

Vorwort 9

## I Einführende Abhandlungen 12

1 Das intuitionswidrige Verhalten sozialer Systeme 13  
Jay W. Forrester

Sozialsysteme in neuer Sicht 14  
Computermodelle von Sozialsystemen 14  
Die intuitionswidrige Natur sozialer Systeme 16  
Dynamik von Städtesystemen 17  
Hebung der Lebensqualität 19  
Die Charakteristik sozialer Systeme 20  
Der globale Gesichtspunkt 21  
Übergang vom Wachstum zum Gleichgewicht 25  
Alternativen zu Rückgang und Katastrophe 28  
Gesichtspunkte unserer künftigen Existenz 33  
Unsere Zukunftsaufgabe 35  
Die Alternativen 35

2 Einführung in das Projekt 38  
Dennis L. Meadows

Projekt-Hintergrund 38  
Methodologie der ersten Phase 39  
Die Struktur des globalen Modells 46  
Erste Schlußfolgerungen aus dem globalen Modell 48  
Erweiterungen des globalen Modells 50

## II Modellstudien über Einzelprobleme 52

3 Das DDT in unserer Umwelt 53  
Jørgen Randers

Einführung 53  
Aspekte des DDT-Problems 54. Der DDT-Fluß durch die Umwelt 56  
Formalisiertes Modell des DDT-Flusses 58  
Die Anwendung von DDT 58. Das DDT im Erdboden 58. Flüsse transportieren DDT 60. Verdunstung des DDT vom Boden aus 60. Aufnahme von DDT aus der Atmosphäre 62. DDT im Meer 62. DDT im Plankton 64. DDT-Aufnahme durch Fische 65. DDT-Abgabe durch Fische 65. DDT in höheren Tieren 66  
Das vollständige Modell des DDT-Systems 67  
Simulationsergebnisse 69. Empfindlichkeit auf Größenveränderung 71. Die wichtigsten Schlußfolgerungen aus dem DDT-Modell 76

4 Systemmodulation und Forschungsaufgaben: Quecksilberverseuchung 78  
Alison A. Anderson und Jay Martin Anderson

Einführung 78  
Der natürliche Fluß des Quecksilbers in unserer Umwelt 79  
Der Hintergrund 80. Quecksilber in der Luft, im Boden und in Sedimenten 80. Quecksilber in den Weltmeeren und in Fischen 83. Umset-

zungen metallischer in organische Verbindungen 84. Simulation des natürlichen Quecksilberflusses 86  
 Quecksilberverschmutzung 87  
 Quecksilber in Brennstoffen 92  
 Schlußfolgerungen 93

## 5 Die Eutrophierung von Seen 96 Jay Martin Anderson

Der Prozeß der Eutrophierung 96  
 Systemdynamisches Modell der Eutrophierung 97  
 Der Nährstoffkreislauf 100. Verbrauch und Freisetzung von Sauerstoff 102. Zusammenfassung 104  
 Das Verhalten des Systems See 105  
 Maßnahmen gegen Eutrophierung 107  
 Schlußfolgerung 111

## 6 Die Dynamik des natürlichen Rohstoffverbrauchs 112 William W. Behrens III

Einführung 113  
 Der statische Reserveindex 113  
 Die Auswirkung exponentiell zunehmenden Bedarfs auf den Rohstoffindex 113. Beeinflussung des Reserve-Index durch andere Faktoren 115. Nutzen eines dynamischen Modells 116  
 Dynamisches Modell der Rohstoffnutzung 116  
 Regelkreis I: Rohstoffreserven und aktuelle Kosten 117. Regelkreis II: Technologie der Gewinnung 120. Regelkreis III: Technologie der Ersatzstoffe 123  
 Systemverhalten 124  
 Empfindlichkeit des Modells 124. Modellverhalten 125  
 Schlußfolgerungen 129

## 7 Die Dynamik der festen Abfälle 130 Jørgen Randers und Dennis L. Meadows

Einführung 130  
 Das Abfallproblem 130. Mögliche Lösungen 132. Recycling 135. Widerstand gegen Veränderungen 135  
 Dynamisches Modell der Entstehung fester Abfälle 135  
 Fragen, die vom Modell zu beantworten sind 135. Grenzen des Modells 136. Die wichtigsten Regelkreise des Modells 138. Regelkreis 1: Vorräte und Gewinnungskosten 138. Zur Technologie 139. Regelkreis 2: Marktpreis und Gewinnungsrate 142. Regelkreis 3: Der Marktpreis des wiederverwendeten Rohmaterials 143. Das allgemeine Verhalten des Systems 145. Regelkreis 4: Jährliche Kosten von Produkt und Produktionsrate 147. Regelkreis 5: Die jährlichen Kosten der Produkte und die Abfallrate 147  
 Das Flußdiagramm 148  
 Nutzung des Modells zur Simulierung verschiedener Maßnahmen 148  
 Maßnahmen zur Förderung der Wiederverwendung 151. Maßnahmen zur Reduktion der Abfallentstehung 154. Eine Lösungsmöglichkeit 157  
 Diskussion realisierbarer Folgerungen aus der Studie 157  
 Eine praktische Lösung 157. Vorschläge für Maßnahmen 158. Die Dringlichkeit des Problems 158

## 8 Die Entdeckung des Lebenszyklus eines begrenzt vorhandenen Rohstoffes 160 Eine Fallstudie über Erdgas in den USA Roger F. Naill

Einführung 161  
 Dynamisches Modell des Prospektionsprozesses eines Rohstoffes 162  
 Die Annahmen für das Modell 162. Allge-

- meine Beschreibung des Modells 163. Regelkreis 1: Neuentdeckungen 165. Regelkreis 2: Nachfrage 172  
Beschreibung des Modellverhaltens und Bewertung von Maßnahmen 176  
Allgemeines Verhalten: freie Preise 176. Systemverhalten bei Regulierungsmaßnahmen 178. Auswirkung anderer Maßnahmen auf das Modellverhalten 180  
Schlußfolgerungen 188  
Anhang 189  
Bestimmung der Kosten von Prospektionen 189
- 9 Der Kontrollmechanismus bei einer primitiven Agrarbevölkerung 190  
Steven B. Shantzis und  
William W. Behrens III
- Einführung 190  
Systembeschreibung der Tsembaga 191  
Modell einer Bevölkerung mit beschränkter Landfläche 192  
Die Tsembaga und ihr Land 192. Regelkreis Bevölkerung – Nahrungsmittel 194. Regelkreis Nahrungsmittel – Ernte 194. Analyse des Systems mit beschränkter Landfläche 197  
Modell des vollständigen Tsembaga-Systems 199  
Bevölkerungskontrolle der Tsembaga 199. Regelkreis Schweine – Nahrungsmittel 200. Regelkreis Schweine – Ernte 200. Kontrollmechanismus Schweinefest 200. Kriegführung der Tsembaga 201. Grenzwerte für die Bevölkerungsbeschränkung 202. Analyse des vollständigen Tsembaga-Systems 205. Aussagen der Studie 211
- III Interpretationen und Folgerungen 214
- 10 Kriterien für die langfristige Verfügbarkeit von Rohstoffen 215  
William W. Behrens III und  
Dennis L. Meadows
- Einführung 215  
Geologische Bedingungen 215  
Konzeptionelle Erwägungen 221  
Technologie und Rohstoffmangel 222  
Vier Gründe für die Entwicklung einer langfristigen Perspektive 224  
Komplexe Wechselwirkungen der Hilfsquellen 224. Geographische Lage 224. Der Zeithorizont für die Analyse 225. Kausale und korrelative Zusammenhänge 225  
Modell über die Verfügbarkeit von Rohstoffen 225
- 11 Die Zeitdimension bei Umweltproblemen 227  
Dennis L. Meadows
- Einführung 227  
Charakteristika der Dynamik von Umweltsystemen 227  
Hilfsmittel für den Umweltschutz 228  
Systemdynamik und Umweltschutz 229  
Verzögerungszeiten und Schadstoffkontrolle 230
- 12 Die Grenze der Belastbarkeit unserer globalen Umwelt: ein Blick auf die ethischen Alternativen 231  
Jørgen Randers und Donella H. Meadows
- Unsere Umwelt ist begrenzt 231  
Landwirtschaftliche Nutzfläche 231. Abwärme 233. Schadstoffabsorption 234  
Wachstum als globale Wertvorstellung 234  
Wachstum in einer begrenzten Umwelt 234.

Das Weltmodell 235. Ständiges Wachstum bedeutet Zusammenbruch 240

Die ethische Basis 242

Kurzfristige Ziele 242. Langfristige Ziele 243  
Globales Gleichgewicht als reale Möglichkeit 243

Eine langfristige Lösung 243. Güterverteilung und Verantwortlichkeit 244. Das goldene Zeitalter 246

13 Die Kirchen zwischen Wachstum und globalem Gleichgewicht 247  
Jay W. Forrester

Einführung 247

Übergang zum globalen Gleichgewicht 248

Charakteristika sozialer Systeme 250

Strukturelle und politische Ursachen der Probleme 250. Zielkonflikte 250. Zerfall von Zielvorstellungen und Werten 251

Die Kirchen und die Dynamik sozialer Werte 252

Das Dilemma der Kirchen 254

Verkürzter Zeithorizont 254. Überfällige Wachstumsideologie 255. Kastengeist 255. Egozentrik 255. Das Trugbild menschlicher Gleichheit 256. Potentielle Übel der Humanität 257. Das Recht ist nicht absolut 257  
Aktivität 258

Anhang 259

Computerprogramm für das DDT-Modell 259. Computerprogramm für das Modell der Quecksilberschmutzung 260. Computerprogramm für das Eutrophierungsmodell 262. Computerprogramm des Rohstoffmodells 263. Computerprogramm für das Abfallmodell 265. Computerprogramm für das Gasmodell 267. Computerprogramm für das System mit beschränkter Landfläche 268. Computerprogramm für das gesamte Tsem-baga-System 269

Literatur 271

Die im Text und in den Abbildungen verwendeten Abkürzungen sind unverändert aus der amerikanischen Originalausgabe übernommen worden. So steht etwa SF (Abkürzung von soil fraction) für »Anteil im Boden« oder RPR (reserve/production rate) für »Verhältnis Reserven zu Produktion«. Diese Abkürzungen stehen auch in den Computerprogrammen im Anhang, die in der Original-Computersprache *Dynamo* belassen wurden.