

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. Erschweren 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 angesprochen 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.

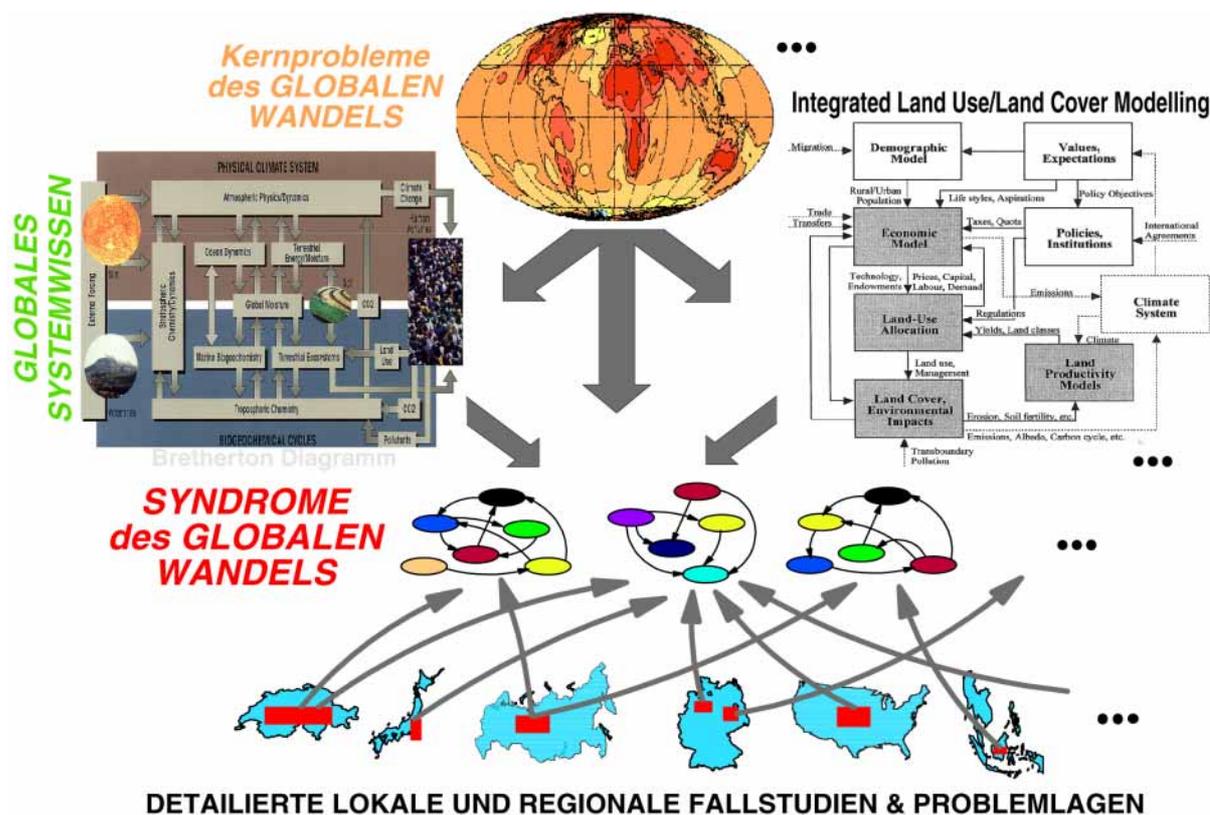


Abbildung 6: Herangehensweise zur Identifikation und der Syndrome des GW. Das Wissen über GW-Kernprobleme und über die grundlegenden globalen Systemzusammenhänge der Ökosphäre und Anthroposphäre liefern zusammen mit Expertenwissen aus detaillierten, lokalen und regionalen Fallstudien, Muster der Mensch-Natur-Interaktion.

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 Symptomsammlung 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 Aussage 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 feststellbar 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 **Dispositionsräume**. 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.

