

ziehen sich auf die Aktivitäten in Deutschland ohne Berücksichtigung des Verschleißes, im Abschnitt „Die Verbindung von nationaler Ebene und Aktivitätsfeldern“ sind auch mit den Importen verbundene Emissionen berücksichtigt.

- 4) Z.B. sind Preise kumulierte Größen, die auf die jeweiligen Mengeneinheit bezogen werden (es sind spezifische kumulierte Größen).

Literatur

Becker, G. S., 1982: Der ökonomische Ansatz zur Erklärung menschlichen Verhaltens. Mohr, Tübingen.

Bräutigam, K.-R., 1997: Stoffströme im Bausektor. In: TA-Datenbank-Nachrichten 6, Nr. 3, S. 120-126.

Klann, U.; J. Nitsch, 1999: Der Aktivitätsfelderansatz – ein Ansatz für die Untersuchung eines integrativen Konzepts nachhaltiger Entwicklung. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, STB-Bericht Nr. 23.

Schulz, V., 1997: Emissionen und ihre Verursacher – das Methodenkonzept einer Emittentenstruktur. In: TA-Datenbank-Nachrichten 6, Nr. 3, S. 117-120.

Schweimer, G. W.; Schuckert, M., 1996: Sachbilanz eines Golf. Volkswagen Konzernforschung, Forschungsbericht Nr. K-EFVT 9604 V/5.

Kontakt

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

Institut für Technische Thermodynamik (TT)
Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung (STB)

Pfaffenwaldring 38-40, D-70569 Stuttgart

Dr. Uwe Klann

Tel.: + 49 (0) 711/6862-302

Fax: + 49 (0) 711/6862-783

E-Mail: Uwe.Klann@dlr.de

Dr. Joachim Nitsch

Tel.: + 49 (0) 711/6862-483

E-Mail: joachim.nitsch@dlr.de

»

Bestandsaufnahme zu Potentialen und Grenzen vorhandener Modelle

von Helge Rosé und Achim Sydow, GMD
Forschungszentrum Informationstechnik

Im Rahmen der Vorstudie zum HGF-Verbundprojekt wurde untersucht, für welche Problemfelder der nachhaltigen Entwicklung Modellierungen sinnvoll sind, welche verfügbaren Modelle sich dafür eignen und welche Entwicklungen angemessen und durchführbar erscheinen. Fragen der Modellprämissen, der Datenproblematik und der Validität der Modellergebnisse wurde dabei besondere Aufmerksamkeit gewidmet, ferner sollte die Kompatibilität der Modelle mit der Struktur des in der Vorstudie erarbeiteten Aktivitätsfelderansatzes gewährleistet sein. Für die einzelnen Gebiete Wirtschaft, Forst- und Landwirtschaft, Wasser und Luft wurde eine große Vielfalt an Modellen betrachtet.

Gerade in diesem Jahrhundert sind durch die zunehmende Industrialisierung immer mehr Umweltprobleme aufgetreten und wir mussten erkennen, dass die Nutzungsmöglichkeiten der Natur beschränkt sind. Um auch zukünftigen Generationen die gleichen Entwicklungsmöglichkeiten einzuräumen wie den heutigen, darf eine Nutzung der natürlichen Ressourcen nur im Rahmen der Regenerationsfähigkeit der Natur erfolgen. Doch wie kann diese Grenze gefunden werden?

Systemtheoretisch gesehen, umfassen die ökologischen und sozio-ökonomischen Sphären, die in der Nachhaltigkeitsproblematik angesprochen werden, höchst komplexe dynamische Systeme mit vielfältigen Wechselwirkungen auf unterschiedlichen hierarchischen Ebenen. Die bereits gewonnenen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse bilden keine ausreichende Grundlage für eine detaillierte Analyse dieser Systeme, wenn man bedenkt, dass schon einfache dynamische Systeme höchst nichtlineare Verhaltensreaktionen zeigen können, die kaum als geschlossene analytische Lösungen darstellbar sind. Da sich viele komplexe Zusammenhänge wenigstens angenähert oder hierarchisiert darstellen lassen und damit die Aufstellung von Simulationsmodellen erlauben, bietet sich durch die Simulation ein wich-

tiger Zugang in der Untersuchung von Nachhaltigkeitsstrategien.

Modelle komplexer dynamischer Systeme können das Verständnis und den Umgang mit diesen Systemen verbessern und ein wichtiges Ordnungsschema der Zusammenhänge liefern. Ein ganz wesentlicher Vorteil von Modellen ist die Möglichkeit der Betrachtung von Szenarien, die in der Wirklichkeit undurchführbar, teuer oder langwierig wären. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass ein Modell immer nur innerhalb der Reichweite seiner Gültigkeit verwendet werden kann. Modellergebnisse können keine Handlungsstrategien direkt liefern, aber ein wirkungsvolles Instrument für die Entwicklung von Handlungsstrategien bereitstellen. Aufgrund vielfältiger Unschärfen in den zugrundeliegenden Modellansätzen, Parametrisierungen oder Daten dürfen Modellergebnisse nicht unkritisch übernommen werden, sie sind vielmehr bezüglich ihrer Strukturgültigkeit, Verhaltensgültigkeit und Anwendungsgültigkeit zu diskutieren.

Die Geschichte der Entwicklung von Umweltmodellen reicht zurück bis in die frühen zwanziger Jahre. Jorgensen teilt die seitdem entstandenen Modelle in fünf Generationen (Jorgensen 1994; Jorgensen et al. 1994). Die erste Generation bilden Räuber-Beute-Modelle vom Lotka-Volterra-Typ. Diese wurden in den fünfziger Jahren als allgemeine Populationsmodelle weiterentwickelt. Zusammen mit den in den sechziger Jahren entstandenen komplexen Modellen von Flussläufen charakterisieren sie den Entwicklungsstand der zweiten Generation. Die dritte Generation von ökologischen Modellen begann um 1970 mit der breiten Anwendung von ersten Eutrophierungs- und sehr komplexen Flussmodellen auf dem Gebiet des Umweltmanagements.

Die zu dieser Zeit spürbar werdende Leistungssteigerung in der Computertechnologie führte dazu, dass die Modelle dieser Generation eine meist zu komplexe Struktur besaßen und kaum einer kritischen Analyse unterzogen wurden. Mitte der siebziger Jahre wurde dieses Defizit zusammen mit der Tatsache erkannt, dass die Grenzen der Modellierung in erster Linie nicht durch eine beschränkte Rechenkapazität, sondern vor allem durch fehlende Messdaten und ein nur unzureichend vorhandenes Verständnis der Dynamik ökologischer

Prozesse und Systeme bestimmt werden. Diese richtungsweisende Erkenntnis führte in der Folgezeit zu einer Schärfung des Kritikbewusstseins hinsichtlich der Akzeptanz von ökologischen Modellen. Gefordert wurde nicht mehr nur eine bloße Abbildung der komplexen Umweltsysteme in ebenso komplizierte Simulationsprogramme, sondern nun rückte die eingehende Analyse der ökologischen Systeme selbst in den Mittelpunkt der Betrachtung. Das profunde Wissen über die Zusammenhänge, Komponenten und Reaktionen innerhalb eines ökologischen Systems wurde zur notwendigen Basis in der Entwicklung von Simulationsmodellen.

In dieser Periode etablierten sich zwei grundlegende Prinzipien der Modellierung: Die strikte Einhaltung der Entwicklungsfolge von Modellkonzeption, Parameteridentifikation, Modellverifikation, Kalibrierung, Sensitivitätsanalyse und schließlich der Modellvalidierung als erstes Prinzip, und der Festlegung der Modellkomplexität als Balance zwischen den zur Verfügung stehenden Messdaten, dem Modellierungsproblem, dem zu modellierenden System und dem darüber vorhandenen Wissen als zweites Prinzip. Ein weiteres Merkmal dieser Entwicklungsphase war die verstärkte Konzentration auf quantitative Aspekte in der Modellierung und die damit verbundene Steigerung der Qualität der Modelle. In dieser wichtigen Periode von Mitte der siebziger bis Ende der achtziger Jahre entstanden die Modelle der vierten Generation, die sich durch ausgewogene Komplexität und hinreichende Validität von ihren Vorgängern abhoben.

Seit Mitte der achtziger Jahre etabliert sich die fünfte Generation von Modellen, die durch eine dynamische Änderung und Adaptation der Modellstruktur charakterisiert sind. Anlass zur Entwicklung solcher Modelle war die Erkenntnis, dass eine fest vorgegebene Modellstruktur in keiner Weise der enormen Flexibilität von Umweltsystemen Rechnung tragen kann. Die fünfte Generation von Modellen befasst sich daher mit der entscheidenden Aufgabe, die Hierarchie der Rückkopplungsmechanismen von Ökosystemen und ihre Fähigkeit der Adaptation und Strukturänderung durch neue Ansätze zu erfassen. Beispiele dafür sind die Anwendung des individuellen Modellierens, die Analyse des chaotischen Verhaltens der

Modelle und die Beschreibung von Strukturänderungen als Optimierungsprozesse.

Im Rahmen der Vorstudie (Sydow et al. 1999) wurde untersucht, für welche Problemfelder der nachhaltigen Entwicklung Modellierungen sinnvoll sind und welche verfügbaren Modelle sich dafür eignen. Für die einzelnen Gebiete Wirtschaft, Forst- und Landwirtschaft, Wasser und Luft wurde eine große Vielfalt an Modellen betrachtet. Obwohl einige Modelle für sehr spezielle Systeme bzw. Szenarien konzipiert sind, lassen sich doch einige allgemeine Prinzipien und Konzepte übernehmen.

Unter den Forstmodellen sind besonders die Projekte ECOGRAFT und LTEFF hervorzuheben. Sie wurden speziell in einer Kooperation innerhalb der EU entwickelt und sind an die europäische Situation angepasst. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht die Abhängigkeit des Wachstums der Bäume von einer globalen Temperatursteigerung und einem Anwachsen des CO₂-Gehalts.

In der Landwirtschaft sind oft Teilmodelle für bestimmte Prozesse wie Nitratauswaschungen oder das Verbleiben von Pestiziden im Boden von Interesse. Es gibt eine große Auswahl an Modellen für die verschiedenen Nutzpflanzen im Zusammenhang mit der Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingsbefall.

Die Modelle im Bereich Wasser beschäftigen sich vor allem mit dem Wasserkreislauf und der Qualität des Wassers. Die Bandbreite der Modelle reicht von fließenden, über stehenden Gewässern bis hin zu maritimen und Grundwasser-Modellen.

Im letzten Bereich Luft geht es vor allem um Luftschadstoffe und deren Einfluss auf das Klima. Im Mittelpunkt steht dabei das Programm RAINS, welches als das beste Simulationsprogramm für Luftschadstoffe für Europa gilt. Das Modell DYMOS, welches bei der GMD FIRST entwickelt wurde, ist ein spezielles Programm zur Ermittlung der Luftschadstoffverteilung. Durch dieses Modell ist eine lokale bzw. regionale Simulation möglich.

Eine Betrachtung der Zusammenhänge zwischen den speziellen Bereichen eröffnen die sog. Integrated Assessment Modelle, indem sie vereinfachte Einzelmodelle zu einem Gesamtsystem verknüpfen. Ein Beispiel ist das integrierte Modell IMAGE2.0. Trotz einiger starker Vereinfachungen, wie z.B. die Aufteilung in 13

Weltregionen, liefert es im Rahmen der gesetzten Modellierungsziele befriedigende Ergebnisse.

Zusammenfassung

Die Studie hat gezeigt, dass es eine große Zahl von verschiedenen Modellen gibt, aus denen für den konkreten Fall ausgewählt werden muss. Oft kann nur ein Experte des jeweiligen Fachbereichs bei einer konkreten Fragestellung entscheiden, welches Modell verwendet werden kann. Daraus leitet sich die klare Forderung ab, dass die Untersuchung einer nachhaltigen Entwicklung nur als ein interdisziplinärer Prozess verstanden werden kann, der eine integrative Betrachtung aller relevanten Systembereiche zum Ziel hat.

Literatur

- Jorgensen, S. E.*, 1994: Fundamentals of Ecological Modelling (2nd Edition). Elsevier, Amsterdam, London, New York, Tokyo
- Jorgensen, S. E.; Halling-Sorensen, B.; Nielsen, S. N.*, 1994: Handbook of Environmental and Ecological Modeling. Lewis Publishers, Boca Raton, London, New York, Tokyo
- Sydow, A.; Rufeger, W.; Rosé, H.; Aßelmeyer, T.*, 1999: HGF-Projekt: Untersuchung zu einem integrativen Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Bestandsaufnahme, Problemanalyse, Weiterentwicklung. Abschlußbericht, Band 6, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, ITAS

Kontakt

Dr. Helge Rosé
GMD Forschungszentrum Informationstechnik GmbH
Forschungsinstitut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik (FIRST)
Kekuléstraße 7, D-12489 Berlin Adlershof
Tel.: + 49 (0) 30 - 6392-1835
Fax: + 49 (0) 30 - 6392-1805
E-Mail: rose@first.gmd.de
Internet: <http://www.first.gmd.de/persons/rose>

«