier vorliegende Untersuchung sind 3 mögliche Syndromkopplungen relevant:

1. eine hohe Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS bei gleichzeitig hoher Disposition aber nur niedriger Intensität für das SAHEL- oder DUST-BOWL-SYNDROM vorliegt, oder
2. eine hohe Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS bei gleichzeitig hoher Disposition aber nur niedriger Intensität für das SAHEL-SYNDROM, oder

3. eine hohe Intensität des SAHEL-SYNDROMS bei gleichzeitig hoher Disposition aber nur niedriger Intensität für das DUST-BOWL-SYNDROM vorliegt.

Diese Gefährdungen ergeben sich einerseits durch die Expositionswirkung des aktiven RAUBBAU-SYNDROMS für die anderen Syndrome, die über die nachziehenden Kleinbauern und Großgrundbesitzer in Folge der Flächenerschließung geschieht (1.). Sind die Regionen andererseits nicht mehr ökonomisch rentabel, so kommt es nach einer Nutzungsaufgabe durch DUST-BOWL-SYNDROM-Akteure oft zu einer nachfolgenden Nutzung der Region durch land- und rechtlose Kleinbauern, die, auf Grund des Armutsdrucks, das Ökosystem bis zur völligen Unnutzbarkeit bearbeiten und auch noch kleinste Reste der natürlichen Ökosysteme konvertieren und zerstören (2). Aber auch der umgekehrte Prozess kann auftreten: Die den Holzeinschlagsfirmen oft hinterherziehenden land- und rechtlosen Kleinbauern werden nach einer kurzen Nutzungsphase durch die langsamer agierenden aber politisch einflussreicheren DUST-BOWL-SYNDROM-Akteure vertrieben (3.).

Diese verschiedenen zu einer zukünftigen Gefährdung durch Syndromkopplung beitragenden Effekte werden durch eine Verknüpfung mit einem Lukasiewicz-ODER Operators ($\ddot{\vee}$) wiedergegeben (Gleichung 35). Das Resultat dieser Verknüpfung ist in den Karten in Abbildung 42 für die untere Abschätzung, $UGIK$, und die obere Abschätzung, $OGIK$, des GIK dargestellt.

$$\mu_{hoch}^{GIK} = \mu \left(\begin{array}{c} \overset{1.}{\left((RI \wedge SD \wedge \neg SI) \ddot{\vee} (RI \wedge DD \wedge \neg DI) \right)} \quad \ddot{\vee} \\ \left(\overset{2.}{(DI \wedge SD \wedge \neg SI)} \quad \ddot{\vee} \quad \overset{3.}{(SI \wedge DD \wedge \neg DI)} \right) \end{array} \right) \quad \text{Gleichung 35}$$

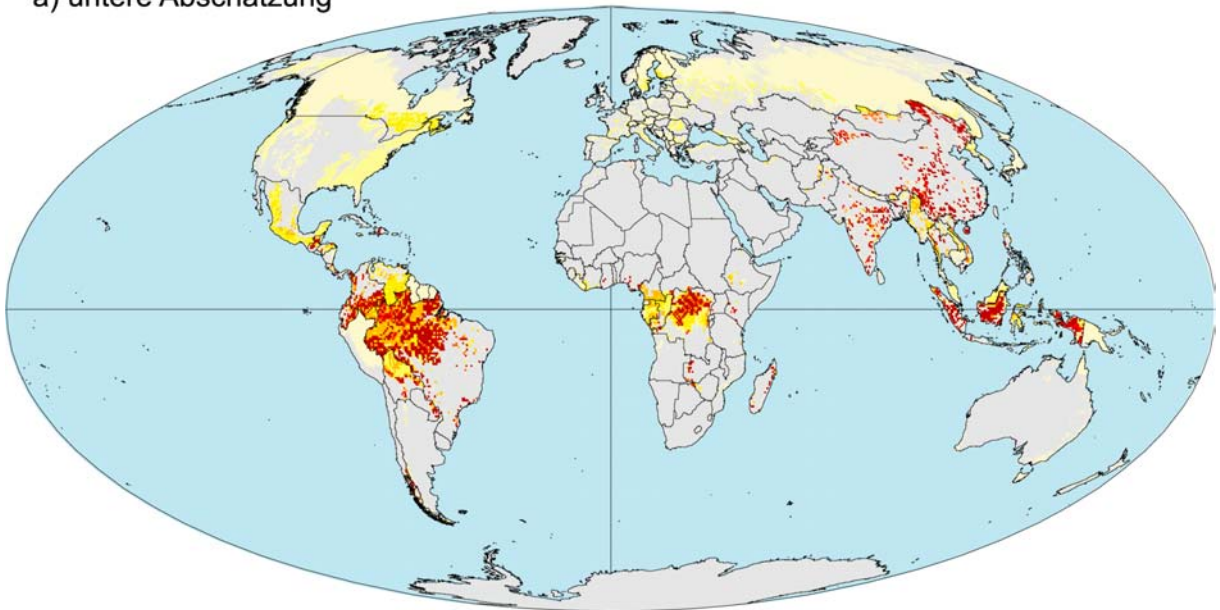
$$= \min \left\{ \begin{array}{c} \overset{1.}{\min(1, \mu_{hoch}^{RI}, \mu_{hoch}^{SD}, 1 - \mu_{hoch}^{SI})} + \min(\mu_{hoch}^{RI}, \mu_{hoch}^{DD}, 1 - \mu_{hoch}^{DI}) + \\ \overset{2.}{\min(\mu_{hoch}^{DI}, \mu_{hoch}^{SD}, 1 - \mu_{hoch}^{SI})} + \overset{3.}{\min(\mu_{hoch}^{SI}, \mu_{hoch}^{DD}, 1 - \mu_{hoch}^{DI})} \end{array} \right\}$$

wobei: RD = Disposition und RI = Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS,
 SD = Disposition und SI = Intensität des SAHEL-SYNDROMS und
 DD = Disposition und DI = Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS

6.2.3.3 Diskussion der räumlichen Verteilung der zukünftigen Gefährdung durch Syndromkopplung– $UGIK$ & $OGIK$

Für eine Interpretation der kurzfristigen Gefährdung, GIK , von Wäldern durch Syndromkopplungen müssen die untere Abschätzung, $UGIK$ (Abbildung 42a), und die oberer Abschätzung, $OGIK$ (Abbildung 42b), betrachtet werden. Hoch gefährdete Regionen im $UGIK$ sind selbst im Fall der geringst möglichen Realisierung der fehlenden Daten als hoch gefährdet anzusehen. Regionen mit niedriger Gefährdung im $OGIK$ erscheinen selbst bei der größt möglichen Realisierung der Intensitäten in den Regionen mit Datenlücken als nicht gefährdet.

a) untere Abschätzung



b) obere Abschätzung

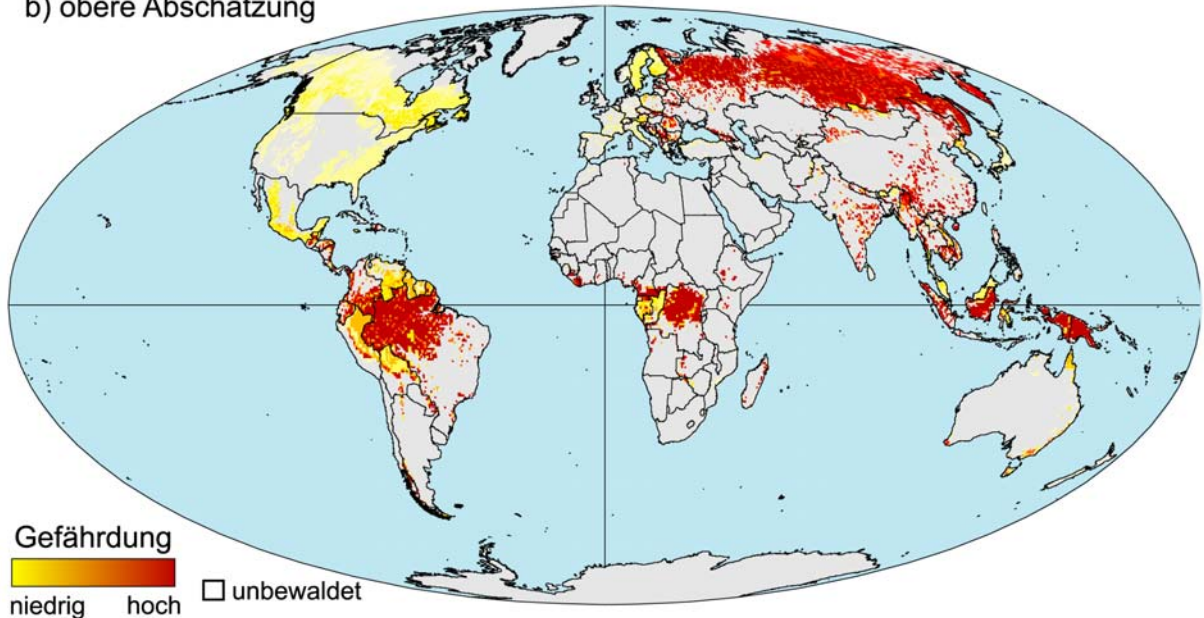


Abbildung 42: Abschätzung der zukünftigen Gefährdung für Waldökosysteme durch Syndromkopplung. a) *UGIK* - untere Abschätzung; b) *OGIK* - obere Abschätzung.

Europa und Russland

Die zukünftige Gefährdung der Wälder West-Europas und Skandinaviens ist als gering anzusehen. Für die Wälder Russlands und Osteuropas auf Grund der Datenlücken keine verlässliche Einschätzung der Gefährdungslage durch den *GIK* möglich. Andere Quellen sehen eine zukünftige Gefährdung für die Wälder auf der Halbinsel Kola, den europäischen Teil Russlands (Greenpeace 1998) sowie für die Osteuropäischen Länder. Die Einschätzung der FAO (1999) für Europa und Russland geht von einer weiterhin stark steigende Produktion und Nachfrage in allen Holzprodukten bis 2010 aus.

Asien

Die gesamten verbliebenen Wälder Asien erscheinen im *UGIK* (Abbildung 42a) als hoch gefährdet. Diese Einschätzung wird auch von der FAO (1999) geteilt, die trotz einer während der asiatischen Wirtschaftskrise kurzfristig rückläufigen Nachfrage nach Holz und Holzprodukten, mittelfristig bis 2010, von einer stark steigenden Nachfrage, und damit auch Produktion von Holzprodukten und Brennholz in Asien ausgeht.

Australien / Ozeanien

Der *OGIK* in Abbildung 42b zeigt für die Wälder Nord-Australiens eine nur niedrige bis mittlere Gefährdung an, woraus sich ableiten lässt, dass diese Wälder nur unter ungünstigsten Entwicklungen als gefährdet anzusehen sind. Für die pazifischen Inselstaaten kann auf Grund der schlechten Datenlagen kein *GIK* erstellt werden. Die FAO-Abschätzungen (1999) gehen für diese Region von einer wachsenden Nachfrage für Holzprodukte und landwirtschaftliche Nutzfläche aus, die eine signifikant steigende Entwaldung für die pazifischen Inselstaaten bedeutet. Zusammen mit Asien wird für die Inselwelt Ozeaniens der höchste Anstieg der Produktionsraten erwartet (FAO 1999). In Folge der hohen biologischen Diversität und Anzahl endemischer Arten in den Wäldern dieser Staaten, gefährdet stellt diese zunehmende Entwaldung nicht nur die lokalen Ökosysteme, sondern stellt auch eine signifikante Bedrohung für die globale Biodiversität dar.

Nord- und Mittelamerika

Die Wälder Nord- und Mittelamerikas werden mit Ausnahme von Guatemala, Honduras, Costa Rica und Panama als vom *OGIK* als nicht gefährdet indiziert. Diese Ausnahmen erscheinen allerdings im *UGIK* als hoch gefährdet, was sich mit der FAO Einschätzung (1999) und Anderen (z. B. Abramovitz & Mattoon 1999) deckt.

Südamerika

Die Abschätzung des *UGIK* (Abbildung 42a) zeigt eine hohe Gefährdung der brasilianischen Wälder insgesamt sowie für die Wälder Kolumbiens, Ecuadors, Paraguays und in Teilen Boliviens aus. Der *OGIK* (Abbildung 42b) zeigt nur geringe unmittelbare Gefährdung für die Wälder Venezuelas, Perus, Guyanas, Surinams und Französisch Guyanas aus. Auch einige Teile Boliviens erscheinen als nur wenig gefährdet. Die Einschätzung der FAO (1999) sagt neben einem Zuwachs an Produktion und Verbrauch von Holz und Papier vor allem einen steigenden Rundholz- und Zellstoffexport für die südamerikanischen Ökonomien voraus. Dies deckt sich mit den bereits angesprochenen verstärkten Aktivitäten internationaler und asiatischer Holzeinschlagsfirmen um Einschlagskonzessionen in Südamerika.

Afrika

Neben der Dem. Rep. Kongo erscheinen Teile der verbliebenen Küstenwälder Westafrikas, Kameruns, Gabuns, sowie die Wälder Kenias, Sambias und die verbliebenen Wälder Madagaskars als im *UGIK* hoch gefährdet (Abbildung 42a). Als weniger gefährdet vom *OGIK*

(Abbildung 42b) werden nur die Wälder des Kongo ausgewiesen. Allgemein sagt die FAO (1999) eine steigende Produktion von Rundholz und vor allem einen steigenden Bedarf an Brennholz und Holzkohle für Afrika voraus. Dieser Brennstoffbedarf wird durch die Übernutzung der lokalen Vegetation als eine große Gefahr für eine fortschreitende Desertifikation, gerade im Umfeld von Siedlungen in semi-ariden Regionen, angesehen (FAO 1999; Mertens & Lambin 1997).

Es konnte gezeigt werden, dass die syndrombasierten Schädigungs- und Gefährdungsindikatoren gute, mit den bisher zur Verfügung stehenden Abschätzungen, übereinstimmende Resultate liefern. Die Vorteile der syndrombasierten Abschätzungen gegenüber den bisher verfügbaren liegen zum einen darin, dass sie global mit einer einheitlichen Methode erzeugt wurden, und dass die Beiträge zur Schädigung und Gefährdung auch nach ihren verschiedenen Mustern separiert wurden. Durch Vergleich möglicher Kombinationen der Dispositionen und Intensitäten der drei Hauptsyndrome der Entwaldung konnten räumlich aufgelöste Aussagen über eine mögliche Anfälligkeit und über aktuell aktive Schädigungs- und Gefährdungsmuster abgegeben werden. Vor allem der Indikator für die zukünftige Gefährdung der Wälder in Folge von Syndromkopplungen stellt hierbei eine herausragende Neuerung dar. Hiermit ist es zum ersten mal möglich in einer systematischen Weise die potentielle Gefährdung einer Region durch direkt bevorstehende Schädigung in Folge bereits aktiver Mechanismen, die als Exposition, d. h. auslösendes Element, für weitere Degradationsmuster wirken können, zu beschreiben und identifizieren.

Insgesamt weisen die syndrombasierten Schädigungs- und Gefährdungsabschätzungen eine plausible weitere Zunahme der Gefährdung der globalen Waldökosysteme aus.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit der räumlichen Analyse der globalen Entwaldungsproblematik. Die an diesem Kernproblem des GW beteiligten Muster nicht-nachhaltiger Zivilisations-Natur-Interaktionen wurden mit Hilfe eines neuentwickelten Konzepts zur transdisziplinären, qualitativen Analyse des GW untersucht. Das Konzept beruht auf der Zerlegung der komplexen Dynamik des GW in Muster problematischer Zivilisations-Natur-Interaktionen, den Syndromen, durch einen iterativen Prozess von Beobachtung, Daten- und systemtheoretischen Analysen und GIS-gestützter Modellierung. Die Syndrome charakterisieren potentiell gefährliche Entwicklungen der Zivilisation-Natur-Interaktion und stellen eine Grundlage zur Indizierung von Nicht-Nachhaltigkeit dar - für eine nachhaltige Entwicklung ist die weitreichende Abwesenheit von Syndromen erforderlich. Die Muster definieren sich als charakteristische Konstellationen von dynamisch interagierenden sozio-ökonomischen und naturräumlichen Phänomenen, den Symptomen. Die Beschreibung der Wirkungsmechanismen sowie die Verteilung des räumlichen Auftretens der an der Entwaldung beteiligten Syndrommuster wurde unter Verwendung von Konzepten der Fuzzy-Logik in GIS-gestützten Analysen der Entwaldungsmuster vorgenommen.

Im ersten Kapitel dieser Dissertation wurde ein Überblick über die Bedeutung des GW und seiner verschiedenen Dimensionen gegeben. Diese Zusammenstellung der verschiedenen Entwicklungen in der Zivilisation-Natur-Koevolution verdeutlicht die Sektoren übergreifende Natur des GW, die über aktuell im Blick der öffentlichen Debatte stehenden Problematiken wie Klimawandel und Globalisierung hinausgehen. Es wird deutlich, dass die Menschheit mit ihrem Handeln in das Erdsystem eingreift und entscheidende Mechanismen beeinflusst. Aus den sich abzeichnenden Problemen der Auswirkungen der Systemveränderungen und der damit einher gehenden Verschärfung der globalen Entwicklungsdisparitäten erwächst die Notwendigkeit einer möglichen nachhaltigen Entwicklung der Zivilisation-Natur-Koevolution. Als Schlussfolgerung ergibt sich die zwingende Notwendigkeit für einen Disziplinen und Sphären übergreifenden Untersuchungsansatz zur Beschreibung der komplexen Natur des GW und der Zivilisation-Natur-Koevolution im Hinblick auf eine „Nachhaltige Entwicklung“.

Das zweite Kapitel der Arbeit gibt einen Überblick über bisherige Ansätze zur Beschreibung der naturräumlichen und sozioökonomischen Prozesse im Zivilisation-Natur-System. Diese verschiedenen Herangehensweisen sind teils zu stark disziplinär verhaftet oder unzureichend in ihrer räumlichen oder kausalen Auflösung um adäquate Verständnis- und Lösungsansätze der Problematik bieten zu können. Es zeigt sich deutlich die Notwendigkeit für einen integrativen, Disziplinen und Sphären übergreifenden Systemansatz auf einer Ebene mittlerer funktionaler Detaillierung. Forderungen an diesen Ansatz sind vor allem die Möglichkeit der Integration bestehenden System- und Fallstudienwissens in ein umsetzbares Konzept zur Analyse problematischer Entwicklungen im Zivilisation-Natur-System. Sowohl quantitatives als auch qualitatives Wissen um potentiell schädigende Prozesse und Interaktionen müssen in einem funktional aggregierenden Ansatz integriert werden.

Im dritten Kapitel wird dann das Syndromkonzept als der in dieser Arbeit verwendete Ansatz zur Annäherung an dieses Ziel vorgestellt. Die Elemente des Syndromkonzepts werden im Hinblick auf ihre Verwendung für eine GIS-gestützte, qualitative räumlich Analyse potentiell nicht-nachhaltiger Entwicklungsmuster definiert. In der Syndromanalyse erfolgt die geographische Analyse der Ursache-Wirkungsschemata unter Integration von GIS mit Konzepten der Fuzzy-Logik. Über die Analyse von Fallstudien, Theorien und Expertenwissen wird ein syndromspezifisches Beziehungsgeflecht erstellt. Ausgehend von dieser systemischen Darstellung werden die naturräumlichen und sozioökonomischen Bedingungen unter denen der Syndrommechanismus aktiv sein kann bestimmt, die Disposition einer Region gegenüber einem Syndrom. Dieser Indikator kann als ein Frühwarnsystem für das Einsetzen einer nicht-nachhaltigen Entwicklung genutzt werden. Basierend auf den konstituierenden Elementen des Kernmechanismus eines Syndroms wird ein Indikator für die Intensität des aktiven Syndroms abgeleitet. Dieser Indikator bewertet die kritischen Zustände in der dynamischen Evolution der nicht-nachhaltigen Entwicklungsmuster der Zivilisation-Natur-Interaktion.

Im anwendungsorientierten, zweiten Teil der Dissertation wird in Kapitel 4 zuerst eine Zusammenschau der wichtigsten Funktionen und Entwicklungen der globalen Waldökosysteme gegeben. Dieser Überblick fasst die verschiedenen Daten und Sichtweisen der relevanten Quellen zum Thema Wald und seinen Funktionen, vor allem zur Kohlenstoffspeicherfunktion und zum Erhalt der biologischen Diversität, zusammen. Die zeitliche und räumliche Dimension der Entwaldung wird einordnend vorgestellt und ein Überblick über bisherige Untersuchungsansätze zum Themengebiet der Entwaldung und Waldschädigung gegeben.

In Kapitel 5 erfolgt eine umfassende qualitative Analyse der globalen Entwaldungsproblematik mit Hilfe einer sektoral orientierten Anwendung des Syndromkonzepts. Entwaldung und Waldschädigung werden durch eine kleine Anzahl verschiedener Ursache-Wirkungsmuster verursacht, deren Hauptmechanismen durch den Raubbau an natürlichen Ökosystemen (RAUBBAU-SYNDROM), die landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte (SAHEL-SYNDROM) und die nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern (DUST-BOWL-SYNDROM) beschrieben werden. Neben den Hauptsyndromen sind weitere Muster zu einem kleineren Teil an der globalen Entwaldungsproblematik beteiligt, z. B. die Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke (MASSENTOURISMUS-SYNDROM), die Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten wie Dämmen (ARALSEE-SYNDROM), die Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen (KATANGA-SYNDROM) oder die Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen (HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM) wie im Fall des „Sauren Regens“.

Die vorgenommenen Dispositionsabschätzungen der Hauptsyndrome der Entwaldung erlauben eine qualitative Einordnung der Vulnerabilität oder Anfälligkeit einer Region gegenüber einem bestimmten Syndrom, was Aussagen über die Gefährdungen dieser Regionen unter sich ändernden naturräumlichen oder sozioökonomischen Gegebenheiten im Zusammenhang mit den einzelnen Syndrommustern erlaubt. Die Intensitätsberechnungen der

Hauptsyndrome der Entwaldung ermöglichte eine räumliche Analyse des aktuellen Auftretens der Entwaldungskausalmuster. Damit konnten die verschiedenen regionalen sozio-ökonomischen Ursache-Wirkungszusammenhänge identifiziert und verortet werden die zur Degradation des Ökosystems „Wald“ beitragen.

Mit Hilfe der gekoppelten Syndrom-Dispositionen und -Intensitäten konnte in Kapitel 6 eine in ihrer funktionalen und räumlichen Auflösung bisher einmalige Abschätzung der aktuellen Schädigung und zukünftigen Gefährdung für die globalen Waldökosysteme gegeben werden. Die hier entwickelten Schädigungs- und Gefährdungsindikatoren stellen eine der bisher umfassendsten qualitativen Abschätzung der anthropogen bedingten Gefährdung der globalen Waldökosysteme dar. Die Vorteile gegenüber bisherigen Ansätzen liegen in der Gültigkeit für alle Waldtypen, Sekundär- wie Primärwäldern, in der Einbeziehung mehrerer nicht-nachhaltiger anthropogener Nutzungsformen, sowie in der Berücksichtigung von synergistischen Effekten über die verschiedenen Kopplungsmechanismen zwischen den Syndromen. Mit Hilfe dieser syndrombasierten Indikatoren konnten räumlich aufgelöste Schädigungs- und Gefährdungsabschätzungen für die Waldbestände abgegeben werden, die in guter Übereinstimmung zu den verschiedenen bisherigen globalen Abschätzungen und regionalen Fallstudien stehen. Ein Vorteil der syndrombasierten Abschätzungen gegenüber den bisher verfügbaren Betrachtungen liegt in der Möglichkeit, die Beiträge zur Gefährdung nach ihren verschiedenen Mustern separieren zu können, was eine wichtige Voraussetzung zur Entwicklung erfolgsversprechender Politikoptionen darstellt. Aus den einzelnen am Kernproblem „Entwaldung“ beteiligten syndromaren Beziehungsgeflechten können nun wirksame Handlungsoptionen für die politischen Entscheidungsträger abgeleitet werden, wie die nicht-nachhaltigen sozialen, ökonomischen und naturräumlichen Folgen der Entwaldung zu vermeiden sind oder doch gemindert werden können.

Im Anhang der Arbeit erfolgt eine kurze Einleitung in die Konzepte der Fuzzy-Logik. Diese Methode stellt einen wesentlichen systematischen Baustein der Syndromanalyse und insbesondere der Diagnose typischer nicht-nachhaltiger Kausalmechanismen der Mensch-Umwelt-Beziehungen dar. Speziell die im Zusammenhang mit der Dispositions- und Intensitätsbestimmung für ein Syndrom verwendete Fuzzy-Mengen-Theorie und die Fuzzy-Verschneidungs-Operatoren werden näher erläutert.

7.1 Ausblick

Wie sich in der Auswertung der syndrombasierten Waldgefährdungsindikatoren gezeigt hat besteht ein Bedarf der Verbesserung der einzelnen Syndrom-Dispositionen und Intensitäten. Vor allem der Mangel an zeitlich vergleichbarem Datenmaterial hat zu Problemen bei der Berechnung der einzelnen Elemente geführt. Aus umfangreicheren Zeitreihen könnte das dynamische Verhalten der Muster besser abgeleitet werden.

Ein nächster Schritt in der Verbesserung der Einschätzung der Gefährdungslage kann über eine ausführliche Syndromdiagnose der bisher nur kurz beschriebenen Syndrome (ARAL-SEE-SYNDROM, MASSENTOURISMUS-SYNDROM, HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM, KATANGA-SYNDROM) erfolgen. Dadurch würden die Komponenten dieser Syndrome auch räumlichen in

der aggregierten Bewertung repräsentiert und weitere Dimensionen und Aspekte der globalen Entwaldungsproblematik in den Resultaten abgebildet werden können.

Durch aus Qualitativen Differentialgleichungssystemen erzeugten Prognosen für die möglichen Entwicklungspfade einzelner Syndrome kann die temporale Dynamik der nicht-nachhaltigen Entwicklungsmuster untersucht werden. Die Ergebnisse einer solchen Modellierung können, neben einem Beitrag zur Syndromvalidierung, vor allem für Aussagen über den zukünftigen Verlauf der Waldgefährdung verwendet werden. Erste Ansätze in diese Richtung haben sich als erfolgreich erwiesen (siehe Petschel-Held et al 1999a).

Die für 2000 / 2001 von WCMC und FAO geplante Verbesserung der Waldbestandsdaten für eine neue, besser aufgelöste und aktualisierte Karte der globalen Waldökosysteme wird eine verbesserte Syndromanalyse der Entwaldung erlauben.

Anhang I: Grundelemente der Fuzzy-Logik

Die Fuzzy-Logik stellt einen wesentlichen methodischen Baustein der Syndromanalyse und insbesondere der Diagnose typischer nicht-nachhaltiger Kausalmechanismen der Mensch-Umwelt-Beziehungen dar. Einige Elemente dieser relativ jungen Methode (Zadeh 1965; Zimmermann 1993, Böhme 1993; Kruse et al. 1993) werden in verschiedenen Abschnitten dieser Dissertation immer wieder genutzt und sollen daher hier kurz und in einheitlicher Notation zusammenfassend vorgestellt werden.

Es gibt zahlreiche Anwendungen der Fuzzy-Logik, die sich ihrerseits wiederum in verschiedene Teilgebiete aufschlüsselt. Im Folgenden wird speziell die im Zusammenhang mit dem Syndromkonzept häufig genutzte Fuzzy-Mengen-Theorie vorgestellt. Diese Theorie wird am häufigsten bei der Dispositions- und Intensitätsbestimmung für ein Syndrom X genutzt, indem Zugehörigkeitswerte zu der Menge der für dieses Syndrom anfälligen oder von diesem Syndrom betroffenen Regionen bestimmt werden. Die Tatsache, dass diese Menge nicht scharf spezifiziert werden kann, also z. B. durch die Bedingung „Zahl der Bäume pro Quadratkilometer kleiner 5 m“ und „Durchschnittsalter der ortsansässigen Menschen größer 25.7 Jahre“, empfiehlt die Verwendung von Fuzzy-Methoden. Dementsprechend werden keine Zugehörigkeitswerte „ja“ oder „nein“, sondern ein kontinuierlicher Wert $\mu \in [0,1]$ angenommen. Dieser Zugehörigkeitswert kann in der Form eines „eher ja“ oder „eher nein“, bzw. den verschiedensten Feinabstufungen dazwischen interpretiert werden. Ausgehend von den vorliegenden quantitativen Daten ist die Bewertung hinsichtlich dieser Zugehörigkeit in mehreren Schritten durchzuführen, die im Folgenden in der in den Einzelabschnitten verwendeten Notation beschrieben werden.

Fuzzyifizierung:

Im ersten Schritt müssen die quantitativen Daten $\varphi_i, i = 1,2,3,\dots,N$ jeweils auf Zugehörigkeitswerte für verschiedene Mengen F_i abgebildet werden. Im Allgemeinen kann man die Mengen F_i durch einfache logische Klauseln spezifizieren (Extensionalitätsprinzip). So kann man sich unter φ_1 z. B. die Tagesmitteltemperatur an einem Ort vorstellen und unter F_1 die Menge der „warmen Tage“. Um dann eine Temperatur von 22.3°C im Hinblick auf diese Menge einordnen zu können wird eine Zugehörigkeitsfunktion $\mu(\varphi_1, F_1)$ definiert. Die in dieser Arbeit am häufigsten genutzten sind:

$$R_+(\varphi; \phi^1, \phi^2) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \varphi < \phi^1 \\ \frac{\varphi - \phi^1}{\phi^2 - \phi^1} & \text{wenn } \phi^1 \leq \varphi \leq \phi^2 \\ 1 & \text{wenn } \varphi > \phi^2 \end{cases} \quad \text{Gleichung 36}$$

und

$$R_-(\varphi; \phi^1, \phi^2) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } \varphi < \phi^1 \\ \frac{\phi^2 - \varphi}{\phi^2 - \phi^1} & \text{wenn } \phi^1 \leq \varphi \leq \phi^2 \\ 0 & \text{wenn } \varphi > \phi^2 \end{cases} \quad \text{Gleichung 37}$$

Diese Zugehörigkeitsfunktionen stellen einfache Rampenfunktionen dar (Abbildung 43), die jeweils von zwei Parametern ϕ^1 und ϕ^2 abhängen. Mit Ausnahme der Fuzzyfizierung der Erreichbarkeit (Kap. 5.1, 5.2) wurden diese einfachen Rampenfunktionen für die Generierung der Zugehörigkeitsmengen der linguistischen Variablen verwendet.

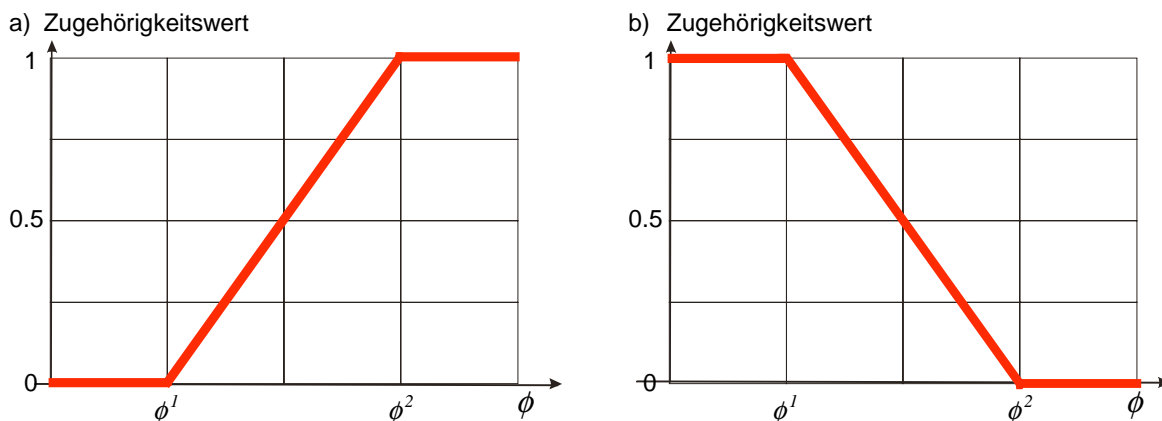


Abbildung 43: Zugehörigkeitsfunktionen

Häufig ist es aber darüber hinaus wünschenswert, nicht-monotone Abbildungsfunktionen zu verwenden, also solche, bei denen Zugehörigkeitswerte ungleich Null nur für ein endliches Intervall der quantitativen Größe φ auftreten. Diese trapezförmige Funktion

$$T(\varphi; \phi^1, \phi^2, \phi^3, \phi^4) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \varphi < \phi^1 \\ \frac{\varphi - \phi^1}{\phi^2 - \phi^1} & \text{wenn } \phi^1 \leq \varphi < \phi^2 \\ 1 & \text{wenn } \phi^2 \leq \varphi < \phi^3 \\ \frac{\phi^4 - \varphi}{\phi^4 - \phi^3} & \text{wenn } \phi^3 \leq \varphi < \phi^4 \\ 0 & \text{wenn } \phi^4 \geq \varphi \end{cases} \quad \text{Gleichung 38}$$

wird durch vier Parameter ϕ^i , $i = 1, \dots, 4$ bestimmt.

Die verschiedenen Parameter ϕ^i müssen wiederum aus Einzelstudien und mit Hilfe von Referenzfällen gewonnen werden, wobei auch Experteneinordnungen dienlich sind. Dabei muss aus den Studien selbst eine Menge von realen Fällen für die Aussage F entnommen und dann mit der Fuzzyfizierung der entsprechenden quantitativen Daten verglichen werden.

Zur Verdeutlichung wird nochmals die Aussage „warmer Tag“ mit dem zu Grunde liegenden quantitativen Datum *Tagesmitteltemperatur* untersucht. Die Kategorie „warm“ ist dabei nach unten gegenüber der Bewertung „kalt“ und nach oben gegenüber der Klasse der „heißen“ Tage abzugrenzen. In diesem Fall bietet sich die Nutzung der Trapezfunktion T an. Als „auf jeden Fall warm“ würde man Tage mit Mitteltemperaturen von etwa 18°C - 25°C einordnen, womit $\phi^2 = 18^\circ\text{C}$ und $\phi^3 = 25^\circ\text{C}$ ist. Als „in jedem Fall nicht mehr warm“ werden Tage mit Mitteltemperaturen unterhalb von 15°C und oberhalb von 28°C und somit $\phi^1 = 15^\circ\text{C}$ und $\phi^4 = 28^\circ\text{C}$ betrachtet. In diesem Fall würde die Zugehörigkeitsfunktion durch

$$\mu(\varphi_1, F_1) = T(\varphi_1, 15^\circ\text{C}, 18^\circ\text{C}, 25^\circ\text{C}, 28^\circ\text{C}) \quad \text{Gleichung 39}$$

spezifiziert werden und ist in Abbildung 44 dargestellt.

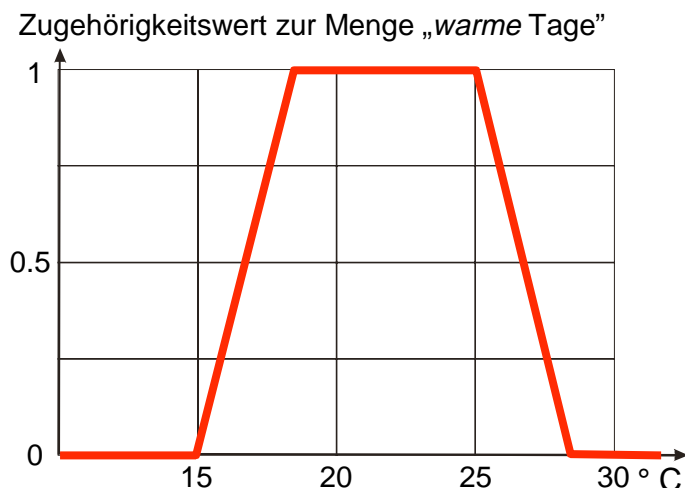


Abbildung 44: Trapezförmige Zugehörigkeitsfunktion für die Menge der „*warmen* Tage“.

Operatoren

Im zweiten Anwendungsgebiet der Fuzzy-Logik im Syndromkonzept werden logische Operatoren genutzt um aus den Zugehörigkeitswerten zu den Mengen mit einfachen Klauseln wie etwa „*wärmer* Tag“ oder „*feuchter* Tag“ die Werte für Aussagen wie „*wärmer* und *feuchter* Tag“, bzw. „*wärmer* oder *feuchter* Tag“ zu berechnen.

Bei einer rein booleschen Auswertung sind die formalen Aspekte der Operatoren UND und ODER eindeutig bestimmt: Eine UND-Aussage ist nur dann wahr, wenn *beide* Aussagen wahr sind. Entsprechendes gilt für das ODER. Eine graphische Darstellung der grundlegenden booleschen Verschneidungsoperationen ist in Abbildung 45 dargestellt.

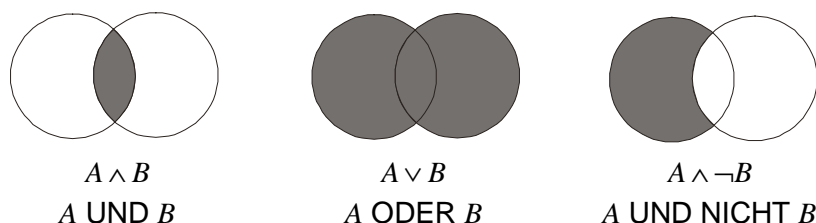


Abbildung 45: Venn-Diagramm für einfache boolesche Verschneidungsoperationen.

Im Falle der Fuzzy-Logik ist die Sache nicht so eindeutig. Es ist gerade eine der Grundideen der Fuzzy-Logik auch unscharfe Aussagen modellieren zu können, wie sie menschlichen Bewertungen häufig zu Grunde liegen. So ist etwa die „*Kompensation*“ eine solche Eigenschaft: Sollte also der Zugehörigkeitswert zur Menge der „*warmen* Tagen“ bei 0.8 liegen, hier wird auch oft vom Wahrheitswert 0.8 für die Aussage „*wärmer* Tag“ gesprochen, und an zwei verschiedenen Orten der Wahrheitswert für „*feucht*“ bei 0.3 bzw. 0.7 liegen, so würde die Intuition letzterem Fall eine höher Zugehörigkeit zur Menge der „*warmen* und *feuchten* Tage“ zuweisen. Die Abbildbarkeit dieser Art der Intuition gehört zu den Stärken der Fuzzy-Logik und wird auch in den Entscheidungsbäumen für Syndromdispositionen und -intensitäten genutzt. Die Fuzzy-Logik stellt verschiedene Auswerteverfahren für die logischen Operatoren UND und ODER zu Verfügung, deren boolescher Grenzfall, so existent, das entsprechende

boolesche Ergebnis liefern muss. Die für diese Arbeit notwendigen Operatoren werden im folgenden kurz vorgestellt, wobei die Operatoren immer in Paaren auftreten (Zimmermann 1993, Böhme 1993; Kruse et al. 1993). Dabei werden zwei einfache Klauseln X und Y , sowie deren Wahrheitswerte $\mu(X)$ und $\mu(Y)$ betrachtet.

Minmax-Operatoren

Hierbei handelt es sich um vollständig nicht-kompensatorische Operatoren:

$$\mu(X \wedge Y) = \min\{\mu(X), \mu(Y)\} \quad \text{Gleichung 40}$$

für das logische UND und

$$\mu(X \vee Y) = \max\{\mu(X), \mu(Y)\} \quad \text{Gleichung 41}$$

für das logische ODER.

Für beide Operatoren gilt das Assoziativgesetz, so dass Kombination mehrerer Aussagen wiederum durch Minimums- oder Maximumsbildung problemlos möglich sind. Operatoren dieser Klasse werden immer dann verwendet, wenn keinerlei kompensatorische oder komperative Eigenschaften der Konjunktion bzw. Disjunktion nötig sind. Zur Veranschaulichung sind diese Funktionen graphisch in Abbildung 46 dargestellt.

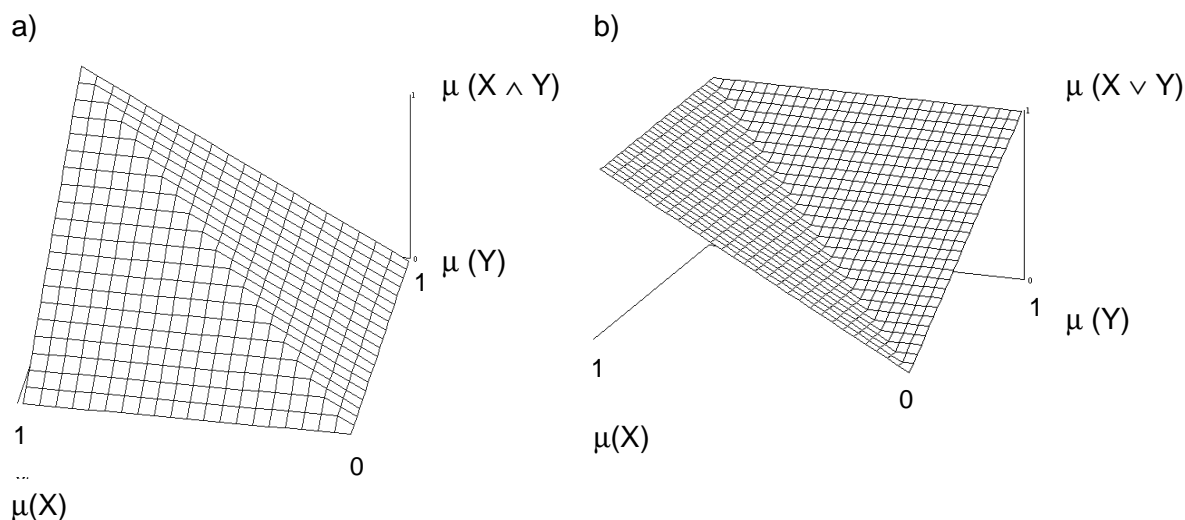


Abbildung 46: Nicht-kompensatorische min-max-Operatoren. Zur Abbildung der UND-Verknüpfung wird das Minimum (a), für das logische ODER das Maximum (b) verwendet.

Lukasiewicz-Operatoren

Eine gleichgewichtige Kompensation, bzw. Komparation, haben die sog. *Lukasiewicz-Operatoren*. Dabei ist der jeweilige Ausgleich jedoch nicht über den gesamten Definitionsbereich der beiden Variablen gültig, sondern verlangt im Falle des UNDs einen ausreichend großen Wahrheitswert beider Klauseln, bzw. für das ODER tritt die Komparation nur bei hinreichend kleinen Wahrheitswerten auf. Formal werden die Operatoren als

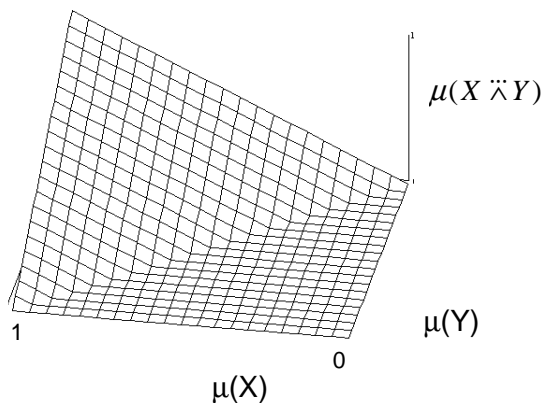
$$\mu(X \ddot{\wedge} Y) = \max\{0, \mu(X) + \mu(Y) - 1\} \quad \text{Gleichung 42}$$

für das UND und

$$\mu(X \ddot{\vee} Y) = \min\{\mu(X) + \mu(Y), 1\} \quad \text{Gleichung 43}$$

für das ODER beschrieben. Zur Veranschaulichung ist die graphische Repräsentation des Lukasiewicz-UND in Abbildung 47 dargestellt.

Abbildung 47: UND-Verknüpfung nach Lukasiewicz ($\ddot{\wedge}$).



Fuzzy-Operatoren

Eine umfassendere Kompensation ist mit Hilfe des Fuzzy-UND, bzw. Fuzzy-ODER Operators möglich. Im Gegensatz zur Formulierung nach Lukasiewicz erstreckt sich die Kompensation hier über den gesamten Bereich. Weiterhin ist hier der Grad der Kompensation mit Hilfe eines Parameters $\gamma \in [0, 1]$ einstellbar. Die Operatoren für Variablen bzw. Aussagen können als

$$\mu(x_1 \tilde{\wedge} x_2 \tilde{\wedge} \dots \tilde{\wedge} x_n) = \gamma \cdot \min\{\mu(x_1), \mu(x_2), \dots, \mu(x_n)\} + (1 - \gamma) \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mu(x_k) \quad \text{Gleichung 44}$$

bzw.

$$\mu(x_1 \tilde{\vee} x_2 \tilde{\vee} \dots \tilde{\vee} x_n) = \gamma \cdot \max\{\mu(x_1), \mu(x_2), \dots, \mu(x_n)\} + (1 - \gamma) \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mu(x_k) \quad \text{Gleichung 45}$$

formuliert werden. Für $\gamma = 1$ ergeben sich die bereits vorgestellten min-max-Operatoren, während für $\gamma = 0$ jeweils das arithmetische Mittel bestimmend ist. Somit wächst mit abnehmenden Werten von γ die Kompensation.

Der γ -Operator

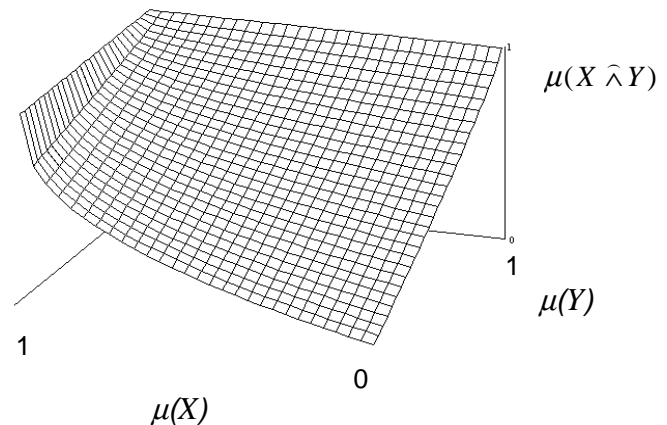
Dies ist der wohl bekannteste Fuzzy-Operator. Empirische Studien haben gezeigt, dass er am ehesten das „menschliche UND“ abzubilden in der Lage ist. Auch hier gibt es einen Kompensationsparameter $\gamma \in [0, 1]$, der das Gewicht zwischen dem eingehenden ODER ($\gamma = 1$) und dem entsprechenden UND-Operator ($\gamma = 0$) darstellt. In seiner allgemeinsten Form wird der Operator mit zwei weiteren Gewichten δ_1 und δ_2 , die eine Asymmetrie zwischen den beiden Variablen abzubilden erlauben, formuliert:

$$\mu(X \hat{\wedge} Y) = \left\{ 1 - (1 - \mu(X))^{\delta_1} \cdot (1 - \mu(Y))^{\delta_2} \right\}^\gamma \cdot \left\{ \mu(X)^{\delta_1} \cdot \mu(Y)^{\delta_2} \right\}^{(1-\gamma)}. \quad \text{Gleichung 46}$$

Die Parameter δ_i und γ müssen wieder mit Hilfe von Fall-, bzw. Expertenwissen bestimmt werden, d. h. die Ergebnisse der formalen Analyse müssen mit einzelnen Beispielen abgeglichen werden. Unter Umständen kann es sich dabei als vorteilhaft erweisen, erst ein mögliches Endresultat einer vollständigen fuzzy-logischen Analyse zum Vergleich zu nutzen.

Zur Veranschaulichung ist der γ -Operator für den Parametersatz, $\gamma = 1$, $\delta_1 = 0.85$ und $\delta_2 = 0.4$, in Abbildung 48 dargestellt.

Abbildung 48: Darstellung des γ -Operators mit Parametern $\gamma = 1$, $\delta_1 = 0.85$ und $\delta_2 = 0.4$: Der Wahrheitswert der Aussage Y wird höher bewertet als der der Variable X .



Der $K_{0.5}$ Operator

Eine spezielle Form des γ -Operators ist der min-max-Kompensationsoperator. Dieser K_γ Operator beschreibt das menschliche Verhalten Kompromisse einzugehen. Auch er enthält sowohl Minimum als auch Maximum Operationen, die je nach Situation mehr zu einem UND, für γ -Werte nahe 0, oder zu einem ODER, für γ -Werte nahe 1, gewichtet werden können.

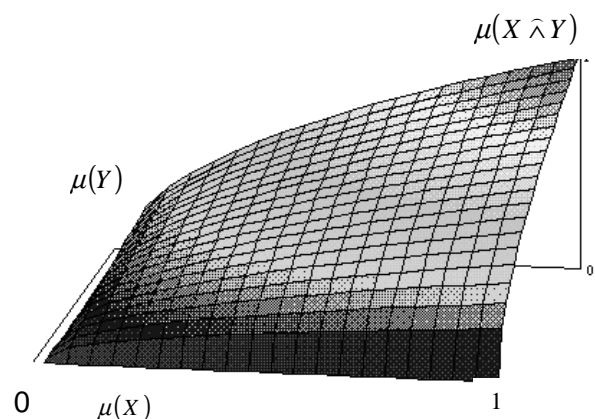
$$K_\gamma(X, Y) = \mu(X \wedge Y) = [\min\{\mu(X, Y)\}]^{1-\gamma} \cdot [\max\{\mu(X, Y)\}]^\gamma \quad \text{Gleichung 47}$$

Für einen für γ -Wert von 0.5 liefert der Operator das geometrische Mittel aus Minimal- und Maximalwert.

$$K_{0.5}(X, Y) = \mu(X \wedge Y) = \sqrt{\mu(X) \cdot \mu(Y)} \quad \text{Gleichung 48}$$

Der $K_{0.5}$ -Operator drückt aus, dass in den Kombinationen zweier Parameter schon die positive Bewertung einer Komponente für Zugehörigkeit zur Aussagenmenge ausreicht. Eine graphische Darstellung dieses Operators ist in Abbildung 49 gegeben.

Abbildung 49: Darstellung eines min-max-Kompensationsoperator K_γ , mit $\gamma = 0.5$.



Literatur

- Abramovitz J.N. and Mattoon A.T. (1999) Reorienting the Forest Products Economy. In: Brown L.R., Flavin C. and French H. (eds) State of the World 1999. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. W. W. Norton & Company, New York.
- Albert M., Brock L., Hessler S., Menzel U. und Neyer J. (1999) Die Neue Weltwirtschaft. Entstofflichung und Entgrenzung der Ökonomie. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Alcamo J. (ed.) (1994) IMAGE2.0. Integrated Modelling of Global Climate Change. Kluwer Academic Publ. Dordrecht, Boston, London.
- Alcamo J., Leemans R. and Kreileman E. (eds.) (1998) Global Change Scenarios of the 21st Century. Results from the IMAGE 2.1 Model. Pergamon, Elsevier Science Ltd, Oxford.
- Alloway B. J. and Ayres D. C. (1993) Chemical Principles of Environmental Pollution. Blackie Academic & Professional, London.
- Angelsen A. (1999) Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights. *Journal of Development Economics*. Vol. 58, p. 185-218.
- Antweiler C. (1999) Immanuel Wallerstein (1930 -) Alle Entwicklung ist eingebettet im kapitalistischen Welt-System. *Entwicklung und Zusammenarbeit*, Jg. 9, S. 253-255.
- Arcworld (1992) A comprehensive GIS database for use with ARC/INFO[®] and ArcView[™]. Environmental Systems Research Institute Inc. Redlands, CA.
- Atfield R. (1998) Existence value and intrinsic value. *Ecological Economics*, Vol. 24(2/3), p. 163-168.
- Awumbila M. and Momsen J. H. (1995) Gender and Environment. Women's Time Use as a Measure of Environmental Change. *Global Environmental Change*, Vol. 5(4), p. 337-346.
- Bächler G. (1994) Desertification and Conflict. The Marginalization of Poverty and of Environmental Conflicts. ENCOP, Occasional Paper No. 10; Zürich/Bern.
- Bächler G., Böge V., Klötzli S., Libiszewski S. und Spillmann K. R. (1996) Kriegsursache Umweltzerstörung: Ökologische Konflikte in der Dritten Welt und Wege ihrer friedlichen Bearbeitung. Band 1. Rüegger, Chur, Zürich.
- Barber C. V. (1998) Forest Resource Scarcity & Social Conflict in Indonesia. *Environment*, Vol. 40 (4), p. 4-37.
- Barrow C. J. (1991) Land Degradation. Development and Breakdown of Terrestrial Environments. Cambridge University Press. Cambridge.
- Barrow C. J. (1995) Developing the Environment - Problems and Management. Longman, London.
- Beck U. (1997) Was ist Globalisierung? Suhrkamp, Frankfurt.
- Belitz H., Blazejczak J., Gornig M., Kohlhaas M., Schulz E., Seidel T. und Vesper D. (1992) Ökologische Sanierung und wirtschaftlicher Strukturwandel in den neuen Bundesländern. Ökologisches Sanierungskonzept Leipzig/Halle/Merseburg. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Beiträge zur Strukturforchung, 132. Duncker und Humblot, Berlin.
- Biermann F., Petschel-Held G. und Rohloff C. (1998) Umweltzerstörung als Konflikursache? Theoretische Konzeptualisierung und empirische Analyse des Zusammenhangs von "Umwelt" und "Sicherheit". *Zeitschrift für Internationale Beziehungen*. Bd. 5(2), p. 273-308.
- Birk H. (1996) Die Weltbevölkerung: Dynamik und Gefahren. Verlag C. H. Beck, München.
- Bodemer K. (1984) Globalmodelle. In: Nohlen D. und Boeckh A. (Hrsg.) Pipers Wörterbuch zur Politik: Band 5. Internationale Beziehungen. Piper, München, Zürich. S. 175-181.
- Boer A. J. de (1989) Sustainable Approaches to Hillside Agricultural Development. In: Leonard, H.J. (Ed.) Environment and the Poor: Development Strategies for a Common Agenda. New Brunswick/Oxford 1989.
- Böhme G. (1993) Fuzzy-Logik. Einführung in die algebraischen und logischen Grundlagen. Springer Verlag, Heidelberg.
- Bornschnier V. (1984) Weltsystem. In: Nohlen D. und Boeckh A. (Hrsg.) Pipers Wörterbuch zur Politik: Band 5. Internationale Beziehungen. Piper, München, Zürich. S. 535-541.
- Brown L. R. and Halweil B. (1999) Populations Outrunning Water Supply as World hits 6 Billion. Pressemitlung Worldwatch Institutes, 23.09. 1999; <http://www.worldwatch.org/alerts/990923.htm>

- Brown L. R., Flavin C. and French H. (eds) (1999) State of the World 1999. A Worldwatch Institute Report on Progress Toward a Sustainable Society. W. W. Norton & Company, New York.
- Brüggemeier F.-J. (1998) Tschernobyl, 26. April 1986. Die ökologische Herausforderung. Reihe 20 Tage im 20. Jahrhundert. dtv, München.
- Bryant D., Nielsen D. and Tangle L. (1997) The Last Frontier Forests: Ecosystems and Economies on the Edge. World Resources Institute, Forests Frontiers Initiative. Washington, DC.
- BUND / MISEREOR (Hrsg.) (1996) Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung. Studie des Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie. Birkhäuser. Basel.
- Burchard G. D., Büttner D. W., Korte R., Kretschmer H. und Meier-Brook C. (1996) Schistosomiasis (Bilharziose). In: Knobloch J. (Hrsg.) Tropen und Reisemedizin. Fischer, Stuttgart, S. 238-256.
- Burschel P. (1995) Wald - Forstwirtschaft und globale Ökologie. Forstwirtschaftliches Centralblatt, Vol. 114, p. 80-96.
- CASS Konferenz der Schweizerischen Wissenschaftlichen Akademien (1997) Visionen der Forschenden: Forschung zu Nachhaltigkeit & Globalem Wandel - Wissenschaftspolitische Visionen der Schweizer Forschenden. ProClim, Forum für Klima & Global Change, Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften, Bern.
- Cassel-Gintz M. (1997) GIS-gestützte Identifizierung und Modellierung anthropogen verursachter, typischer Schädigungsmuster des Globalen Wandels. In: Dollinger F. und Strobl J. (Hrsg.) Angewandte Geographische Informationsverarbeitung IX - Salzburger Geographische Materialien, Heft 26, p. 135-150.
- Cassel-Gintz M., Lüdeke M. K. B., Petschel-Held G., Reusswig F., Plöchl M., Lammel G. and Schellnhuber H. J. (1997) Fuzzy-logic based assessment of the marginality of agricultural land use. *Climate Research*, Vol. 8. 2., p. 135-150.
- Cassel-Gintz M., Lass W., Petschel-Held G., Reusswig F., Moldenhauer O. und Woth K. (1999) Vernetzung von Bio- und Anthroposphäre: Das Raubbau-Syndrom. Gutachten für das Jahresgutachten 1999 des WBGU. Welt im Wandel: Erhalt und nachhaltige Nutzung der Biosphäre.
- Cassel-Gintz M. and Petschel-Held G. (2000) GIS-based assessment of the threat to world forests by patterns of non-sustainable civilisation nature interaction. *Journal of Environmental Management*. Vol. 59, p. 279-298.
- Chao B. F. (1995) Impact on global geodynamics due to reservoir water impoundment. *Geophysical Research Letters*, Vol., 22(24), p. 3525-3528.
- Chase-Dunn C. K. and Hall T. D. (1997) Rise & Demise: Comparing World Systems. Westview Press, Boulder, CO.
- Chase-Dunn C. K. and Hall T. D. (1997a) Ecological Degradation and the Evolution of World Systems. *Journal of World-Systems Research*(<http://csf.colorado.edu/wsystems/jwsr.html>) 3, p. 403-431.
- CIESIN (1992) Pathways of Understanding: The Interactions of Humanity and Global Environmental Change. Consortium for International Earth Science Information Network (CIESIN).
- Cocoyok (1974 / 1975) Erklärung von Cocoyok, verabschiedet von den Teilnehmern des UNEP/UNCTAD-Symposiums über Rohstoffnutzung, Umweltschutz und Entwicklung (8.-12.10.1974, Cocoyok, Mexiko). In: BMZ (Hg.) Entwicklungspolitik. Materialien Nr.49, Bonn, S. 1-9.
- Cohen S. J.(ed) (1993) *Mackenzie Basin Impact Study, Interim Report #1*. Report of Canadian Climate Center. Atmospheric Environment Service of Canada, Toronto.
- Cohen S. J. (ed) (1994) *MacKenzie Basin Impact Study, Interim Report #2*. Proceedings of the mid-study workshop of the Mackenzie Basin Impact Study, Yellowknife, Northwest Territories, 10-14 April. Report of Canadian Climate Center. Atmospheric Environment Service of Canada, Toronto.
- Collins R., Hanneman R. and Mordt G. (1995) Discovering Theory Dynamics by Simulation. *Sociological Methodology*, Vol. 25, p. 1-46.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R. V., Raruelo J., Raskin R. G., Sutton P. and van den Belt M. (1997) The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* 387, p. 253-260.
- Dasgupta P. S. (1995) Bevölkerungswachstum, Armut und Umwelt. *Spektrum der Wissenschaft* 7/1995, p. 54-59.
- Diem A. (1993) Kahlschlag in den Wäldern Britisch-Kolumbiens. *AFZ* Vol. 4, p. 169-173.
- Dierkes M. (1985) Gesellschaft, Technik - Auf dem Wege zu einem neuen gesellschaftlichen Umgang mit der Technik. In: Wildemann (Hrsg.) Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft - Wege zu einem neuen Grundverständnis. Stuttgart.
- DIE ZEIT (1999) Nr. 48; 25.11.1999; S.98

- Doppler W. (1997) Landwirtschaftliche Nutzungssysteme, Bodendegradation und Wüstenbildung. In: Barz W., Brinkmann B. und Fuger F. (Hrsg.) Globale Umweltveränderungen. Symposium am 17. Und 18. Juni 1996 in Münster. Zentrum für Umweltforschung der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. Vorträge und Studien. Heft 7. Ecomed, Landsberg.
- Dörner D. (1993) Die Logik des Mißlingens. Reinbek.
- Douglas I. (1994) Land Degradation in the Humid Tropics. In: Roberts N. (Ed.) The Changing Global Environment. Oxford / Cambridge (USA), p. 332-350.
- Dowlatabadi H. and Morgan M. G. (1993) Integrated Assessment of Climate Change. *Science*, Vol. 259: p.1813-1814.
- Dudley N., Jeanrenaud J.-P. and Sullivan F. (1996) Bad Harvest? The Timber Trade and the Degradation of the World' s Forests. Earthscan, London.
- Dünckmann F. und Wehrhahn R. (1998) Naturschutz im brasilianischen Küstenregenwald. Konzepte und Konflikte. *Geographische Rundschau*, Jg. 50, 5, p. 299-305.
- Durning A. B. (1992) Die Armutsfalle. Die Beziehung zwischen Armut und Umwelt - Die Elendsspirale umdrehen. Schwalbach/Ts.
- ECB (1997) Encyclopaedia Britannica. CD Version 97.
- Eco U. (1993) Umberto Eco: Platon im Striptease-Lokal - Parodien und Travestien. DTV, München.
- Ehrlich P. R. and Holdren J. P. (eds) (1988) The Cassandra conference: Resources for the human predicament. Texas A & M University Press, College Station, TX.
- EK Enquête-Kommission (Hrsg.) (1990) Schutz der Tropenwälder. Zweiter Bericht der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages, Economica Verlag, Bonn.
- EK Enquête-Kommission (Hrsg.) (1994) Schutz der Grünen Erde. Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder. Dritter Bericht der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des 12. Deutschen Bundestages. Economica Verlag, Bonn.
- Etheridge D. M., Pearman G. I. and Fraser P. J. (1992) Changes in tropospheric methane between 1841 and 1978 from a high accumulation rate Antarctic ice core. *Tellus*, Series B, Vol. 44, p. 282-294.
- Etheridge D. M., Steele L. P., Langenfelds R. P., Francey R. J., Barnola J.-M. and Morgan V. I. (1996) Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1,000 years from air in Antarctic ice and firn. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, p. 4115-4128.
- FAO (1994) Digitized Soil Map of the World. CD-ROM Version 3.0. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- FAO (1997) State of the World's Forests 1997. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- FAO (1998) The State of World Fisheries and Aquaculture. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- FAO (1999) State of the World's Forests 1999. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- FAOSTAT (1997) FAOSTAT Statistical Database 1997 on CD-ROM. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- Fearnside P. M. (1993) Deforestation in Brazilian Amazonia: The Effect of Population and Land Tenure. *Ambio* Vol. 22(8), p. 537-545.
- Forester J. (1969) Urban Dynamics. MIT Press, Cambridge.
- Forester J. (1971) World Dynamics. MIT Press, Cambridge.
- Forrester J. (1972) Der teuflische Regelkreis. Deutsche Verlagsanstalt. Stuttgart.
- Franke W. (1992) Nutzpflanzenkunde - Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen. Thieme, Stuttgart.
- Fränzle O. und Daschkeit A. (1997) Die Generierung interdisziplinären Wissens in der deutschen Umweltforschung - Anspruch und Wirklichkeit. Kiel, Geographisches Institut. Typoskript, Abschlußbericht im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Mensch und Globale Umweltveränderungen“.
- Friedman S. M. and Friedman K. A. (1988) Reporting on the Environment: A Handbook for Journalists. Asian Forum of Environmental Journalists, Bangkok.
- Funtowicz S. O. and Ravetz J.R. (1994) The worth of a songbird: ecological economics as a post-normal science. *Ecological Economics*, Vol. 10, p. 197-207.

- Furley P. A. (1994) Tropical Moist Forests: Transformation or Conservation? In: Roberts N. (Ed.) The Changing Global Environment. Oxford / Cambridge (USA), p. 304-331
- George U. (1999) Borneo Report. Tabula Rasa im Namen des Fortschritts. *GEO Wissen*, Nr.25 Regenwald. Gruner + Jahr, Hamburg, p. 84-96.
- GFW (2000) Global Forest Watch. World Resources Institute. <http://www.globalforestwatch.org>.
- Glantz M. H. and Feingold L. E. (1992) Climate variability, climate change, and fisheries: A summary. In: Glantz M. H. (ed) Climate Variability, Climate Change and Fisheries. Cambridge University Press, Cambridge.
- Goudie A. (1994) Dryland Degradation. In: Roberts N. (Ed.) The Changing Global Environment. Oxford / Cambridge (USA). p. 351-368.
- Gowdy J. M. (1997) The value of biodiversity: markets, society and ecosystems. *Land Economics*, Vol. 73(1), p. 25-41.
- Greenpeace (1998) Ancient Forests. Greenpeace Forest Campaign. <http://www.greenpeace.org/>.
- Greenpeace (1999) Gefahr für Amazonien. *Greenpeace Newsletter*. 10/1999.
- Groot R. de (1992) Functions of Nature, Groningen.
- Hampicke U. (1992) Ökologische Ökonomie, Opladen.
- Hanley N. and Spash C. (1995) Problems in Valuing the Benefits of Biodiversity Protection. *Environmental and Resource Economics*, Vol.5, p. 249-272.
- Harborth H.-J. (1993) Dauerhafte Entwicklung statt globaler Selbstzerstörung. Edition SIGMA Berlin. 2. Auflage.
- Hardin G. (1968) The Tragedy of the Commons. *Science*, Vol. 162: 1242-1248.
- Hardin G. (1994) The Tragedy of the Unmanaged Commons. *Trends in Ecological Economics*, Vol.9(5), p. 199-210.
- Harrod R. F. (1958) The Possibilities of Economic Safety - Use of Economic Growth for Improving the Quality of Education and Leisure. In: Committee for Economic Development. Problems of United States Economic Development. New York. Vol. I, p. 207-213.
- Hartje V. (1993) Landnutzungsrechte im Sahel. In: Sautter H. (Hrsg.) Entwicklung und Umwelt. Schriften des Vereins für Sozialpolitik, 216, Duncker & Humblot, Berlin, S. 61-105
- Hegerl G. C., Hasselmann K., Cubasch U., Mitchell J. F. B., Roeckner E., Voss R., and Waskewitz J. (1997) Multi-fingerprint detection and attribution analysis of greenhouse gas, greenhouse gas-plus-aerosol, and solar forced climate change. *Climate Dynamics*, Vol. 13, p. 613-634.
- Heilig G. (1994) Neglected Dimensions of Global Land-Use Change: Reflections and Data. In: Population and Development Review 20, No. 4, p. 831-859.
- Held D. A., McGrew D. G. and Perraton J. (1999) Global Transformations: Politics, Economics and Culture. Polity, Cambridge.
- Hellstern E. (1993) Soziale Differenzierung und Umweltzerstörung. Bäuerliches Wirtschaften in einer Bergregion der Dominikanischen Republik. Saarbrücken/Fort Lauderdale.
- Herkendell J. und Pretzsch J. (Hrsg.) (1995) Die Wälder der Erde. Bestandsaufnahme und Perspektiven. München.
- Herrera A. O. und Skolnik H. D. (1977) Grenzen des Elends - Das Bariloche-Modell: So kann die Menschheit überleben. Frankfurt/Main.
- Heywood V. H. and Watson R. T. (eds) (1995) Global Biodiversity Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Homer-Dixon T. F. (1999) Environment Scarcity, and Violence. Princeton University Press, Princeton.
- ICWC (1998) Ice Core Contributions to Global Change Research: Past Successes and Future Directions. Ice Core Working Group, May, 1998. <http://www.nicl-smo.sr.unh.edu/icwg/icwgh.html>.
- IFAD (1992) Soil and Water Conservation in Sub-Saharan Africa. Towards Sustainable Production by the Rural Poor. International Fund for Agricultural Development, Amsterdam.
- IIASA (1994) Siberian Forests. *Options*. Winter 1994.
- ILO (1994) World Labour Report 1994. International Labour Office, Geneva, Switzerland.
- IPCC (1996) Climate Change 1995. Second Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. (3 Volumes).
- Iremonger S., Ravillious C. and Quinton T. (eds.) (1997) A global overview of forest conservation. CD-ROM WCMC and CIFOR, Cambridge, U.K.

- ISÖ (1994) Sustainable Netherlands. Aktionsplan für eine nachhaltige Entwicklung der Niederlande. Institut für sozial-ökologische Forschung / Milieudéfense (Friends of the Earth Netherlands), Frankfurt am Main.
- Jepma C. J. (1995) Tropical Deforestation. A Socio-Economic Approach. Earthscan, London.
- Johnson, D. L. and Lewis, L. A. (1995) Land Degradation: Creation and Destruction. Oxford and Cambridge, USA.
- Kahn J. R. and McDonald J. A. (1995) Third-World Debt and Tropical Deforestation. *Ecological Economics*, Vol. 12, No. 2.
- Kasperson J. X., Kasperson R. E. and Turner II B. L. (eds) (1995) Regions at Risk. Comparisons of Threatened Environments. United Nations University Press, Tokyo, New York, Paris.
- Kates R. W. and Haarmann V. (1992) Where The Poor Live - Are the Assumptions Correct? *Environment* Vol. 34, p. 5-29.
- Kaufmann R. K. and Stern D. I. (1997) Evidence for human influence on climate from hemispheric temperature relations. *Nature*, Vol. 388, p. 39-44.
- Keeling C. K., Adams J. A., Ekdahl C. A. and Guenther P. R. (1976) Atmospheric carbon dioxide variations at the South Pole, *Tellus*, Vol. 28, p. 552-564.
- Kirk M. (1994) Bodenrecht, technologischer Wandel und Ressourcennutzung im Transformationsprozeß afrikanischer Agrarsysteme. Univ. Habilitationsschrift im Fach Agrarökonomie. Göttingen.
- Knapp P. (1999) Evolution, Complex Systems and the Dialectic. *Journal of World-Systems Research* (<http://csf.colorado.edu/wsystems/jwsr.html>) 5, p. 74-103.
- Knighton D. (1998) Fluvial Forms and Processes. A New Perspective. John Wiley & Sons, London.
- Kohlmaier G. H., Badeck F. W., Otto R. D., Häger C., Dönges S., Kindermann J., Würth G., Lang T., Jäkel U., Nadler A., Klaudius A., Ramge P., Habermehl S. and Lüdeke M. K. B. (1997) The Frankfurt Biosphere Model: A global process-oriented model for the seasonal and long-term CO₂ exchange between terrestrial ecosystems and the atmosphere. Part 2: Global results for potential vegetation in an assumed equilibrium state. *Climate Research*, Vol. 8. p. 61-87.
- Körner (1993) Zaire. In: Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) Handbuch der Dritten Welt. Band 4: Westafrika und Zentralafrika. Dietz, Bonn, S. 503-522.
- Kosko B. (1986) Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies* 24: 65-75
- Krings T. (1993) Struktur- und Entwicklungsprobleme der Sahelländer. In: Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) Handbuch der Dritten Welt. Band 4: Westafrika und Zentralafrika. Dietz, Bonn, S. 130-153.
- Krings T. (1998) Zerstörung der Tropenwälder. Ein globales Problem dargestellt am Beispiel von Laos. *Geographische Rundschau*, Jg. 50, Heft 5, S. 291-298.
- Krishnaswamy A. and Hanson A. (1999) Summary Report World Commission on Forests and Sustainable Development. WCFSD, <http://iisd1.iisd.ca/wcfsd/wcfsdsummary.pdf>.
- Krol M. S., Jaeger A., Bronstert A. und Krywkow J. (2000) Verbundprojekt WAVES Statusbericht der ersten Hauptphase. Fachbereich Integrierte Modellierung. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.
- Kropp J. (1999) Neuronale Netzwerke und qualitative Wissensbasen in der integrativen Umweltsystemanalyse. dissertation.de Verlag im Internet, Berlin.
- Kruse R., Gebhardt J. und Klawonn F. (1993) Fuzzy-Systeme. B.G. Teubner. Stuttgart.
- Kuipers B. (1994) Qualitative reasoning: modeling and simulation with incomplete knowledge. The MIT Press. Cambridge. Massachusetts.
- Lachenmann G. (1992) Grüner Wall gegen die Wüste oder ökologischer im Sahel. In: Glaeser und Teherani-Krönner P. (Hrsg.) Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen - Ansätze - Praxis. Opladen.
- Lal R. and Steward B. A. (1990) Soil Degradation. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Lambin E. and Mertens B. (1997) Human ecology, remote sensing and spatial modelling of land-use changes in Afrika. *LUCC Newsletter*, No.2, p. 6-9.
- Lambin E. and Ehrlich D. (1997) Land-cover changes in sub-Saharan Africa (1982-1991): Application of a change index based on remotely-sensed surface temperature and vegetation indices at a continental scale. *Remote Sensing Environment*. Vol. 61, p.181-200.
- Lamprey (1983) Pastoralism yesterday and today: The over-grazing problem. In: Bourliere F. (ed.) Tropical Savanna. Ecosystems of the World. Vol. 13. Amsterdam, p. 643-666.
- Leemans R. and Cramer W. (1991) The IIASA-Database for mean monthly values of temperature, precipitation and cloudiness of a global terrestrial grid. IIASA, Laxenburg / Austria (RR-91-18).

- Leemans R. and van den Born (1994) Determining the potential distribution of vegetation, crops and agricultural productivity. *Journal of Water Air and Soil Pollution*, Vol. 76, p. 133-161.
- Leisinger K. M. und Schmitt K. (Hrsg.) (1992) Überleben im Sahel. Eine ökologische und entwicklungspolitische Herausforderung. Basel/Boston/Berlin.
- Lenz L. (1994) Ressourcennutzung ethnischer Gruppen und Landnutzungsplanung. Dargestellt am Beispiel zweier Fallstudien in der Sahelprovinz Oudalan und der Bodenreform 1991 Burkina Faso/Westafrika. Diplomarbeit am Fachbereich Umwelt und Gesellschaft, Studiengang Landschaftsplanung, TU Berlin. Berlin.
- Leonard H. J. (ed) (1989) Environment and the Poor: Development Strategies for a Common Agenda. New Brunswick/Oxford.
- Lewin R. (1992) Complexity: Life at the Edge of Chaos. Macmillan, New York.
- Linnemann H., De Hoogh J., Keyzer M. et al. (1979) MOIRA - Model of International Relations in Agriculture. Amsterdam.
- Lohnert B. and Geist H. (eds) (1999) Coping with Changing Environments. Social dimensions of endangered ecosystems in the developing World. Ashgate, Aldershot, Brookfield, Singapore, Sydney.
- Lüdeke M. K. B. (1997) Archetypical patterns of non-sustainable development on the global scale: the Syndrome concept. In: Elohimji, Para-Luna F. and Stuhler E. A. (eds) Sustainable Development: Towards measuring the performance of integrated socioeconomic & environmental systems. 14th International Conference of WACRA EUROPE, Madrid.
- Lüdeke M. K. B. and Petschel-Held G. (1997) Syndromes of Global Change: An Information Structure for Sustainable Development. In: SCOPE 58 Sustainability Indicators: A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England. p. 96-98.
- Lüdeke M. K. B., Moldenhauer O. and Petschel-Held G. (1999) Rural poverty driven soil degradation under climate change: the sensitivity of the disposition towards the SAHEL-SYNDROM with respect to climate. *Environmental Modelling & Assessment* 4; p. 315-326. Special Issue on Earth System Analysis.
- Machida T. Nakazawa T., Fujii Y., Aoke S. and Watanabe O. (1995) Increase in atmospheric nitrous oxide concentrations during the last 250 years. *Geophysical Research Letters*, Vol. 22, p. 2921-2924.
- Manshard W. und Mäckel R. (1995) Umwelt und Entwicklung in den Tropen. Naturpotential und Landnutzung. Darmstadt.
- Marsh G. P. (1864) Man and Nature: The Earth as Modified by Human Action. Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, 1965 edition.
- Martens W. J. M. (1995) Modelling the Effect of Global Warming on the Prevalence of Schistosomiasis. RIVM, Bilthoven.
- Martens W. J. M., Rotmans J., and Niessen L. W. (1994) Climate Change and Malaria Risk; an integrated modelling approach. RIVM Rapport 461502003.
- Martin H.-P. and Schumann H. (1997) The Global Trap: Globalization and the Assault on Prosperity and Democracy. Zed Books and Pluto Press Australia, London and New York, and Sydney.
- McEvedy C. and Jones R. (1978) Atlas of world population history. Penguin.
- McNeely J. A., Gadgil M., Leveque C., Padoch C. and Redford K. (1995) Human influence on Biodiversity. In: Heywood V. H. and Watson R. T. (eds) Global Biodiversity Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. und Behrens W. W. (1972) Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Deutsche Verlagsanstalt. Stuttgart.
- Meadows D. H., Meadows D. L. und Randers J. (1992) Die neuen Grenzen des Wachstums. Deutsche Verlagsanstalt. Stuttgart.
- Mellilo J. M., McGuire A. D., Kicklighter D. W., Moore III B., Vorosmarty C. J. and Schloss A. L. (1993) Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*, Vol. 363, p. 234-240.
- Menzel U. (1998) Globalisierung versus Fragmentierung. Suhrkamp, Frankfurt a.M.
- Mertens B. and Lambin E. (1997) Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, Vol. 17, No. 2, p. 143-162.
- Mesarovic M. und Pestel E. (1974) Menschheit am Wendepunkt. Bericht an den Club of Rome zur Weltlage. Stuttgart.
- Miller M. (1991) Debt and the Environment: Converging Crisis. United Nation Publications, New York.

- Mitchell G., May A. and McDonald A. (1995) PICABUE: a methodological framework for the development of indicators on sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, Vol. 2, p. 104-123.
- Moffatt I. (1994) On measuring sustainable development indicators. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, Vol. 1, p. 97-109.
- Mohamed Salih M. A. (1992) Environmental Conflicts in African Arid Lands: Cases from the Sudan and Nigeria. In: Käkönen J. (ed) *Perspectives on Environmental Conflict and International Relations*. London/New York. p. 116-135.
- Moldenhauer O. and Lüdeke M. K. B. (2001) Climate Sensitivity of Global Terrestrial Net Primary Production (NPP) Calculated Using the Reduced Form Model NNN. *Climate Research*, accepted for publication.
- Moorehead R. (1992) Land Tenure and Environmental Conflict: The Case of the Inland Niger Delta, Mali. In: Käkönen J. (ed) *Perspectives on Environmental Conflict and International Relations*. London/New York. p. 96-115.
- Morgan M. G. and Dowlatabadi H. (1996) Learning from Integrated Assessment of Climate Change. *Climate Change*, Vol. 34, p. 337-368.
- Morse P. M. (1998) Statement on Release of 'Troubled Waters: A Call to Action'. <http://www.mcabi.org>.
- Morse S. S. (1995) Factors in the emergence of infectious diseases. *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 1(1), p. 7-15.
- Myers N. (1981) The hamburger connection: how Central America's forests become North America's hamburgers. *Ambio*, Vol. 10, p. 3-8.
- Nadelhoffer K. J., Emmet B. A., Gunderson P., Kjønaas O. J., Koopmanns C. J., Schleppi P., Tietema A. and Wright R. F. (1999) Nitrogen deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. *Nature*, Vol. 398, p. 145-148.
- Nepstad D. C., Verissimo A., Alencar A., Nobre C., Lima E., Lefebvre P., Schlesinger P., Potter C., Moutinho P., Mendoza E., Cochrane M. and Brooks V. (1999) Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, Vol. 398, p. 505-508.
- Neugebauer B. (1995) Lateinamerika. In: Herkendell J. und Pretzsch J. (Hrsg.) *Die Wälder der Erde. Bestandsaufnahme und Perspektiven*. München. S. 123-147.
- Nisbet E. G. (1994) *Globale Umweltveränderungen. Ursachen, Folgen, Handlungsmöglichkeiten*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) (1992) *Handbuch der Dritten Welt. Band 2: Südamerika*. Dietz, Bonn.
- Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) (1993) *Handbuch der Dritten Welt. Band 4: Westafrika und Zentralafrika*. Bonn
- Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) (1993) *Handbuch der Dritten Welt. Band 5: Ostafrika und Südafrika*. Bonn.
- Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) (1994) *Handbuch der Dritten Welt. Band 7: Südasien und Südostasien*. Dietz, Bonn.
- Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) (1994a) *Handbuch der Dritten Welt. Band 8: Ostasien und Ozeanien*. Dietz, Bonn.
- NRC National Research Council (1999) *Our Common Journey: A Transition Toward Sustainability*. National Academy Press. <http://books.nap.edu/books/0309067839/html/index.html>
- Nutzinger H. G. und Radke V. (1995) Wege zur Nachhaltigkeit. In: Nutzinger H. G. und Radke V. (Hrsg.) *Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung. Konzepte, Ansatzpunkte, Bedingungen*: Metropolis, S. 225-256.
- Oberthür S. (1997) *Production and Consumption of Ozone-Depleting Substances, 1986-1995*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Bonn.
- Odum H.T. (1983) *Systems Ecology: An Introduction*. John Wiley and Sons, New York.
- Ohmae K. (1995) *The End of the Nation-State: The Rise of Regional Economies*. Harper Collins, New York.
- Oldeman L. R., Hakkeling R. T. A. and Sombroek W. G. (1990) World map of the status of human induced soil degradation. An explanatory note. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, NL.
- Oldeman L. R. (1994) The Global Extent of Soil Degradation. In: Greenland D.J. and Szabolcs I. (eds) *Soil Resilience and Sustainable Land Use*. CAB International, Oxon, U.K. p. 115.
- Olson J., Watts J. A. and Allison L. J. (1985) Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: a database. NDP-017. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge

- Parayil G. and Tong F. (1998) Pasture-led to logging-led deforestation in the Brazilian Amazon: The dynamics of socio-environmental change. *Global Environmental Change*, Vol. 8(1), p. 63-79.
- Parson E. A. and Fisher-Vanden K. (1997) Integrated Assessment of Global Climate Change. In: *Annual Review of Energy and the Environment* 22.
- Pearce F. (1993): The Scandal of Siberia. *New Scientist*, Vol. 11, p. 28 – 33.
- Petermann T. (1998) Folgen des Tourismus 1. Gesellschaftliche, ökologische und technische Dimensionen. Edition SIGMA R. Bohn, Berlin.
- Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V. M., Legrand M., Lipenkov V. Y., Lorius C.; Pépin L., Ritz C., Saltzman E. and Stievenard M (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, Vol. 399, p. 429 - 436.
- Petschel-Held G., Block A. und Schellnhuber H. J. (1995) Syndrome des Globalen Wandels - Ein systemarerer Ansatz für Sustainable-Development Indikatoren. *GEOWissenschaften*, 3:, S. 81-87.
- Petschel-Held G., Block A., Cassel-Gintz M., Lüdeke M. K. B., Kropp J., Moldenhauer O., Reusswig F. and Schellnhuber H. J. (1999) Syndromes of Global Change: a qualitative modelling approach to assist global environmental management. *Environmental Modelling and Assessment*, Vol. 4; p. 295-314. Special Issue on Earth System Analysis.
- Petschel-Held G., Lüdeke M. K. B. and Reusswig F. (1999a) Actors, Structures and Environments. A comparative and transdisciplinary view on regional case studies of global environmental change. In: Lohnert B. and Geist H. (eds) *Coping with Changing Environments. Social dimensions of endangered ecosystems in the developing World*. Ashgate, Aldershot, Brookfield, Singapore, Sydney.
- Petschel-Held G., Schellnhuber H. J. Bruckner T., Toth F. L. and Hasselmann K. (1999b) The Tolerable Windows Approach: Theoretical and Methodological Foundations. *Climatic Change*, Vol. 41, p. 303-331.
- Petschel-Held G. and Lüdeke M. K. B. (2001) Integration of Case Studies on Global Change by Means of Qualitative Differential Equations. *Integrated Assessment*, accepted for publication.
- Pimentel D. (1997) Soil erosion and agricultural productivity: The global population / food Problem. *GAIA*, Vol. 6(3), p. 197-204.
- Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R. and Blair R. (1995) Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science*, Vol. 267, p. 1117-1123.
- Pohl M. (1994) Koreanische Volksdemokratische Republik. In: Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) Band 8: Ostasien und Ozeanien. Dietz, Bonn, S. 139-167.
- Potter L. (1993) The Onslaught on the Forests in South-East Asia. In: H. Brookfield and Y. Byron (eds) *South-East Asia's Environmental Future - The search for sustainability*. United Nations University Press, Tokyo. p. 103-132.
- Potter L., Brookfield H. and Byron Y. (1995) The Eastern Sundaland Region of South-East Asia. In: Kasperson J. X., Kasperson R. E. and Turner II B. L. (eds) *Regions at Risk. Comparisons of Threatened Environments*. United Nations University Press, Tokyo, New York, Paris, p. 460-518.
- QUESTIONS (Autorenteam: Block A., Cassel-Gintz M., Dehio J., Lammel G., Lass W., Lienenkamp R., Loose C., Lüdeke M. K. B., Petschel-Held G., Reusswig F., Schulze-Bisping H. und Siebe T.) (1996) Reader für den QUESTIONS Status-Workshop, 28-29 Juni 1996 Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, <http://www.pik-potsdam.de/>.
- QUESTIONS (Autorenteam: Block A., Cassel-Gintz M., Kropp J., Lüdeke M. K. B., Moldenhauer O., Peschel-Held G., Reusswig F. und Schellnhuber H. J.) (1998) Globaler Wandel: GIS-gestützte Erfassung und Modellierung der Syndromdynamik. Abschlußbericht des BMBF Forschungsprojekts, Förderkennzeichen 01LG9401/5. <http://www.pik-potsdam.de/>.
- Rahmstorf S. (1995) Bifurcations of the Atlantic Thermohaline Circulation in Response to Changes in the Hydrological Cycle. *Nature*, Vol. 378, p. 197-149.
- Randzio-Plath C. und Mangold-Wegner S. (Hrsg.) (1995) *Frauen im Süden. Unser Reichtum - ihre Armut*. Bonn.
- Rempiss M. (1999) Brasiliens Rinderwirtschaft- Natur zu Fleisch? *Geographische Rundschau*, Jg. 51, Heft 5, S. 256-262.
- Reid W., Barber C. V. and Miller K. R. (eds) (1992) *Global Biodiversity Strategy: Guidelines for Action to Save, Study, and Use Earth's Biotic Wealth Sustainably and Equitably*. WRI, IUCN, UNEP, in consultation with FAO and UNESCO, Washington.

- Reusswig F. und Schellnhuber H. J. (1997) Die globale Umwelt als Wille & Vorstellung. Zur transdisziplinären Erforschung des Globalen Wandels. In: Daschkeit A. und Schröder W. (Hrsg.) Umweltforschung quergedacht. Perspektiven integrierter Umweltforschung & -lehre. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Richter M. und Bähler J. (1998) Risiken und Erfordernisse einer umweltverträglichen Ressourcennutzung in Chile. *Geographische Rundschau*, Jg. 50, Heft 11, p. 641-648.
- Roberts N. (ed) (1994) *The Changing Global Environment*. Oxford / Cambridge, USA.
- Rocheleau D., Benjamin P. and Diang'a A. (1995) The Ukambani Region in Kenya. In: Kasperson J. X., Kasperson R. E. and Turner II, B. L. (eds) *Regions at Risk*. Tokyo: United Nations University Press.
- Rotmans J. (1994) TARGETS in transition. RIVM report, Rijksinstiut Voor Volksgezondheid En Milieuhygiene (National Institute of Public Health and Environment), Bilthoven, The Netherlands.
- Rotmans J. and de Vries B. (1997) *Perspectives on Global Change: The TARGETS Approach*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rotmans J. (1998) Global Change and Sustainable Development: Towards an Integrated Conceptual Model. In: Schellnhuber H. J. and Wenzel V. (eds) *Earth System Analysis: Integrating Science for Sustainability*. Springer, Heidelberg.
- Rotmans J. (1998a) Methods for IA: The challenges and opportunities ahead. *Environmental Modelling and Assessment*, Vol. 3, p. 155-179. Special Issue: Challenges and Opportunities for Integrated Environmental Assessment.
- Rotmans J. and Dowlatabadi H. (1998) Integrated Assessment of Climate Change: Evaluation of Methods and Strategies. In: Rayner S. and Malone E. (eds) *Human Choice and Climate Change: An International Social Science Assessment*. Battelle Press, Washington USA.
- Rudel T. and Roper J. (1997) The Paths to Rain Forest Destruction: Crossnational Patterns of Tropical Deforestation, 1975-90. *World Development*, Vol. 25, No.1, p. 53-65.
- Sangmeister H. (1992) Brasilien. In: Nohlen D. und Nuscheler F. (Hrsg.) *Handbuch der Dritten Welt*. Band 2: Südamerika. Dietz, Bonn, S. 219-276.
- SARU Staff (1977) SARUM 76 - Global Modelling Project, Research Report Nr. 19, UK Departments of Environment and Transport, London.
- Schellnhuber H. J., Block A., Cassel-Gintz M., Kropp J., Lammel G., Lass W., Lienenkamp R., Loose C., Lüdeke M. K. B., Moldenhauer O., Petschel-Held G., Plöchl M. and Reusswig F. (1997) Syndromes of Global Change. *GAIA*, Vol. 6. 1, p. 19-34.
- Schellnhuber H. J. (1998) Earth System Analysis - The Scope of the Challenge. In: Schellnhuber H. J. and Wenzel V. (eds) *Earth System Analysis: Integrating Science for Sustainability*. Springer, Heidelberg.
- Schellnhuber H. J. and Wenzel V. (1998) *Earth System Analysis: Integrating Science for Sustainability*. Springer, Heidelberg.
- Schellnhuber H. J. and Yohe G. (1998) Comprehending the Economic and Social Dimensions of Climate Change by Integrated Assessment. *Proceedings of the WCRP-Conference: Achievements, Benefits and Challenges*, 26-28 August 1997 Geneva: p. 179.
- Schellnhuber H. J. and Kropp J. (1999) Geocybernetics: Controlling a complex dynamical system under uncertainty. *Naturwissenschaften*, Vol. 85(9), p. 411-425.
- Schlamadinger B., Spitzer J., Kohlmaier G. H., Lüdeke M. K. B. (1995) Carbon Balance of Bioenergy from Logging Residues. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 8, p.221-234.
- Schmidt R. (Hrsg.) (1997) *Waldpolitik und nachhaltige Entwicklung*. Studie im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn. <http://www.fes.de/>.
- Scholz F. (1995) Nomadismus. Theorie und Wandel einer sozio-ökologischen Kulturweise. *Erdkundliches Wissen* 18. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Scholz F. (1999) Ist Nomadismus tot? Mobile Tierhaltung als zeitgemäße Nutzungsform der kargen Weiden des Altweltlichen Trockengürtels. *Geographische Rundschau*, Jg. 51, Heft 5, p. 248-255.
- Scholz I. (1999) *Situation und Perspektiven der Holzindustrie in Amazonien*. Dissertation. Kurzfassung. Typoskript. Berlin
- Schramm E. (Hrsg.) (1984) *Ökologie-Lesebuch*. Ausgewählte Texte zur Entwicklung des ökologischen Denkens. fischer alternativ, Frankfurt am Main.

- Schröder J. M. und Heuvelodop J. (1995) Südostasien. In: Herkendell J. und Pretzsch J. (Hrsg.) (1995) Die Wälder der Erde. Bestandsaufnahme und Perspektiven. München. S. 51-59.
- Schug W., Léon J. und Gravert H. O. (1996) Welternährung. Herausforderungen an Pflanzenbau und Tierhaltung. Darmstadt.
- Schulze E. D. and Mooney H. A. (eds) (1993) Biodiversity and Ecosystem Function. Ecological Studies, Vol. 99, Springer Verlag, Berlin.
- Seidl I. und Gowdy J.M. (1999) Monetäre Bewertung von Biodiversität: Grundannahmen, Schritte, Probleme und Folgerungen. *GAIA*, Vol. 8, S. 102-112.
- Sen A. (1981) Poverty and Famines. An Essay on Entitlement and Deprivation. Oxford.
- Shvidenko A. S., Kusmitschew A. und Cejchan S. (1992) Stand und Entwicklung der Holznutzung in der Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (ehem. Sowjetunion). *Holz-Zentralblatt*, S. 892-894, 1116-1118.
- Shvidenko A. S. and Nilsson S. (1994) What do we know about the Siberian forests? *Ambio*, Vol. 23, p. 396-404.
- Singh K. D. and Marzoli A. (1995) Deforestation Trends in the Tropics: A Time Series Analysis. Paper presented at the World Wildlife Fund Conference on Potential Impact of Climate Change on Tropical Forests, San Juan, Puerto Rico, April 1995, p. 8-9.
- Sinn H. W. (1988) The Sahel Problem. *Kyklos. International Review for Social Sciences*. Vol. 41, 2, p. 187-213.
- Smil V. (1993) Global Ecology. Environmental change and social flexibility. Routledge, London und New York.
- Smith N. J. H., Serrao E. A. S., Alvim P. T. and Falesi I. C. (1995) Amazonia. Resiliency and Dynamism of the Land and Its People. In: Kasperson J. X., Kasperson R. E. and Turner II, B. L. (eds) *Regions at Risk*. Tokyo: United Nations University Press.
- Soltwedel-Schäfer I. (1997) "Clearcutting" Forestry and Landrights in Canada. Europafraktion "Die Grünen".
- Stähler F. (1994) Biological Diversity. The International Management of Genetic Resources and its Impacts on Biotechnology. *Ecological Economics*, Vol. 11, p. 227-236.
- Stone S. W. (1998) Using a geographic information system for applied policy analysis: the case of logging in the Eastern Amazon. *Ecological Economics*, Vol. 27, p. 43-61.
- Tilman D. (1993) Community Diversity and Succession: The Role of Competition, Dispersal, and Habitat Modification. In: Schulze E.D. and Mooney H. A. (eds) *Biodiversity and Ecosystem Function*. Ecological Studies Vol. 99, Springer Verlag, Berlin, p. 327-341.
- Tobler W., Deichmann U., Gottsegen J. and Maloy K. (1995) The Global Demography Project. National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, TR-95-6.
- Tol R. S. J. and Vellinga P. (1998) The European Forum on Integrated Environmental Assessment. *Environmental Modelling and Assessment*, Vol. 3, p. 181-191. Special Issue: Challenges and Opportunities for Integrated Environmental Assessment.
- Transparency International (1998) The Corruption Perception Index. <http://www.transparency.de/cpi/index.html>.
- Turner II B. L., Clark W. C., Kates R. W., Richards J. F., Tuchman-Mathews J. and Meyer W. B. (Eds) (1990) *The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Turner II B. L., Moss R. H. and Skole D. L. (1993) Relating land use and global land cover change: a proposal for an IGBP-HDP CORE PROJECT: IGBP Report 24 / HDP Report 5, Stockholm.
- Turner II B. L., Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L., Leemans, R. (1995) Land-Use and Land-Cover Change. Science / Research Plan. HDP Report 7 / IGBP Report 35, Stockholm and Geneva.
- U. S. Department of Transportation (1997) National Transportation Atlas Database NTAD 1997. <http://www.bts.gov/gis/ntatlas/>.
- U. S. National Geophysical Data Center (1988) ETOPO5 Global elevation at 5 minutes resolution. USNGDC Boulder, CO.
- UN (1996) World Population Prospects, 1950-2050 (The 1996 Revision). Population Division of The United Nations. U. N., New York.
- UN (1997) Critical Trends: Global Change and Sustainable Development. United Nations, New York.
- UNCED (1992) Konferenzdokumente. United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro.
- UNDP (1994) Human Development Report 1994. United Nations Development Programme. Oxford University Press, New York, Oxford.

- UNEP (1997) Global Environment Outlook. United Nations Environment Programme. Oxford University Press, New York.
- UNEP (1999) Global Environmental Outlook 2000. United Nations Environment Programme. <http://www.unep.org>.
- UNRISD (1994) Environmental degradation and social integration. United Nations Research for Social Development, Geneva.
- Veldkamp A. & Fresco L. O. (1996) CLUE: a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its effects. *Ecological Modelling*, Vol. 85, p. 253-270.
- Verissimo A., Baretto P., Mattos M., Tarif R. and Uhl C. (1992) Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian Frontier: the case of Paragominas. *Forest Ecology and Management*, Vol. 55, p. 169-199.
- Verissimo A., Baretto P., Tarif R. and Uhl C. (1995) Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of Mahogany. *Forest Ecology and Management*, Vol. 72, p. 39-60.
- Walker R. and Homma A. K. O. (1996) Land-use and land cover dynamics in the Brazilian Amazon: an overview. *Ecological Economics*, Vol. 18, p. 67-80.
- Walter H. und Brekle S.-W. (1992) Ökologie der Erde. Band 1 -Ökologische Grundlagen in globaler Sicht. 2. überarbeitete Auflage. UTB Große Reihe. Fischer, Stuttgart.
- Warnant P., Francois L., Nemry B., Hubert B., Molitor N., Colinet G. and Gérard J. C. (1995) A new distribution of vegetation types and its inclusion in a global biosphere model. In: Guyot G. (ed) Proceedings of the International Colloquium Photosynthesis and Remote Sensing. 28-30 August 1995. Montpellier (France).
- WBGU (1993) Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umweltbeziehungen, Jahresgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung 1993. Economica Verlag, Bonn.
- WBGU (1994) Welt im Wandel: Die Gefährdung der Böden. Jahresgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung 1994. Economica Verlag, Bonn.
- WBGU (1996) Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Forschung. Jahresgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung 1996. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- WBGU (1997) Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser. Jahresgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung 1997. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- WBGU (1998) Welt im Wandel: Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken. Jahresgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung 1998. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- WBGU (2000) Welt im Wandel: Erhalt und nachhaltige Nutzung der Biosphäre. Jahresgutachten des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung 1999. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- WCD (2000) Dams and Development. A New Framework for Decision-Making. The Report of the World Commission on Dams. <http://www.dams.org/report/contents.htm>.
- WCED (1987) Our Common Future (The Brundtland-Report). World Commission on Environment and Development. Oxford University Press. Oxford, New York.
- WCMC (Comp.) Groombridge B. (ed) (1994) Biodiversity Data Sourcebook. World Conservation Monitoring Centre. World Conservation Press, Cambridge, UK.
- Weyant J., Davidson O., Dowlatabadi H., Edmonds J., Grubb M., Parson E. A., Richles R., Rotmans J., Shukla P. R., Tol R. S. J., Cline W. and Frankhauser S. (1996) Integrated Assessment of Climate Change: An overview and comparison of approaches and results. In: Bruce J. P., Lee H. and Haites E. F. (eds) Economic and Social Dimension of Global Change. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge UK.
- WHO (1996) Global health situation: analysis and projection 1950 - 2025, A health future trend assessment in support of Health for All. World Health Organisation, Geneva.
- Williams M. (1990) Forests. In: Turner II B. L., Clark W. C., Kates R. W., Richards J. F., Tuchman-Mathews J. and Meyer W. B. (Eds) The Earth as Transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the Past 300 Years. Cambridge University Press, Cambridge.
- WMO (1997) Natural Disasters and Human Settlements: A Statistical Survey. World Meteorological Organization, Geneva.
- Wöhlcke (1994) Brasilien - Diagnose einer Krise. Beck, München.
- World Bank / WWF (1999). Annual Report - 1999. World Bank / WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use. <http://www.esd.worldbank.org/wwf/annualreport.htm>.
- WRI (1992) World Resources 1992-93: A Guide to the Global Environment. Oxford University Press, Oxford, New York.
- WRI (1994) World Resources 1994-95: A Guide to the Global Environment. Oxford University Press, Oxford, New York.

- WRI (1996) World Resources 1996-97: A Guide to the Global Environment - Part I: The Urban Environment. World Resource Institute. <http://www.wri.org/>.
- WRI (1997) The Last Frontier Forests: Ecosystems and Economies on The Edge. World Resources Institute: Forest Frontier Initiative. <http://www.wri.org/ffi/maps/>
- WRI (1997a) Biodiversity Internet site. World Resources Institute. <http://www.wri.org/>
- WRI (1998) Reefs at Risk: A Map-Based Indicator of Threats to the World's Coral Reefs. World Resources Institute <http://www.wri.org/indictrs/reefrisk.htm>.
- WRI (1999) Global Environmental Trends. World Resources Institute. <http://www.wri.org/wri/>.
- WRI (2000) World Resources 2000-2001, the definitive guide to the global environment. People and Ecosystems: The Fraying Web of Life. World Resources Institute, <http://www.wri.org/wr2000/index.html>.
- Wunder S. (1997) From Dutch Disease to Deforestation - A Macroeconomic Link? A Case Study from Equador. CDR Working Paper 97.6, Oct. 1997. <http://www.cdr.dk/wp-97-6.htm>
- WW (2000) Chronic Hunger and Obesity Epidemic Eroding Global Progress. Pressemitteilung des World Watch Institutes vom 04.03.2000; <http://www.worldwatch.org/alerts/000304.htm>.
- WWF (1998) Living Planet Report 1998: Overconsumption is driving the rapid decline of the world's natural environments. World Wide Fund for Nature, Gland, Switzerland. A Banson Production, London.
- WWF (1998a) Too much Fishing Fleet, too few fish. WWF-Studie.
- Wynne B. (1994) Scientific Knowledge and the Global Environment. In: Redclift M. and Benton T. (Eds.) Social Theory and the Global Environment. Routledge, London and New York, p. 169-189.
- Zadeh L. A. (1965) Fuzzy Sets. *Information and Control*, Vol. 8, p. 338-353.
- Zimmermann H.J. (1993) Prinzipien der Fuzzy Logic. *Spektrum der Wissenschaft*, Heft 3/1993, S.90-101.
- Zuidema G., van den Born G. J., Kreileman G. J. J., Alcamo J. (1994) Simulation of global land cover changes as affected by economic factors and climate. In: Alcamo J. (ed): Integrated Modelling of Global Climate Change. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Zurick D. and Karan P. P. (1999) Himalaya: Life on the Edge of the World. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.

Danksagung

Meine Dankbarkeit gilt zuerst meiner Frau Dorothea, für ihr Verständnis, ihre Geduld, ihre Unterstützung und ihre Liebe, ohne die es mir nicht möglich gewesen wäre diese Dissertation zu beenden.

Mein Dank gilt vor allem auch meinen Kollegen in der QUESTIONS-Arbeitsgruppe am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Dr. Gerhard Petschel-Held, Dr. Matthias Lüdeke, Dr. Fritz Reusswig und Oliver Moldenhauer für ihre Unterstützung, Betreuung und die sehr gute kollegiale Zusammenarbeit. Die Forschungs- und Arbeitserfahrung in unserem transdisziplinären Team stellt eine wertvolle Erfahrung und gute Erinnerung für meinen weiteren Weg dar. Ohne die gute Zusammenarbeit wäre es nicht möglich gewesen, die Idee des Syndromkonzepts gemeinsam auszuarbeiten und umzusetzen, was letztlich auch zur Entstehung dieser Dissertation geführt hat.

Weiterhin danke ich Dr. Jürgen Kropp und Dr. Arthur Block für fruchtbare Diskussionen und moralische Unterstützung. Den Mitgliedern des WBGU und der Geschäftsstelle des WBGU danke ich für die gute und fruchtbare Zusammenarbeit über die letzten Jahre, die auch zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen hat.

„*Last but not least*“ gilt mein Dank meinen beiden Gutachtern, Herrn Prof. Dr. Hans-Joachim Schellnhuber, dem „geistigen Vater“ des Syndromkonzepts, für seine Unterstützung und wegweisenden Gedanken, die es mir überhaupt erst ermöglichten diese Dissertation zu erstellen, sowie Herrn Prof. Dr. Fred Scholz, für seine vielfältigen Kommentare und Anregungen zu dieser Arbeit. Ohne sie hätte der geographischen Blickwinkel dieser Arbeit leicht zu kurz kommen können.

Berlin, den 04.12.2000

Martin Cassel-Gintz

PIK Report-Reference:

- No. 1 3. Deutsche Klimatagung, Potsdam 11.-14. April 1994, Tagungsband der Vorträge und Poster (April 1994)
- No. 2 Extremer Nordsommer '92
Meteorologische Ausprägung, Wirkungen auf naturnahe und vom Menschen beeinflusste Ökosysteme, gesellschaftliche Perzeption und situationsbezogene politisch-administrative bzw. individuelle Maßnahmen (Vol. 1 - Vol. 4)
H.-J. Schellnhuber, W. Enke, M. Flechsig (Mai 1994)
- No. 3 Using Plant Functional Types in a Global Vegetation Model
W. Cramer (September 1994)
- No. 4 Interannual variability of Central European climate parameters and their relation to the large-scale circulation
P. C. Werner (Oktober 1994)
- No. 5 Coupling Global Models of Vegetation Structure and Ecosystem Processes - An Example from Arctic and Boreal Ecosystems
M. Plöchl, W. Cramer (Oktober 1994)
- No. 6 The use of a European forest model in North America: A study of ecosystem response to climate gradients
H. Bugmann, A. Solomon (Mai 1995)
- No. 7 A comparison of forest gap models: Model structure and behaviour
H. Bugmann, Y. Xiaodong, M. T. Sykes, Ph. Martin, M. Lindner, P. V. Desanker, S. G. Cumming (Mai 1995)
- No. 8 Simulating forest dynamics in complex topography using gridded climatic data
H. Bugmann, A. Fischlin (Mai 1995)
- No. 9 Application of two forest succession models at sites in Northeast Germany
P. Lasch, M. Lindner (Juni 1995)
- No. 10 Application of a forest succession model to a continentality gradient through Central Europe
M. Lindner, P. Lasch, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 11 Possible Impacts of global warming on tundra and boreal forest ecosystems - Comparison of some biogeochemical models
M. Plöchl, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 12 Wirkung von Klimaveränderungen auf Waldökosysteme
P. Lasch, M. Lindner (August 1995)
- No. 13 MOSES - Modellierung und Simulation ökologischer Systeme - Eine Sprachbeschreibung mit Anwendungsbeispielen
V. Wenzel, M. Kücken, M. Flechsig (Dezember 1995)
- No. 14 TOYS - Materials to the Brandenburg biosphere model / GAIA
Part 1 - Simple models of the "Climate + Biosphere" system
Yu. Svirezhev (ed.), A. Block, W. v. Bloh, V. Brovkin, A. Ganopolski, V. Petoukhov, V. Razzhevaikin (Januar 1996)
- No. 15 Änderung von Hochwassercharakteristiken im Zusammenhang mit Klimaänderungen - Stand der Forschung
A. Bronstert (April 1996)
- No. 16 Entwicklung eines Instruments zur Unterstützung der klimapolitischen Entscheidungsfindung
M. Leimbach (Mai 1996)
- No. 17 Hochwasser in Deutschland unter Aspekten globaler Veränderungen - Bericht über das DFG-Rundgespräch am 9. Oktober 1995 in Potsdam
A. Bronstert (ed.) (Juni 1996)
- No. 18 Integrated modelling of hydrology and water quality in mesoscale watersheds
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, A. Becker (Juli 1996)
- No. 19 Identification of vulnerable subregions in the Elbe drainage basin under global change impact
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Cramer, A. Becker (Juli 1996)
- No. 20 Simulation of soil moisture patterns using a topography-based model at different scales
D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Lahmer, W. Cramer, V. Krysanova (Juli 1996)
- No. 21 International relations and global climate change
D. Sprinz, U. Luterbacher (1st ed. July, 2nd ed. December 1996)
- No. 22 Modelling the possible impact of climate change on broad-scale vegetation structure - examples from Northern Europe
W. Cramer (August 1996)

- No. 23 A methode to estimate the statistical security for cluster separation
F.-W. Gerstengarbe, P.C. Werner (Oktober 1996)
- No. 24 Improving the behaviour of forest gap models along drought gradients
H. Bugmann, W. Cramer (Januar 1997)
- No. 25 The development of climate scenarios
P.C. Werner, F.-W. Gerstengarbe (Januar 1997)
- No. 26 On the Influence of Southern Hemisphere Winds on North Atlantic Deep Water Flow
S. Rahmstorf, M. H. England (Januar 1977)
- No. 27 Integrated systems analysis at PIK: A brief epistemology
A. Bronstert, V. Brovkin, M. Krol, M. Lüdeke, G. Petschel-Held, Yu. Svirezhev, V. Wenzel (März 1997)
- No. 28 Implementing carbon mitigation measures in the forestry sector - A review
M. Lindner (Mai 1997)
- No. 29 Implementation of a Parallel Version of a Regional Climate Model
M. Kücken, U. Schättler (Oktober 1997)
- No. 30 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Overview and key results
W. Cramer, D. W. Kicklighter, A. Bondeau, B. Moore III, G. Churkina, A. Ruimy, A. Schloss, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 31 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Analysis of the seasonal behaviour of NPP, LAI, FPAR along climatic gradients across ecotones
A. Bondeau, J. Kaduk, D. W. Kicklighter, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 32 Evaluation of the physiologically-based forest growth model FORSANA
R. Grote, M. Erhard, F. Suckow (November 1997)
- No. 33 Modelling the Global Carbon Cycle for the Past and Future Evolution of the Earth System
S. Franck, K. Kossacki, Ch. Bounama (Dezember 1997)
- No. 34 Simulation of the global bio-geophysical interactions during the Last Glacial Maximum
C. Kubatzki, M. Claussen (Januar 1998)
- No. 35 CLIMBER-2: A climate system model of intermediate complexity. Part I: Model description and performance for present climate
V. Petoukhov, A. Ganopolski, V. Brovkin, M. Claussen, A. Eliseev, C. Kubatzki, S. Rahmstorf (Februar 1998)
- No. 36 Geocybernetics: Controlling a rather complex dynamical system under uncertainty
H.-J. Schellnhuber, J. Kropp (Februar 1998)
- No. 37 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentrationen auf Weizenbestände des Free-Air Carbondioxid Enrichment (FACE) - Experimentes Maricopa (USA)
Th. Kartschall, S. Grossman, P. Michaelis, F. Wechsung, J. Gräfe, K. Waloszcyk, G. Wechsung, E. Blum, M. Blum (Februar 1998)
- No. 38 Die Berücksichtigung natürlicher Störungen in der Vegetationsdynamik verschiedener Klimagebiete
K. Thonicke (Februar 1998)
- No. 39 Decadal Variability of the Thermohaline Ocean Circulation
S. Rahmstorf (März 1998)
- No. 40 SANA-Project results and PIK contributions
K. Bellmann, M. Erhard, M. Flechsig, R. Grote, F. Suckow (März 1998)
- No. 41 Umwelt und Sicherheit: Die Rolle von Umweltschwellenwerten in der empirisch-quantitativen Modellierung
D. F. Sprinz (März 1998)
- No. 42 Reversing Course: Germany's Response to the Challenge of Transboundary Air Pollution
D. F. Sprinz, A. Wahl (März 1998)
- No. 43 Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in großen Einzugsgebieten. Zusammenstellung der Beiträge des Workshops am 15. Dezember 1997 in Potsdam
A. Bronstert, V. Krysanova, A. Schröder, A. Becker, H.-R. Bork (eds.) (April 1998)
- No. 44 Capabilities and Limitations of Physically Based Hydrological Modelling on the Hillslope Scale
A. Bronstert (April 1998)
- No. 45 Sensitivity Analysis of a Forest Gap Model Concerning Current and Future Climate Variability
P. Lasch, F. Suckow, G. Bürger, M. Lindner (Juli 1998)
- No. 46 Wirkung von Klimaveränderungen in mitteleuropäischen Wirtschaftswäldern
M. Lindner (Juli 1998)
- No. 47 SPRINT-S: A Parallelization Tool for Experiments with Simulation Models
M. Flechsig (Juli 1998)

- No. 48 The Odra/Oder Flood in Summer 1997: Proceedings of the European Expert Meeting in Potsdam, 18 May 1998
A. Bronstert, A. Ghazi, J. Hladny, Z. Kundzewicz, L. Menzel (eds.) (September 1998)
- No. 49 Struktur, Aufbau und statistische Programmbibliothek der meteorologischen Datenbank am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
H. Österle, J. Glauer, M. Denhard (Januar 1999)
- No. 50 The complete non-hierarchical cluster analysis
F.-W. Gerstengarbe, P. C. Werner (Januar 1999)
- No. 51 Struktur der Amplitudengleichung des Klimas
A. Hauschild (April 1999)
- No. 52 Measuring the Effectiveness of International Environmental Regimes
C. Helm, D. F. Sprinz (Mai 1999)
- No. 53 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentrationen innerhalb des Free-Air Carbon Dioxide Enrichment-Experimentes: Ableitung allgemeiner Modellösungen
Th. Kartschall, J. Gräfe, P. Michaelis, K. Waloszczyk, S. Grossman-Clarke (Juni 1999)
- No. 54 Flächenhafte Modellierung der Evapotranspiration mit TRAIN
L. Menzel (August 1999)
- No. 55 Dry atmosphere asymptotics
N. Botta, R. Klein, A. Almgren (September 1999)
- No. 56 Wachstum von Kiefern-Ökosystemen in Abhängigkeit von Klima und Stoffeintrag - Eine regionale Fallstudie auf Landschaftsebene
M. Erhard (Dezember 1999)
- No. 57 Response of a River Catchment to Climatic Change: Application of Expanded Downscaling to Northern Germany
D.-I. Müller-Wohlfeil, G. Bürger, W. Lahmer (Januar 2000)
- No. 58 Der "Index of Sustainable Economic Welfare" und die Neuen Bundesländer in der Übergangsphase
V. Wenzel, N. Herrmann (Februar 2000)
- No. 59 Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE, ENV4-CT97-0448)
German report
M. Flechsig, K. Gerlinger, N. Herrmann, R. J. T. Klein, M. Schneider, H. Sterr, H.-J. Schellnhuber (Mai 2000)
- No. 60 The Need for De-Aliasing in a Chebyshev Pseudo-Spectral Method
M. Uhlmann (Juni 2000)
- No. 61 National and Regional Climate Change Impact Assessments in the Forestry Sector - Workshop Summary and Abstracts of Oral and Poster Presentations
M. Lindner (ed.) (Juli 2000)
- No. 62 Bewertung ausgewählter Waldfunktionen unter Klimaänderung in Brandenburg
A. Wenzel (August 2000)
- No. 63 Eine Methode zur Validierung von Klimamodellen für die Klimawirkungsforschung hinsichtlich der Wiedergabe extremer Ereignisse
U. Böhm (September 2000)
- No. 64 Die Wirkung von erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentrationen auf die Transpiration eines Weizenbestandes unter Berücksichtigung von Wasser- und Stickstofflimitierung
S. Grossman-Clarke (September 2000)
- No. 65 European Conference on Advances in Flood Research, Proceedings, (Vol. 1 - Vol. 2)
A. Bronstert, Ch. Bismuth, L. Menzel (eds.) (November 2000)
- No. 66 The Rising Tide of Green Unilateralism in World Trade Law - Options for Reconciling the Emerging North-South Conflict
F. Biermann (Dezember 2000)
- No. 67 Coupling Distributed Fortran Applications Using C++ Wrappers and the CORBA Sequence Type
Th. Slawig (Dezember 2000)
- No. 68 A Parallel Algorithm for the Discrete Orthogonal Wavelet Transform
M. Uhlmann (Dezember 2000)
- No. 69 SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual
V. Krysanova, F. Wechsung, J. Arnold, R. Srinivasan, J. Williams (Dezember 2000)
- No. 70 Stakeholder Successes in Global Environmental Management, Report of Workshop, Potsdam, 8 December 2000
M. Welp (ed.) (April 2001)

No. 71 GIS-gestützte Analyse globaler Muster anthropogener Waldschädigung - Eine sektorale Anwendung des Syndromkonzepts
M. Cassel-Gintz (Juni 2001)