

## The Limits to Growth – Chaotische Systeme

Theresa Boiger

31.05.2023, Graz

Die Systemwissenschaften beschäftigen sich damit, Probleme ganzheitlich zu betrachten und die Dynamiken von Systemen zu verstehen. Dazu werden in der Systemmodellierung Modelle als vereinfachte Darstellungen der Realität herangezogen, wobei essentielle Komponenten des Systems erfasst werden und Unwichtiges vernachlässigt wird.

### System Dynamics

System Dynamics ist eine Art der Systemmodellierung, die dazu dient komplexe Systeme zu modellieren. Dabei werden die Interaktionen zwischen Elementen in Form von Beständen und Flüssen (stocks und flows) dargestellt. Ein Beispiel dafür sind Räuber-Beute Populationen (Abb. 1): Die Abhängigkeiten der beiden Populationen werden durch Differentialgleichungen dargestellt. Diese beschreiben, dass sich die Beute-Population in Zusammenhang mit der Räuber-Population verändert, da diese eine Nahrungsquelle für die Räuber sind. Bei der System Dynamics Modellierung spielen vor allem Feedback-Effekte eine Rolle. Positive Feedbacks schaukeln sich gegenseitig auf, während negative Feedbacks ausgleichend wirken.

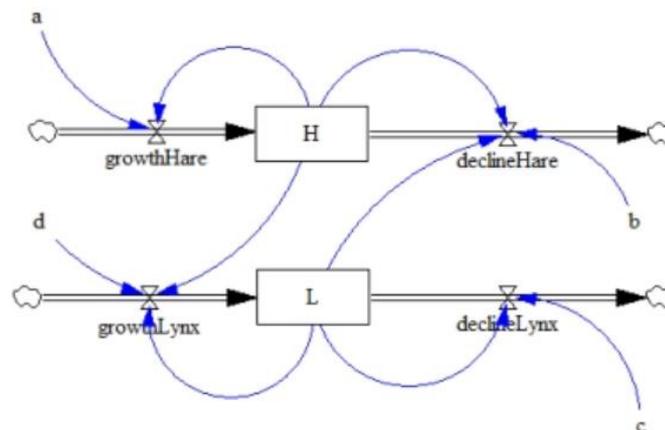


Abbildung 1: Beispiel eines Räuber-Beute Systems (Quelle: [http://systems-sciences.uni-graz.at/etextbook/sw2/lotka\\_volterra\\_1.html](http://systems-sciences.uni-graz.at/etextbook/sw2/lotka_volterra_1.html))

### Chaotische Systeme

Mit dieser Art der Systemmodellierung können auch chaotische Systeme modelliert werden. Chaotische Systeme entstehen zum einen durch Feedback-Effekte, zum anderen durch den Einfluss von kleinen Veränderungen in den Startbedingungen oder Parametern. Besonders bekannt ist in diesem Zusammenhang der Lorenz Attraktor, der den sogenannten Butterfly Effekt beschreibt (Abb. 2). Der Attraktor beschreibt den Zustand des Systems und abhängig von den Startparametern entstehen unterschiedliche Abfolgen von Zuständen. Das besondere daran ist, dass obwohl das System in keinem stabilen Zustand ist, der Attraktor deterministisch ist. Das bedeutet, dass mit den gleichen Startparametern immer dieselbe Abfolge von Zuständen erzeugt wird. Daher spricht man hier auch von deterministischem Chaos.

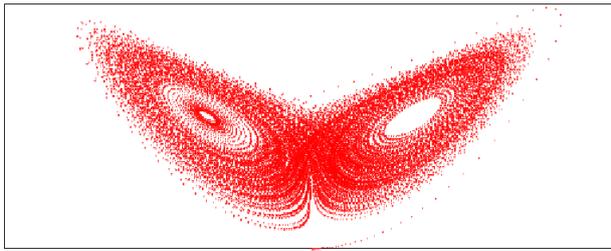


Abbildung 2: Lorenz Attraktor (Quelle: <http://systems-sciences.uni-graz.at/etextbook/sw2/lorenz.html>)

## Limits to Growth

Ein weiteres Beispiel für System Dynamics Modellierung ist die Studie Limits to Growth, die vom Club of Rome in Auftrag gegeben wurde und 1972 veröffentlicht wurde. Im Jahr 2022, 50 Jahre später, erschien ein Buch zum Update dieser Studie. <sup>1</sup> Der Club of Rome ist eine Organisation gegründet von Aurelio Peccei. Jay W. Forrester und sein Team am MIT wurden vom Club of Rome mit einer Studie zur Weltwirtschaft beauftragt mit dem Titel „On the predicament of mankind“. Jay W. Forrester ist einer der Pioniere der System Dynamics Modellierung und prägte das Konzept von Feedback Loops. Er entwickelte in den 70er Jahren ein System Dynamics Modell (World 1), das die Interaktionen zwischen Wirtschaft, Bevölkerung und Ökologie darstellt. Basierend auf dem World 1 Modell wurde von der Forschungsgruppe rund um Dennis Meadows das World 3 Modell entwickelt und 1972 erschien ein Buch mit dem Titel „The Limits to Growth – A Report to the Club of Rome“. Die Hauptaussage der Studie war: „If the present growth trends in world population, industrialization, pollution, food production and resource depletion continue unchanged, the limits to growth on this planet will be reached sometime within the next one hundred years. The most probable result will be a rather sudden and uncontrollable decline in both population and industrial capacity.“ <sup>2</sup>

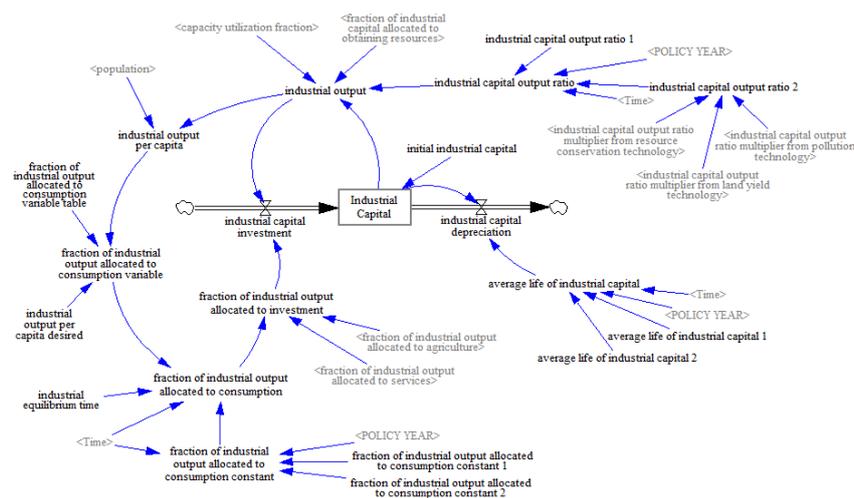


Abbildung 3: Ausschnitt des World 3 Modells (Quelle: <https://metasd.com/2010/04/world3-03/>)

Das World 3 Modell (Abb. 3) besteht aus 5 Elementen: Bevölkerung, Nicht-erneuerbare Ressourcen (Minerale), Erneuerbare Ressourcen (Landwirtschaft), Kapitalressourcen und Umweltverschmutzung. Mit dem Modell wurden einige Szenarien berechnet um eine mögliche Entwicklung dieser Elemente zu analysieren (Abb. 4).

Figure 35 WORLD MODEL STANDARD RUN

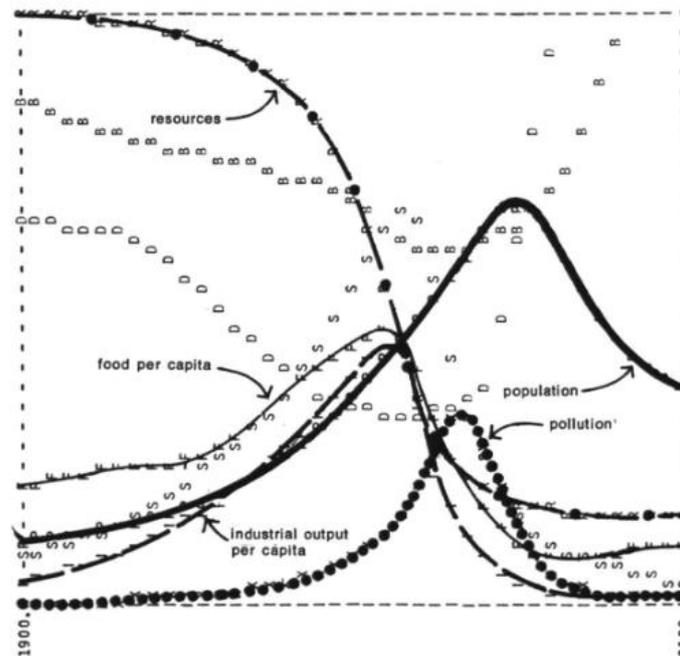


Abbildung 4: Standard Run des World 3 Modells (Quelle: Meadows, D. et al. (1972). *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind.* Universe Books, New York.)

In fast allen Szenarien ist ein Rückgang des industriellen Outputs zu sehen, der auf die kontinuierliche Ausbeutung nicht-erneuerbarer Ressourcen und Umweltverschmutzung zurückzuführen ist. Damit einhergehend sinkt auch die Lebensmittelproduktion und die Bevölkerung geht zurück.

Es gab viele Reaktionen auf die Ergebnisse der Studie, zum Teil auch kritische Reaktionen: Das Modell sei zu vereinfacht, die Annahmen zur Ressourcenverfügbarkeit seien zu konservativ, technologischer Fortschritt sei nicht berücksichtigt und es gäbe keine empirische Validierung des Modells. Hierzu muss erwähnt werden, dass das Ziel der Studie keine Prognosen über die Zukunft waren und die Grenzen des Wachstums nicht automatisch Grenzen für das aktuelle Wirtschaftssystem bedeuten.

Was jedoch aus der Studie mitgenommen werden kann, ist, dass es auf der Erde limitierte Ressourcen gibt und es Grenzen für Umweltverschmutzung gibt und diese beiden Faktoren sich auf andere Bereiche auswirken können. Meadows et al. (1972) beschrieben es folgendermaßen: „We are convinced that realization of the quantitative restraints of the world environment and of the tragic consequences of an overshoot is essential to the initiation of new forms of thinking that will lead to a fundamental revision of human behaviors and, by implication, of the entire fabric of present-day society.“<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bardi, U. & Alvarez Pereira, C. (Eds.) (2022). *Limits and Beyond: 50 years on from The Limits to Growth, what did we learn and what's next? A Report to the Club of Rome.* Exapt Press.

<sup>2</sup> Meadows, D. et al. (1972). *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind.* Universe Books, New York.