

Die Geoskop-Initiative – ein Beitrag zur Beobachtung und Modellierung von Übergängen zur Nachhaltigkeit

Hermann Lotze-Campen

Zusammenfassung

Um die Herausforderungen des Globalen Wandels im 21. Jahrhundert zu bewältigen, muss die menschliche Gesellschaft eine erweiterte globale Wissensbasis für die Steuerung von ökonomischen, sozialen und umweltrelevanten Maßnahmen in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung aufbauen. Dazu müssen wichtige Transformationsprozesse durchlaufen werden, z.B. im Bereich des Energiesystems, der Land- und Wassernutzung, dem Erhalt der Biodiversität, der Urbanisierung oder der Abfallbeseitigung. Eine sich entwickelnde "Nachhaltigkeitswissenschaft" sollte erklären können, wie mögliche Transformationsprozesse beginnen, wie sie gesteuert werden können, nach welchen Mustern sie ablaufen und welche Barrieren und Widerstände überwunden werden müssen. Diese Aufgaben erfordern neue theoretische Konzepte, kontinuierliche Datenströme mit ausreichender räumlicher Abdeckung sowie verbesserte Modellierungskapazitäten für die Simulation der Komplexität von Mensch-Umwelt-Interaktionen. Das Nachhaltigkeits-Geoskop ist eine Vision für ein integriertes globales Beobachtungs- und Monitoring-System, das auf Erfahrungen sowohl der Naturwissenschaften wie auch der Sozial- und Geisteswissenschaften basiert. Im Rahmen einer größeren Anzahl vergleichender regionaler Fallstudien mit globaler Ausdehnung sollen durch eine Kombination von Satellitenfernerkundung und bodenbasierten Beobachtungen Zeitreihendaten einer neuen Qualität generiert werden.

1. Einführung

Das 21. Jahrhundert wird durch einen Globalen Wandel in bisher nicht gekanntem Ausmaß gekennzeichnet sein. Menschliche Aktivitäten auf unserem Planeten haben ein Ausmaß erreicht, in dem das Erdsystem als Ganzes durch eine Kombination von Bevölkerungswachstum, Ressourcennutzung, Abfallbeseitigung sowie technologischer Entwicklung verändert wird. Um die Herausforderungen des Globalen Wandels zu bewältigen, muss die menschliche Gesellschaft eine erweiterte globale Wissensbasis für die Steuerung von ökonomischen, sozialen und umweltrelevanten Prozessen hin zu einer nachhaltigen Entwicklung aufbauen. Diese Aufgaben erfordern neue theoretische Konzepte, kontinuierliche Datenströme mit ausreichender räumlicher Abdeckung sowie verbesserte Modellierungskapazitäten für die Simulation der komplexen Mensch-Umwelt-Interaktionen. Wichtige Aspekte mit einem hohen Bedarf an interdisziplinärer Zusammenarbeit umfassen Transformationsprozesse im globalen Energiesystem, in der regionalen und globalen Wassernutzung, in der Dynamik von Landnutzung und Bodenerosion sowie dem Verlust an Biodiversität.

Erste Schritte in Richtung einer integrierten Analyse des Erdsystems sind bereits gemacht worden, basierend auf Forschungen im Bereich des globalen Klimawandels und des International Geosphere-Biosphere Program (IGBP). Diese Untersuchungen wurden ermöglicht durch die Entwicklung von globalen Beobachtungssystemen unter Einbeziehung von Fernerkundungssatelliten, Wetterstationen und anderen Überwachungsinstrumenten. Allerdings ist die Erfassung von menschlichen Aktivitäten und ökonomischer Entwicklung, vor allem des technologischen Wandels und der Veränderung von Lebensstilen, bislang unvollständig geblieben. Das International Human Dimensions Program on Global Environmental Change (IHDP) hat verschiedene Forschungsprojekte initiiert, um diese Lücken zu schließen. Im Bereich der ökonomischen Modellierung kann das Global Trade Analysis Project (GTAP) als Beispiel für eine gemeinsame, internationale Initiative dienen, die im Verlauf der letzten Jahre eine gemeinsame Datenbasis und einen Modellrahmen für die konsistente Modellierung von globalen ökonomischen Prozessen aufgebaut hat. Eine der wichtigsten Errungenschaften von GTAP ist die Etablierung einer harmonisierten ökonomischen Informationsbasis für eine große Zahl ver-

schiedener Länder und unterschiedlicher Datenquellen. Bislang ist hierbei allerdings die Berücksichtigung relevanter Umweltfaktoren vernachlässigt worden, so dass die Verwendung von wirklich integrierten Modellierungsansätzen sehr begrenzt bleibt.

Eine sich entwickelnde Nachhaltigkeitswissenschaft mit ihren interdisziplinären theoretischen Konzepten erfordert besser integrierte Datensätze und Modellinstrumente für eine systematische und strukturierte Analyse von globalen Transformationsprozessen zur Nachhaltigkeit. Integrierte Modellierungsverfahren können zur Überbrückung der traditionellen Gegensätze zwischen Natur- und Sozialwissenschaften beitragen. Dies wiederum wird im Gegenzug die Nachfrage nach Daten einer neuen Qualität erhöhen, vor allem in der Ökonomie und anderen Sozialwissenschaften. Am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) ist im Verlauf der letzten zwei Jahre die Idee eines "Nachhaltigkeits-Geoskops" entstanden. Dieses Geoskop soll den Rahmen für ein Beobachtungs- und Monitoringsystem mit globaler Ausdehnung aufspannen, unter Einbeziehung ökonomischer, sozialer, natürlicher und institutioneller Aspekte. Es soll sich auf bereits etablierte Konzepte und Erfahrungen stützen, wie z.B. IHDP und GTAP aus den Sozialwissenschaften und IGBP aus den Naturwissenschaften sowie eine Reihe von Initiativen zur Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren. Als Datenquelle ist eine Kombination von Satellitenfernerkundung mit bodengestützten Beobachtungen vorgesehen.

Im Rahmen dieses Beitrages sollen zum einen die Herausforderungen für die Analyse von Transformationsprozessen zur Nachhaltigkeit diskutiert und das Geoskop-Konzept als Werkzeug für das Verständnis und die Steuerung dieser Übergänge vorgestellt werden.

2. Herausforderungen für das Verständnis von Übergängen zur Nachhaltigkeit

Die derzeitige globale ökonomische und soziale Entwicklung ist in vielerlei Hinsicht nicht nachhaltig. Sie kann in dieser Form nicht aufrecht erhalten werden, ohne die natürlichen, lebensunterstützenden Systeme für die menschliche Gesellschaft unwiederbringlich zu zerstören. Die

Menschheit ist in das "Anthropozän" eingetreten, d.h. ein Zeitalter, in der die engen Verflechtungen zwischen menschlicher Gesellschaft und natürlicher Umwelt als untrennbar angesehen werden müssen und im Rahmen eines neuen Weltbildes zunehmend Berücksichtigung finden (Crutzen 2000).

Die folgende Aufzählung enthält Beispiele für nicht nachhaltige Mensch-Umwelt-Interaktionen, die in der Regel zwar nur in spezifischen Regionen auftreten, aber dennoch eingebunden sind in Prozesse des Globalen Wandels:

- Wassernutzung jenseits der durchschnittlichen Regenerationskapazität und Vernachlässigung der Wasserqualität
- Unterversorgung mit Nahrungsmitteln in Verbindung mit nicht angepasster Landnutzung und Bodenerosion
- Verlust an Biodiversität
- Unzureichende Gesundheitsversorgung
- Urbanisierung und Entwicklung von Mega-Cities
- Nutzung fossiler Energieträger und Erhöhung der globalen Mobilität
- Technologische Entwicklung und globale Technologiediffusion
- Veränderte Lebensstile und ihre globale Ausbreitung
- Dynamik von lokalen und regionalen Konflikten

Um diese Interaktionen besser zu verstehen und nachhaltige Entwicklungspfade zu identifizieren, benötigt die menschliche Gesellschaft angemessene Instrumente und Methoden, die über bislang verfügbare Werkzeuge hinausgehen. Diese neuen Methoden werden unter dem Dach einer entstehenden Nachhaltigkeitswissenschaft entwickelt und miteinander verknüpft. Eine Nachhaltigkeitswissenschaft verfolgt als Ziel, die grundlegenden Eigenschaften der Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Gesellschaft zu verstehen (Kates et al. 2001). Daher begreift und behandelt sie das Erdsystem als eine Einheit. Dies erfordert nicht nur eine ganzheitliche Beobachtung des Erdsystems, sondern auch integrierte Methoden für die Analyse dieses Systems sowie – daraus abgeleitet – Empfehlungen an die Politik und die breitere Öffentlichkeit, die zu einer nachhaltigen Entwicklung führen können, wenn sie richtig umgesetzt

werden (Schellnhuber und Wenzel 1998, Schellnhuber 1999). Dies könnte langfristig zu einer Art integriertem "Erdsystem-Management" führen, wobei dies durchaus auch in einer sehr dezentralen Art und Weise zu verstehen ist, da ja die meisten Umweltprobleme lokal oder regional spezifisch sind.

Erdsystembeobachtung kann auf einer Reihe verschiedener Methoden aufbauen, die in unterschiedlichen Disziplinen entwickelt worden sind, z.B. Fernerkundung, Wetterstationen, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Umfragen und Haushaltspanels. Die Kombination dieser Methoden in einer sinnvollen Art und Weise ist für sich genommen schon eine große Aufgabe. Eine sorgfältige Erdsystemkartierung wäre erforderlich, da die räumliche Ausdehnung und Explizität außerordentlich wichtig für die Analyse von Mensch-Umwelt-Interaktionen ist. Geographische Informationssysteme (GIS) stellen ein leistungsfähiges Instrumentarium dar für die Verknüpfung sehr verschiedener quantitativer und qualitativer Datensätze sowie für die Durchführung von mehrschichtigen Analysen. Aufbauend auf dieser Information könnte eine Erdsystemanalyse ein neues Verständnis und neue Bilder unserer Welt erzeugen. Dies könnte auch zu neuen Weltbildern sowie zur Entwicklung eines "globalen Subjekts" führen, das bereits in Ansätzen zu erkennen ist (Schellnhuber 1999). Die Menschheit hat eine Bandbreite von Modellen und Simulationswerkzeugen entwickelt und beginnt langsam, das Erdsystem als Ganzes zu begreifen. Das sich entwickelnde "globale Subjekt" manifestiert sich inzwischen z.B. in globalen Verträgen zum Klimaschutz bzw. zum Schutz der Erdatmosphäre. Letztendlich wird dies zu einer neuen Form der globalen Entscheidungsfindung führen, die auch als Erdsystemmanagement bezeichnet werden kann. Auf dieser Entscheidungsebene könnten Fragen anstehen wie etwa: "In was für einer Welt wollen wir leben?" Entscheidungen bezüglich der notwendigen Handlungsschritte würden alle Ebenen einbeziehen, vom Individuum und kleinen sozialen Gruppen zu Nationalstaaten und schließlich die globale Gesellschaft. Das "globale Subjekt" wird sich in zahlreichen politischen Aktivitäten und Maßnahmen mit globaler Relevanz manifestieren.

Jede Art von Erdsystemmanagement muss sich mit notwendigen Transformationsprozessen befassen. Die Menschheit muss entscheiden, *wie* Nachhaltigkeit erreicht werden kann, d.h. welche Pfade verfügbar sind und wie ein Übergang zu einem nachhaltigen Zustand der Welt aus-

sehen könnte. Die entsprechenden Transformationsprozesse erfordern eine strukturierte Analyse, die sich vor allem mit der Zeitdimension, d.h. mit den Verbindungen und Schaltstellen zwischen verschiedenen Phasen des Übergangs, beschäftigt. Selbst wenn das Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung ein sehr langfristiges Ziel bleibt, können die Ausgangspunkte der nötigen Transformationsprozesse bereits jetzt beobachtet werden. Sie sollten identifiziert und untersucht werden, da aufgrund von Pfadabhängigkeiten unsere aktuellen Handlungen signifikante mittel- und langfristige Einflüsse haben könnten.

Da die Zukunft unsicher bleiben wird und selbst höchst entwickelte, theoriebasierte Computermodelle niemals exakte Prognosen zukünftiger Entwicklungen liefern können, sollte die menschliche Gesellschaft kontinuierlich die Gegenwart beobachten und aus der Vergangenheit lernen, um über die geeigneten Schritte in der Zukunft zu entscheiden. Dieser iterative Ansatz von Learning-by-Doing zum Aufspüren eines nachhaltigen Entwicklungspfad könnte die folgenden Fragen und Schritte beinhalten (ISTS 2002):

- Wo und wie beginnen Transformationsprozesse? Können bestimmte Auslöser beobachtet werden, die auf keinen Fall ignoriert werden sollten?
- Folgen Transformationsprozesse bestimmten Regeln und Mustern, die identifiziert werden können und die sich über die Zeit bzw. unter verschiedenen Bedingungen wiederholen?
- Gibt es typische Barrieren für Transformationsprozesse, die notwendige Veränderungen verhindern oder verzögern?
- Welche Art von Handlungen und Maßnahmen können ergriffen werden, um die Veränderungsprozesse im Sinne der gesellschaftlichen Ziele zu steuern, zu beschleunigen oder zu verzögern?

Die Untersuchung von Transformationsprozessen im Hinblick auf wichtige Mensch-Umwelt-Interaktionen wird eine der wichtigsten Herausforderungen und Forschungsgegenstand einer sich entwickelnden Nachhaltigkeitswissenschaft sein. Diese wird eher einen Designansatz als einen Ingenieursansatz verfolgen, d.h. anstatt einen fertig durchkonstruierten Bauplan für eine nachhaltige Gesellschaft zu liefern, wird sie eher auf erfolgreichen Beispielen aufbauen und aus instruktiven Fehlern der Ver-

gangenheit zu lernen versuchen. In der Verfolgung eines Learning-by-doing wird sie menschliche Aktivitäten kontinuierlich beobachten und versuchen, bestimmte Muster einer nachhaltigen Entwicklung zu identifizieren, dokumentieren und analysieren. Martens und Rotmans (2002) liefern einen konzeptionellen Rahmen für die Beschreibung und Analyse von Transformationsprozessen, indem sie Phasen der Frühentwicklung, des Take-off, der Beschleunigung und der Stabilisierung unterscheiden. Relativ neue Forschungsansätze über Syndrome des Globalen Wandels sowie Vulnerabilität und Adaptation zeigen erste Ansätze in diese Richtung auf (Kates et al. 2001).

3. Kritische Aspekte der Erdsystem-Modellierung und –Analyse

Das Konzept "Nachhaltigkeit" ist schwer zu definieren und wurzelt nicht in einer einheitlichen Theorie. Dieses Konzept hat sich in einem öffentlich-politischen Prozess entwickelt und verändert sich dynamisch weiter, so dass die Anforderungen an Erklärungsmuster für Nachhaltigkeit sich wahrscheinlich ständig verändern werden. Dennoch verlangt eine fundierte Beobachtung des Erdsystems nach einem theoretischen Hintergrund, der die Gesellschaft erst in die Lage versetzt, die relevanten Fragen zu stellen und die Komplexität des beobachteten Objekts – d.h. des Erdsystems als Ganzes – zu handhaben.

In verschiedenen Disziplinen werden bestehende Theorien in formalisierten Modellen reflektiert. Diese formalisierten Modelle haben üblicherweise wohl definierte Informationsansprüche, um bestimmte Aspekte einer komplexeren Problemstellung zu repräsentieren. Modelle sind wichtig für das Verständnis von komplexen Argumentationsketten. Im Rahmen einer Nachhaltigkeitswissenschaft ist die integrierte Modellierung von Mensch-Umwelt-Interaktionen von besonderer Bedeutung. Allerdings ist eine integrierte Modellierung, die sowohl naturwissenschaftliche als auch sozialwissenschaftliche Methoden einschließt, kein trivialer Prozess. Im relativ neuen Bereich des Integrated Assessments sind große Anstrengungen unternommen worden, um integrierte Modelle vor allem für die Analyse von menschlichem Energieverbrauch und globalem Klimawandel zu entwickeln. In Zukunft müssen diese Anstrengungen auf

die im vorherigen Abschnitt genannten Themenbereiche ausgedehnt werden. Am PIK beschäftigt sich ein Kernprojekt mit der Entwicklung einer nächsten Generation von Integrated-Assessment-Modulen (Jaeger et al. 2002), die eine Reihe von Modellbausteinen aus den Natur- wie Sozialwissenschaften umfassen. Diese sollen in verschiedenen Konstellationen so kombiniert werden können, dass die gesamte Modellstruktur flexibel auf eine bestimmte Fragestellung angepasst werden kann. Dieser bewusst modulare Ansatz steht im Gegensatz zur Konstruktion von einzelnen Mega-Modellen. Die zentrale Herausforderung ist die Entwicklung einer effizienten Methode für die konsistente Kopplung sehr verschiedener Modelltypen, von komparativ-statischen ökonomischen Modellen bis hin zu dynamischen Modellen der Vegetationsentwicklung oder des Klimawandels.

Eine wahrhaft integrierte Modellierung würde bedeuten, dass z.B. Biosphärenmodelle menschliche Aktivitäten explizit berücksichtigen, während in die andere Richtung sozio-ökonomische Modelle die natürliche Umwelt nicht nur als eine statische Menge an Randbedingungen bzw. Beschränkungen behandeln sollten. Der derzeitige Stand der globalen Vegetationsmodellierung berücksichtigt keinerlei menschliche Einflüsse, z.B. durch Land- und Forstwirtschaft oder auch Stadtentwicklung. Dabei ist es offensichtlich, dass menschliche Aktivitäten die Erdoberfläche signifikant verändern und es längst keine entlegenen Orte mehr gibt, die noch als "gänzlich natürlich" zu bezeichnen wären. Andererseits berücksichtigen die meisten ökonomischen Modelle die natürliche Umwelt nicht als endogenen Bestandteil, sondern eher als exogene Randbedingungen für das menschliche Verhalten. Dies zeigt, dass durch die Verringerung der disziplinären Schranken und eine Annäherung in konstruktiver Weise beide Seiten Vorteile aus dem Wissensschatz der jeweils anderen Community ziehen könnten.

Die folgenden Punkte sind von spezieller Bedeutung für zukünftige integrierte Modellierungsansätze:

- Räumliche Explizität: einer der Hauptunterschiede zwischen Biosphären- bzw. Klimamodellen einerseits und sozio-ökonomischen Modellen andererseits ist die Berücksichtigung räumlicher Dimensionen. Während ökonomische Analysen auf Akteuren basieren und oft lediglich Transportkosten als einzigen räumlichen Aspekt in Betracht zie-

hen, messen Biosphären- bzw. Klimamodelle der räumlichen Verteilung und Dynamik sowie ortspezifischen Phänomenen und Skalierungsproblemen große Bedeutung zu. Dies setzt sich fort bis hin zu Datensammlung und Beobachtung. Während ökonomische Daten gewöhnlich nur als zusammenfassende Indikatoren bezogen auf administrative Einheiten verfügbar sind, werden Umweltdaten oft in einem GIS-kompatiblen Format in verschiedenen Gitternetzgrößen auf globaler Basis erhoben.

- Langfristige Dynamik: die Definition, was "langfristig" bedeutet, unterscheidet sich signifikant z.B. zwischen Klima- und Ökonomiemodellen. Während Klimaprojektionen über ein Jahrhundert oder mehr regelmäßig durchgeführt werden, führt die Vorhersage von politischen und ökonomischen Trends über eine Dekade hinaus bereits in das Reich der Spekulation.
- Gleichgewichtstheorie vs. Kritische Schwellenwerte: ist es realistisch, die Interaktionen zwischen der menschlichen Gesellschaft und der natürlichen Umwelt als ein System zu modellieren, das immer einem stabilen Gleichgewichtszustand zustrebt? Oder gibt es kritische Schwellenwerte, die nicht überschritten werden sollten, ohne irreversible Schäden an den lebensunterstützenden natürlichen Funktionen zu riskieren? Neuere Entwicklungen im Bereich der ökonomischen Theorie und Modellierung, die sich mit Lock-in-Effekten, Pfadabhängigkeiten und Bifurkationen befassen, sollten weiter ausgeführt werden, damit sie mit Modellansätzen zur Dynamik der Biosphäre und des Klimas verbunden werden können, die wiederum Strukturbrüche und notwendige "Leitplanken" abbilden.
- Diffusion von Lebensstilen: individuelle Präferenzen und Lebensstile haben einen starken Einfluss auf menschliche Aktivitäten und daher auch auf die entsprechenden Umwelteffekte. Allerdings ist der Begriff "Lebensstil" ein eher diffuses Konzept, das weder einfach definierbar noch konsistent modellierbar ist. Es ist offensichtlich, dass Veränderung und Verbreitung von Lebensstilen zum Kern aller Globalisierungsprozesse gehören, die den derzeitigen Zustand der Welt stark beeinflussen. Allerdings ist sehr wenig bekannt, wie bestimmte Präferenzänderungen entstehen, wie sie verstärkt werden und wie sie sich

auf lokaler bzw. globaler Ebene ausbreiten. Transformationsprozesse bezüglich menschlicher Handlungen sind wahrscheinlich nur zu verstehen, wenn die darunter liegenden Ursachen von Präferenzänderungen erklärt werden können.

- Induzierte Innovation: die Eigenschaften und das Potenzial von technologischem Wandel und Innovationen, einschließlich institutionellem Design, müssen intensiver erforscht werden, da sie im Kern die Anpassungsfähigkeit der menschlichen Gesellschaft an globale Umweltprobleme und deren Herausforderungen bestimmen. Dieser Aspekt hat bei der Analyse von globalen Umweltauswirkungen auf die gesellschaftliche Wohlfahrt bei weitem noch nicht ausreichend Berücksichtigung gefunden. Die Frage, wie widerstandsfähig soziale und ökonomische Systeme in Bezug auf externe Schocks durch veränderte Umweltbedingungen sind, wird in den sozio-ökonomischen und naturwissenschaftlichen Disziplinen sehr unterschiedlich betrachtet.
- Optimierungsverhalten vs. Learning-by-doing: in der Vergangenheit waren viele menschliche Aktivitäten von einem Weltbild geprägt, das auf der Annahme basierte, dass durch wissenschaftliche Theorien und die daraus abgeleiteten Maßnahmen die meisten Probleme durch einen ingenieurmäßigen Ansatz auf dem Reißbrett gelöst werden könnten. Dies entspricht auch dem Vorgehen in ökonomischen Modellen mit menschlichen Akteuren, die mit perfekter Voraussicht und einer eindeutigen Präferenzstruktur ausgestattet sind und diese bei der Optimierung ihres Verhaltens in einer gegebenen Umwelt einsetzen. Während dieser Ansatz sehr wohl in der Lage ist, ökonomische Prozesse unter sehr verschiedenen Bedingungen zu erklären, ist es fraglich, ob diese Denkweise ausreichend sein wird, um politische und ökonomische Maßnahmen im Übergang zur Nachhaltigkeit zu steuern. Die vor uns liegenden Herausforderungen zeichnen sich durch große Unsicherheit bezüglich der zukünftigen Bedingungen und kritischen Schwellenwerte aus. Die Menschheit sollte sich wahrscheinlich auf kontinuierliche Übergangsprozesse einstellen und ein adaptives Managementverhalten annehmen, anstatt sich auf eine Art "Geo-engineering-Ansatz" zu verlassen. Adaptives Management setzt permanentes Lernen durch Ausprobieren sowie permanente Rückkopp-

lungsschleifen zwischen Entscheidung, Beobachtung und Analyse voraus.

4. Das Konzept eines Nachhaltigkeits-Geoskops

Die Voraussetzung für eine verbesserte Analyse und ein besseres Verständnis von langfristigen Transformationsprozessen ist eine angemessene empirische Basis, d.h. lange Zeitreihen von Schlüsselvariablen, die alle relevanten Aspekte von Mensch-Umwelt-Interaktionen beschreiben. Derzeit verfügbare Beobachtungs- und Monitoring-Systeme sind oft beschränkt auf einen spezifischen disziplinären Hintergrund, z.B. Wetterstationen und Fernerkundungssatelliten, die räumlich explizite, globale Informationen für naturwissenschaftliche Zwecke erheben, oder aber offizielle statistische Daten, die in der Regel auf Nationalstaaten beschränkt sind. Zudem sind manche Schlüsselindikatoren gar nicht oder nur unzureichend in ihrer zeitlichen und räumlichen Ausdehnung verfügbar. Z.B. sind Daten zum globalen Wasserverbrauch in reichen wie armen Ländern gleichermaßen oft nur lückenhaft vorhanden oder basieren auf groben Schätzungen (Brown 2002). Für die Analyse von Übergängen zur Nachhaltigkeit müssen die bestehenden Lücken durch die Entwicklung integrierte Beobachtungsverfahren geschlossen werden.

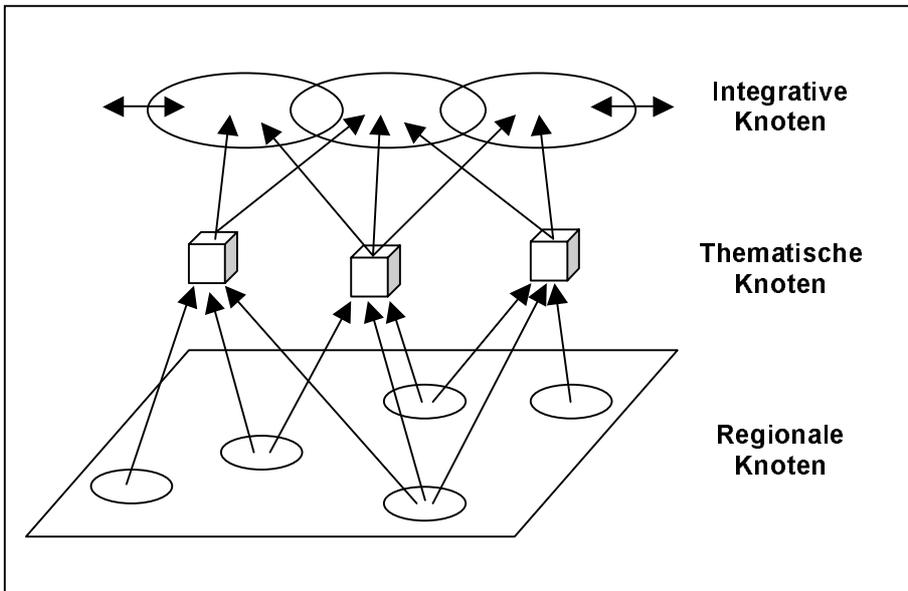
Ein solches globales Beobachtungs- und Monitoring-System, das sowohl Umweltbedingungen als auch soziale und ökonomische Gegebenheiten abdeckt, ist in Form eines "Nachhaltigkeits-Geoskops" vorgeschlagen worden (Lucht und Jäger 2001). Die Geoskop-Vision beschreibt ein Instrument für die systematische Sammlung und Auswertung von kongruenten naturwissenschaftlichen wie sozio-ökonomischen Daten, die eine Validierung von integrierten Erklärungsansätzen zur Mensch-Umwelt-Dynamik ermöglichen. Ein Geoskop soll, kurz gesagt, in ausgewählten Regionen auf globaler Ebene über einen langen Zeitraum nachhaltigkeitsrelevante Handlungen und Maßnahmen untersuchen, wobei Fernerkundungsdaten mit Vor-Ort-Beobachtungen kombiniert werden sollen.

Der Prozess der "geoskopischen" Erfassung von Übergängen zur nachhaltigen Ressourcennutzung würde die folgenden Schritte und Akti-

onen umfassen. Um einen gut strukturierten Lernprozess zu ermöglichen, muss eine ausreichende Anzahl von vergleichenden regionalen Fallstudien definiert werden, die die globalen Brennpunkte nicht nachhaltiger Mensch-Umwelt-Beziehungen abdeckt. Innerhalb dieser Beispielregionen muss ein einheitliches Protokoll für die empirische Forschung etabliert werden, welches auf die wichtigsten Akteure abzielt, d.h. wer sind diese, was sind ihre Absichten und Beschränkungen, was sind die Konsequenzen ihrer Handlungen, und welche Mechanismen und Muster können zwischen verschiedenen Regionen identifiziert werden?

Abbildung 1 veranschaulicht eine mögliche Struktur eines solchen Monitoring-Systems. Es besteht aus regionalen Knotenpunkten, an denen verschiedene thematische Aspekte mit einer Vielzahl an Methoden im selben regionalen Zusammenhang untersucht werden. Thematische Knotenpunkte sollen ein spezielles Thema oder eine Methode bearbeiten, die aber dann in verschiedenen regionalen Kontexten in einer vergleichenden Weise angewendet werden. Integrative Knotenpunkte sollen die inhaltliche Forschung zusammenfassen, übergreifende Auswertungen durchführen, die notwendige Forschungsinfrastruktur aufbauen, wie z.B. Datenbank-Management und –Koordination, sowie die Ergebnisse nach außen kommunizieren.

Abbildung 1: Struktur eines Geoskops für die Durchführung vergleichender regionaler Fallstudien



Als strukturierendes Element für die Messung von Material- und Energieflüssen zwischen der menschlichen Gesellschaft und der natürlichen Umwelt könnte das Konzept des sozio-ökonomischen Metabolismus genutzt werden (Fischer-Kowalski und Weisz 1999). Dies könnte als einheitlicher Erfassungs- und Bilanzierungsstandard für die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Umwelt verwendet werden.

Aus Praktikabilitätsgründen sollte in einer Anfangsphase die Zahl der untersuchten inhaltlichen Aspekte deutlich beschränkt werden, z.B. auf den Zusammenhang zwischen Landnutzungsänderungen, regionaler Wassernutzung und Biodiversitätsverlust. Um ein Beispiel zu geben, könnten folgende wasserbezogene Parameter kontinuierlich erfasst werden: menschliche Lebensstile und Präferenzen, allgemeine Erziehung, Wahrnehmung von Wasserknappheit und Risiken, Zugang zu wassersparenden Technologien, Raten der Technologieadaptation und -diffusion, Allokation von Wassernutzungsrechten, demografischer Wandel und andere Frühwarnsignale, spezielle landwirtschaftliche Produktion und Marktbedingungen sowie Management der Bewässerung und Wasserverteilung. Zusätzlich zu diesen stichprobenartigen, bodenbasierten Informa-

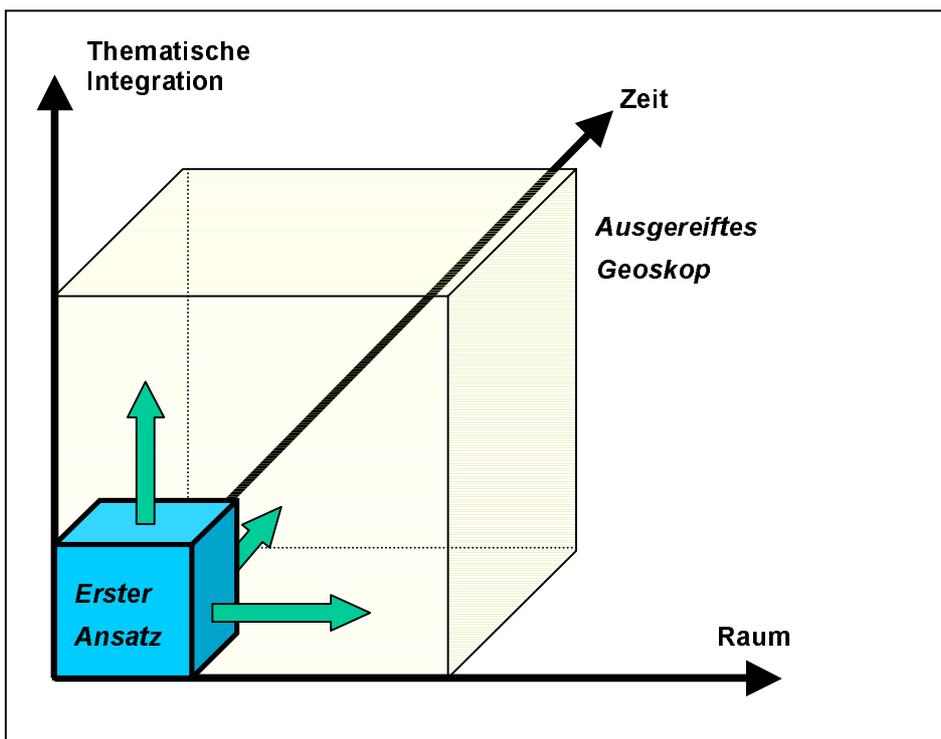
tionen sollte die großflächige Beobachtung von Wassernutzung, speziell der landwirtschaftlichen Bewässerung, durch Fernerkundungssatelliten intensiviert werden (Droogers 2002). Bodenbasierte Informationen und Fernerkundungsdaten sollten kombiniert werden, um eine Verbindung zwischen sozio-ökonomischen Aktivitäten und der räumlichen Dimension von Umweltveränderungen zu schaffen und damit die Anpassungsfähigkeit der Gesellschaft an diese Veränderungen zu ermitteln.

Wenn die vorgesehenen vergleichenden Fallstudien sorgfältig ausgewählt und über einen ausreichend langen Zeitraum durchgeführt werden, sollte es möglich sein, bestimmte Muster von nachhaltiger Entwicklung zu identifizieren. Im nächsten Schritt könnten diese Ergebnisse mit Simulationsmodellen auf verschiedenen Skalen in Verbindung gebracht werden, um eine Generalisierung und Vergleichbarkeit unter verschiedensten Bedingungen zu ermöglichen. Diese Modellierung wird wiederum eine Nachfrage nach weiter verbesserten Beobachtungsmethoden mit globaler Abdeckung hervorbringen. Eine der größten Herausforderungen wird dabei die Kombination einer synoptischen, globalen Weltansicht mit der lokalen, ortsspezifischen, fallabhängigen Perspektive sein. Top-down- und Bottom-up-Ansätze müssen in geeigneter Weise im Rahmen von globalen Modellen und verbundenen regionalen Fallstudien kombiniert werden. Ähnliche Ansätze finden sich in bereits bestehenden Projekten wie LUCC, HERO oder DEVECOL. Der Aufbau korrespondierender Datensätze aus Fernerkundung einerseits und Vor-Ort-Beobachtung andererseits sollte angestrebt werden, die Umsetzung ist aber für sich genommen schon eine große Herausforderung.

Ein Geoskop muss von Anfang an auf zwei verschiedene Aufgaben vorbereitet werden. Erstens sollte es Daten für integrierte wissenschaftliche Analysen von Prozessen des globalen Wandels bereitstellen, d.h. für Theoriebildung, Modellierung und Szenarienentwicklung. Zweitens sollte es den gesellschaftlichen und politischen Willensbildungsprozess im Rahmen eines Erdsystem-Managements unterstützen, z.B. durch Kommunikation der Ergebnisse, hoch aggregierte Darstellungen und Indikatoren sowie Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung. Da diese beiden Bereiche sehr unterschiedliche Informationsanforderungen haben, muss geklärt werden, wie dies im Rahmen eines mehr-stufigen Geoskops oder sogar mehrerer Geoskope realisiert werden kann.

Angesichts der Geoskop-Vision, wie sie hier vorgestellt wurde, ist es offensichtlich, dass ein solches Unterfangen nur durch ein schrittweises Vorgehen realisiert werden kann und möglicherweise mehrere Jahrzehnte bis zur Vollendung benötigen wird. Der Entwurfs- und Konstruktionsprozess selbst ist durch große Unsicherheit gekennzeichnet und erfordert sowohl strukturierte Planung als auch ständiges Ausprobieren. In jedem Fall sollte als Ausgangspunkt eine kleine Zahl an Aktivitäten und ein klarer Fokus auf handhabbare Probleme gewählt werden. Über die Zeit kann dieser Kern ausgeweitet werden, entlang der Dimensionen der zeitlichen und räumlichen Abdeckung wie auch der disziplinären und thematischen Integration (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Schrittweiser Ansatz zur Entwicklung eines Nachhaltigkeits-Geoskops



Eine wichtige Aufgabe besteht im Aufbau der notwendigen Ressourcen und Finanzierungsquellen im internationalen Zusammenhang. In einer

ersten Phase wird dies ein reines Forschungsprojekt sein, in dem verschiedene nationale Förderungsinstrumente kombiniert werden. Das Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Union könnte ein wichtiger erster Schritt zu einer übernationalen Finanzierung sein. Langfristig müssen allerdings Möglichkeiten für eine kontinuierliche Finanzierung durch Infrastrukturinvestitionen gefunden werden, wenn solch ein globales Informationssystem operationell betrieben werden soll.

Parallel zu ersten strukturellen Schritten, die bislang um die Geoskop-Idee herum gemacht worden sind, wurde auf der Geoskop-Internetseite (www.sustainability-geoscope.net) ein Ideenwettbewerb ausgeschrieben. Im Geiste des Mathematikers Stefan Banach, der im frühen 20. Jahrhundert symbolische Preise für die Lösung verschiedener mathematischer Probleme ausschrieb, haben sich mehrere internationale Institutionen auf ein ähnliches Vorgehen verständigt, um eine Forschungsgemeinschaft zum Geoskop zu etablieren. Eine Reihe von symbolischen Preisen werden zur Verfügung gestellt, die an Personen oder Institutionen vergeben werden sollen, welche substantiell zur Entwicklung des anvisierten Beobachtungsinstruments beitragen. Mögliche Beiträge zu diesem Wettbewerb können Projektideen, aktuelle Ergebnisse oder abgeschlossene Studien, aber auch relevante Datensätze sein, die sich auf vergleichende regionale Fallstudien zu Nachhaltigkeitsfragen auf globaler Ebene beziehen.

Die Initiatoren des Geoskops hoffen, dass dieser Wettbewerb einen geeigneten Geist und eine wissenschaftliche Atmosphäre schaffen wird, in der bahnbrechende interdisziplinäre Erkenntnisse zum Globalen Wandel gewonnen und wichtige Beiträge zu einer sich entwickelnden Nachhaltigkeitswissenschaft gemacht werden.

5. Literatur

- Brown, K. (2002): Water scarcity: Forecasting the future with spotty data, in: *Science*, 297, S.926-927
- Crutzen, P.J., Stoermer, E.F. (2000): The Anthropocene, in: *IGBP Newsletter* 41, May (<http://www.mpch-mainz.mpg.de/~air/anthropocene/>)

- Droogers, P. (2002): Global irrigated area mapping: Overview and recommendations, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, Working Paper 36
- Fischer-Kowalski, M., Weisz, H. (1999): Society as hybrid between material and symbolic realms – towards a theoretical framework of society-nature interaction, in: *Advances in Human Ecology*, 8, S. 215-251
- Initiative on Science and Technology for Sustainability (ISTS) (2002): Report on the Bonn Regional Workshop on Science for Sustainability, Walberberg
(http://sustsci.harvard.edu/ists/docs/ists_regws_walberberg.pdf)
- Jaeger, C.C., Leimbach, M., Carraro, C., Hasselmann, K., Hourcade, J.C., Keeler, A., Klein, R. (2002): Integrated Assessment Modeling: Modules for Cooperation, Nota di lavoro 53-2002
(http://www.feem.it/web/attiv/_wp.html)
- Kates, R.W., et al. (2001): Sustainability Science, in: *Science*, 292, S. 641-642
- Lucht, W., Jaeger, C.C. (2001): The Sustainability Geoscope: a proposal for a global observation instrument for the anthropocene, in: *Contributions to Global Change Research: A Report by the German National Committee on Global Change Research*, S. 138-144
(www.sustainability-geoscope.net > Information > Downloads)
- Martens, P., Rotmans, J. (Hrsg.) (2002): *Transitions in a globalising world*, Lisse
- Schellnhuber, H.J. (1999): Earth System Analysis and the Second Copernican Revolution, in: *Nature*, 402, C19-C23
- Schellnhuber, H.J., Wenzel, V. (eds.) (1998): *Earth System Analysis*, Berlin